



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Universidad de la República

Facultad de Ciencias

Contenido y bioaccesibilidad *in vitro* del Hierro en músculos de novillos Aberdeen Angus alimentados a pastura, pastura más suplemento y feedlot.

Matías Pereiro
Licenciatura en Bioquímica

Tutora: Ing. Agr. Cristina Cabrera PhD.

Montevideo, Uruguay.

2014

Agradezco a:

Mis padres por su apoyo incondicional en mí vida.

Mi abuela por brindarme su infinita sabiduría.

Mis compañeros de facultad que me ayudaron a llegar al fin de la carrera.

Cristina por todos los momentos brindados para sacar lo mejor de mí y por darme la oportunidad de integrarme a un grupo donde se aprende todos los días.

Fernanda, Alejandra, Marta, Pablo y especialmente a Ana por todo lo que he aprendido junto a ustedes y por todo lo que hemos compartido estos últimos meses.

Índice:

1 Introducción.....	5
1.1 <i>Generalidades.....</i>	5
1.2 <i>Calidad nutricional de la carne.....</i>	6
1.2.1 <i>Contenido de minerales.....</i>	6
1.2.2 <i>Factores que hacen variar los contenidos de minerales en la carne...7</i>	7
1.3 <i>Rol del Hierro en el cuerpo humano.....</i>	7
1.3.1 <i>Absorción del Hierro.....</i>	8
1.3.2 <i>Balance del Hierro y regulación de la absorción.....</i>	9
1.4 <i>Deficiencia de Hierro.....</i>	9
1.5 <i>Sistemas de Producción.....</i>	10
1.6 <i>Aberdeen Angus.....</i>	12
2 Objetivos.....	14
2.1 <i>Objetivo general.....</i>	14
2.2 <i>Objetivos específicos.....</i>	14
3 Materiales y métodos.....	15
3.1 <i>Obtención de las muestras.....</i>	15
3.2 <i>Músculos ensayados.....</i>	15
3.3 <i>Determinación Hierro total.....</i>	16
3.4 <i>Determinación de Hierro hemínico.....</i>	17
3.5 <i>Determinación Hierro no hemínico.....</i>	17
3.6 <i>Determinación de la bioaccesibilidad.....</i>	17
3.7 <i>Análisis estadístico.....</i>	18
4 Resultados y discusión.....	19
4.1 <i>Hierro total.....</i>	19
4.2 <i>Hierro hemínico.....</i>	22
4.3 <i>Hierro no hemínico.....</i>	25
4.4 <i>Bioaccesibilidad in vitro del Fe total.....</i>	28
5 Conclusiones.....	32
6 Bibliografía.....	33

1 Introducción.

1.1 Generalidades.

La producción ganadera en el Uruguay tiene una larga tradición en la historia del país siendo el producto carne uno de los rubros más importantes en la exportación. A nivel mundial el Uruguay es el octavo exportador de carne, además de aportar materia prima a la industria la carne es también un componente fundamental de la dieta a nivel nacional.

La superficie dedicada a ganadería bovina y ovina representa el 59,6 % de la superficie total del País (16.420.000 hectáreas) y este valor aumenta al 82,4 %, cuando también se considera la superficie ganadera-lechera, agrícola-ganadera y arrocerá-ganadera (INIA, 2011). En año 2011 existían 41.570 establecimientos especializados en ganadería, la mayor parte de estos establecimientos son productores del tipo familiar, que poseen superficies de explotación menores a 500 hectáreas (ha), esto resalta la importancia social del sector (MGAP, 2012).

El stock bovino del país alcanza las 12 millones de cabezas, siendo Uruguay el país con mayor cantidad de vacunos por habitante del mundo. La producción de carne ha crecido un 67% en los últimos 15 años, lo que constituye el período de mayor crecimiento en la historia del país, y sitúa a la ganadería uruguaya como de las más competitivas del mundo. En la actualidad las exportaciones de carne vacuna representan el 14 % de las exportaciones totales del País (INIA, 2011).

Según el anuario estadístico agropecuario 2012 del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP), el PBI del país en el año 2011 ascendió a 46.735 millones de dólares y el PBI agroindustrial, que ha aumentado desde el 2009, se colocó en 5.746 millones de dólares lo representa un 12.3 % del PBI del país. La producción pecuaria ha visto una fuerte recuperación luego de la crisis mundial del 2009 y para el año 2011 alcanzó valores de 3.006 millones de dólares. Dentro del sector pecuario, el ganado bovino aportó 1.643 millones lo que representa el 3.5% del PBI del país (MGAP, 2012).

La producción de carne vacuna del país en el año 2012 fue de 997 mil toneladas y la faena fue de alrededor de 2 millones de cabezas de ganado, en su mayoría novillos y bueyes (MGAP, 2012). La mayoría de la faena bovina de los establecimientos habilitados se concentra en atender más que nada a los mercados de exportación, superando este destino el 70% y el restante es destinado al mercado interno. (INIA, 2011). Además de la gran exportación de la carne vacuna, Uruguay se ha posicionado como el país con el mayor consumo de carne bovina por habitante al año, 60.6 kg por persona, superando a países como Argentina y Brasil con un consumo promedio anual de 55 y 37 kg por persona respectivamente (INAC, 2012).

A pesar del gran valor económico y social de la producción de carne para Uruguay y de la larga tradición productiva, es en los últimos años que se ha generado información científica relacionada al valor nutricional de la carne producida en el país (Cabrera *et al.*, 2010; Ramos *et al.*, 2012).

Este conocimiento está generando más demanda de nuevo conocimiento lo cual está contribuyendo con la principal meta de la industria cárnica en el Uruguay que es la de satisfacer la demanda de los consumidores en los diferentes mercados. La información

sobre la calidad nutricional de las carnes uruguayas permite posicionar a los productores uruguayos para que puedan promover sus carnes en mercados cada vez más exigentes que buscan en la alimentación el concepto de productos funcionales.

1.2 *Calidad nutricional de la carne.*

La carne es el mayor aporte dietario de proteínas de alto valor biológico, contiene todos los aminoácidos esenciales que el organismo precisa. Es también una buena fuente de minerales como Hierro, Zinc y Selenio; de vitaminas como la vitamina A, las del grupo B, ácido fólico y Taurina (Ginevra Lombardi-Boccia *et al.*, 2005; Wangang Zhang *et al.*, 2010)

La vitamina A es esencial para el crecimiento y desarrollo de células y tejidos. Actúa especialmente en el epitelio respiratorio y los pulmones. Una deficiencia de esta vitamina incrementa considerablemente la incidencia de infecciones respiratorias (Biesalski, 2005).

La carne es también una importante fuente de vitamina B12, esta tiene roles fundamentales en el funcionamiento del cerebro, el sistema nervioso y en la formación de glóbulos rojos. La deficiencia de vitamina B12 está asociada a una baja alimentación con productos animales. Esta deficiencia puede provocar anemia megaloblástica y enfermedades neurológicas progresivas e irreversibles en adultos (De Castro *et al.*, 2013).

Una porción de aproximadamente 100g de carne magra provee el 49% de proteínas, 36% de vitamina B12, 20% del Potasio y aproximadamente el 25% de riboflavina, niacina, vitamina B6 y ácido pantoténico del requerimiento diario de una dieta (De Castro *et al.*, 2013).

En cuanto a grasas, la carne bovina se compone en su mayoría de ácidos grasos monoinsaturados (MUFAs) y ácidos grasos saturados (SFAs). Los ácidos grasos presentes más comunes son, el ácido oleico, el palmítico y el esteárico. El ácido linoleico es el predominante entre los ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs), seguido por el ácido alfa linoleico. Además de los ácidos grasos, el colesterol es un componente nutricional importante de la carne. El contenido de colesterol en carne varía entre 30 a 120 mg por cada 100g de carne (Valsta *et al.*, 2005)

1.2.1 *Contenido de minerales.*

La carne es el alimento que contiene más hierro en su forma asimilable para el hombre, el hierro hemínico. La importancia del hierro hemínico en la dieta no puede ser subestimada. Estudios recientes estiman que en las sociedades occidentales, el hierro proveniente de fuentes hemínicas como mioglobina y hemoglobina constituye hasta dos tercios de la reserva de hierro en una persona promedio, a pesar de ser solo un tercio del hierro ingerido (West *et al.*, 2008).

Además del hierro, la carne aporta selenio y zinc. La carne, además del pescado y algunos granos, es la fuente que aporta el mayor contenido de selenio en la dieta

promedio. La cantidad de Selenio en los alimentos varía según la ubicación geográfica debido a las diferentes concentraciones del mineral en los suelos (Combs *et al.*, 1985). El Selenio es un mineral esencial para humanos y animales, está involucrado en la regulación de varias funciones fisiológicas como una parte integral de las selenoproteínas. En mamíferos, la glutatión peroxidasa y la tioredoxina reductasa son las proteínas con Selenio más abundantes, estas juegan un rol fundamental en la regulación redox al remover y descomponer peróxido de hidrogeno e hidroperóxidos lipídicos. En humanos la deficiencia de Selenio está asociada con una menor respuesta inmune resultando en una susceptibilidad aumentada al cáncer, enfermedades cardiovasculares, distrofia muscular, diabetes y artritis (Warner *et al.*, 2010).

El Zinc, otro mineral de interés, por su interacción con el sistema antioxidante del organismo, se encuentra mayormente en las carnes. Las fuentes primarias de Zinc son las carnes rojas, granos, legumbres y vegetales. El Zinc tiene una mayor bioaccesibilidad en las carnes que en los vegetales debido a que algunos de estos contienen inhibidores de la absorción como los fitatos (Gibson *et al.*, 2001). Este mineral es importante para el crecimiento celular, la replicación celular, la osteogénesis y para el correcto funcionamiento del sistema inmune. Una de las funciones más importantes de este micronutriente es su contribución a la defensa oxidativa de las células del cuerpo (Groff *et al.*, 2000).

Una porción de 100g de carne magra contiene 39% de Zinc y 15% de Hierro del requerimiento diario. De este porcentaje de Hierro el 60% es Hierro hemínico que es más biodisponible para el cuerpo (O'Neil *et al.*, 2011). Además de estos valores 100g de carne aportan también aproximadamente 37% del Selenio (De Castro *et al.*, 2013).

1.2.2 Factores que hacen variar los contenidos de minerales en la carne.

En la mayoría de las circunstancias los animales adquieren la mayor parte de los nutrientes minerales de las pasturas que consumen. Por esta razón, los factores que determinan el contenido de minerales en las partes vegetativas de las plantas y las semillas son los que determinan el contenido de minerales que los animales ingieren. La concentración de minerales en los alimentos dependen de cuatro factores independientes: el género o especie del forraje, del tipo de suelo en que crecen, el clima o las condiciones estacionales durante el crecimiento y el estado de madurez de la planta (Suttle, 2010). Otros de los factores que influyen en el contenido de minerales en la carne son tanto la raza del animal como el tipo de músculo ensayado. Esto se observa en el trabajo de Ramos *et al.*, 2012 donde se demuestra que los animales de la raza Hereford contienen niveles mayores de hierro que los animales Braford. En el estudio el contenido de hierro osciló entre los 34-45 mg/kg de carne en base húmeda para los animales Hereford y entre los 30-38 mg/kg de carne en base húmeda para los animales Braford. En el estudio de Cabrera *et al.*, (2010) se demostró que el contenido de Selenio, Cobre, Zinc, Hierro y manganeso varían considerablemente con los diferentes cortes estudiados.

1.3 Rol del Hierro en el cuerpo humano.

El Hierro tiene varias funciones vitales en el cuerpo humano. Sirve como transportador de oxígeno desde los pulmones a los tejidos mediante la hemoglobina de los eritrocitos, También se desempeña como medio de transporte para los electrones dentro de las células y como una parte importante integrada a varios sistemas enzimáticos en diferentes tejidos (Tapiero *et al.*, 2001).

La mayoría del Hierro presente en los eritrocitos forma parte de la hemoglobina, una proteína compuesta de cuatro unidades, cada una de estas unidades contiene un grupo hemo. La estructura de la hemoglobina le permite estar totalmente cargada de oxígeno en los pulmones y parcialmente descargada en los tejidos. La mioglobina es la hemoproteína que almacena oxígeno en los músculos, esta es similar a la hemoglobina en su estructura pero solo tiene una unidad hemo (Dallman, 1986). Existen varias hemoproteínas, los citocromos también tienen un grupo hemo. Estas enzimas actúan como transportadores de electrones dentro de las células. Su rol en el metabolismo oxidativo es transferir energía dentro de la mitocondria. Otras funciones de las hemoproteínas incluyen la síntesis de hormonas esteroideas, sales biliares y también detoxificación de sustancias extrañas en el hígado.

El Hierro es almacenado en proteínas como la hemosiderina y dentro del hígado como ferritina; es transportado por el cuerpo mediante la proteína transferrina (Kühn, 1996).

1.3.1 Absorción del Hierro.

Existen dos tipos de Hierro en la dieta: Hierro hemínico y no hemínico (Hallberg, 1981). En la dieta del humano la fuente primordial de Hierro hemo es la hemoglobina y la mioglobina proveniente del consumo de carnes. El Hierro no hemínico es obtenido tanto de la carne como también de cereales, legumbres, frutas y vegetales.

Aunque el Hierro puede absorberse a lo largo de todo el intestino, su absorción es más eficiente en el duodeno y la parte alta del yeyuno. La absorción promedio de Hierro hemo de comidas que contienen carne es aproximadamente del 25% y esta puede llegar hasta el 40% durante períodos de deficiencia o bajar al 10% cuando el organismo no lo necesita (Hallberg *et al.*, 1997). Una parte importante del Hierro hemínico de la dieta al ser cocinado se degrada en Hierro no hemínico. Esto sucede si la temperatura y el tiempo de cocción son elevados (Hallberg, 1993)

En la actualidad la importancia del Hierro hemínico en la dieta no puede subestimarse. Estudios estiman que en las sociedades occidentales, el Hierro derivado del grupo hemo como la mioglobina y hemoglobina constituyen hasta dos terceras partes de la reserva de hierro en una persona normal siendo solo un tercio del Hierro total ingerido. Esto probablemente explica porque los vegetarianos son más propensos a una deficiencia que aquellos que consumen carnes rojas regularmente (West *et al.*, 2008).

La gran importancia del Hierro hemo es atribuida a su gran bioaccesibilidad comparado con el no hemínico. En soluciones acuosas a pH 7.0 o mayor, el no hemínico está presente como Fe (II) y Fe (III). El Fe (II) se oxida fácilmente a Fe (III) y precipita de la solución como hidróxido de Hierro o forma dímeros solubles que no son directamente viables para una absorción intestinal (West *et al.*, 2008). El ácido

ascórbico es el mejor potenciador de la absorción del Hierro no hemínico. Tanto la vitamina C sintética como el ácido ascórbico obtenido de frutas, vegetales y jugos aumenta la absorción de Hierro al reducir el Fe (III) de la dieta a Fe (II) bioaccesible para el cuerpo (Siegenberg, 1991). El efecto del ácido ascórbico es tan marcado y esencial que este efecto podría ser considerado como un rol fisiológico de la vitamina C. Cada comida debería contener 25 mg de ácido ascórbico para un mayor aprovechamiento del Hierro del alimento y posiblemente más si el alimento contiene inhibidores (Hallberg *et al.*, 1987). La absorción aumenta considerablemente en presencia de proteínas, lo cual es de importancia considerando que comidas ricas en Hierro hemínico típicamente contienen grandes cantidades de proteína (West *et al.*, 2008)

Por otro lado existen inhibidores de la absorción como los fitatos. Estos forman quelatos insolubles con el Hierro que no permiten la absorción en el intestino. Se encuentran en muchas clases de granos, semillas, nueces, vegetales, raíces y frutas (Hallberg *et al.*, 1989). El consumo de Calcio es otro factor que interfiere significativamente en la absorción tanto del Hierro hemínico como del no hemínico (Hallberg, 1991).

1.3.2 Balance del Hierro y regulación de la absorción.

El cuerpo tiene tres mecanismos para mantener el balance de Hierro y prevenir una deficiencia o una sobrecarga. La primera es una continua reutilización proveniente del catabolismo de los eritrocitos del cuerpo. Cuando los eritrocitos mueren luego de 120 días, son degradados por macrófagos de retículo endotelial. El Hierro es liberado y llevado hacia los precursores de eritrocitos en la médula ósea a través de la transferrina del plasma.

El segundo mecanismo es el acceso de la proteína específica de almacenamiento de la ferritina que puede almacenar y liberar Hierro para satisfacer una demanda excesiva. Este reservorio es especialmente importante durante el embarazo (Finch, 1994).

El tercer mecanismo involucra la regulación de la absorción de Hierro desde el intestino, con una absorción aumentada al momento de una disminución de los almacenamientos de Hierro en el cuerpo y cuando los almacenamientos aumentan, la absorción en el intestino disminuye hasta que un equilibrio es establecido. Para una dieta dada, la regulación del Hierro solo puede balancear las pérdidas hasta cierto punto, pasado este, se desarrollara una deficiencia (Crosby, 1963).

1.4 Deficiencia de Hierro.

La deficiencia de Hierro es probablemente el desorden nutricional más frecuente en el mundo. Un estimado reciente basado en la Organización Mundial de Salud indica que alrededor de 600 a 700 millones de personas mundialmente sufren de una marcada deficiencia de Hierro denominada anemia (DeMaeyer *et al.*, 1985). En los países industrializados, la prevalencia de anemia es mucho menor y usualmente varía entre el 2 y el 8 %. Mundialmente la mayor prevalencia de deficiencia se encuentra en recién

nacidos, niños, adolescentes y mujeres en edad de embarazo, especialmente mujeres embarazadas (Yip *et al.*, 1996). El Hierro es de gran importancia para un adecuado desarrollo del cerebro y otros tejidos. Estudios en animales han demostrado que la deficiencia de Hierro tiene varios efectos negativos en funciones importantes del cuerpo humano (Dallman, 1986). En ratas con deficiencia se ha visto que la actividad física se reduce significativamente (Egderton, 1972). La falta de ciertas hemoproteínas del metabolismo oxidativo del músculo provoca un aumento del ácido láctico, lo que produce la fatiga (Scrimshaw, 1984).

La relación entre la deficiencia de Hierro y la función del cerebro es una observación de gran importancia para tomar conciencia de la importancia en combatirla. Varias Estructuras del cerebro contienen altos contenidos de Hierro, hasta de la misma magnitud vistos en el hígado. Es muy significativa la observación de que ratas en crecimiento con deficiencia en Hierro tienen cerebros con menor contenido del mismo y se vio que esta deficiencia no puede ser revertida luego con un aumento del mineral en la dieta. Esto sugiere que el suministro de Hierro a las células del cerebro se lleva a cabo durante fases tempranas del desarrollo del mismo y en su ausencia puede llevar a daños irreparables en las células del cerebro (Pollitt, 1993).

En humanos está presente cerca del 10 % del Hierro del cerebro al momento del nacimiento y a la edad de 10 años el cerebro solo ha alcanzado la mitad de su contenido normal. La cantidad óptima de Hierro se alcanza entre los 20-30 años.

En poblaciones con deficiencia de Hierro de años se ha demostrado que sufren de una reducción en la capacidad de desarrollar actividades físicas, esta reducción se puede revertir en parte, al administrarles Hierro en la dieta (Scrimshaw, 1984).

La relación entre la deficiencia de Hierro y desordenes de comportamiento como falta de atención, de memoria y aprendizaje, fue demostrado en infantes y niños pequeños (Bruner, 1996). En estudios recientes, no se notó efectos de mejora al administrarles Hierro a estos grupos. Este descubrimiento es consistente con observaciones en animales. Esta resistencia a la terapia con Hierro debería ser tomada en cuenta como un argumento potente para una activa y eficaz lucha contra la deficiencia de Hierro en el período de crecimiento del cerebro (Bruner, 1996).

1.5 Sistemas de producción de carne bovina en el Uruguay

Las formas de producir carne hoy en Uruguay abarcan los clásicos sistemas extensivos que se basan en alimentación netamente pastoril y los sistemas más actuales para el país, con engorde a corral, intensivos donde el total del alimento consumido es suministrado por el hombre. La tecnología de engorde a corral puede acoplarse a un sistema pastoril y formar lo que se conoce como sistemas mixtos o semi intensivos. En el Uruguay la producción de carne vacuna es mayormente bajo sistemas pastoriles pero el sistema feedlot ha aumentado en los últimos años (INIA, 2004).

Los sistemas de pastoreo son aquellos en los cuales más del 90% de la materia seca con la que se alimenta a los animales, proviene de pasturas, forrajes anuales y alimento comprado y menos del 10% del valor total de la producción proviene de

actividades agrícolas no ganaderas. Las tasas anuales de abundancia son menos de 10 unidades ganaderas por hectárea de tierra cultivada (Sere & Steinfeld, 1996).

En términos de producción total, los sistemas de pastoreo suministran solamente el 9% de la producción global de carne (FAO, 1997).

El ganado pastoreando pasturas naturales depende casi exclusivamente del contenido de nutrientes de la pastura, el cual varía con las diferentes estaciones del año. Los niveles de proteína cruda de las especies nativas son más bajos durante el verano y más altos durante el invierno. Los novillos criados sobre campos naturales, generalmente tienen bajas ganancias de peso (0,3 kg/día) durante el año y pierden peso durante el invierno cuando escasea el forraje, por lo tanto necesitan más tiempo para alcanzar el peso para ser faenados. Estos animales provenientes de sistemas de producción extensivos precisan bajos niveles de insumos, inversión y las prácticas de manejo son simples, pero están asociados con una baja producción de carne (60 a 70 kg/ha/año). Los campos de buena calidad permiten mayores ganancias de peso (0,35 kg/día) y una producción de hasta 150 kg/año. Un campo mejorado mediante siembra en cobertura muestra un incremento substancial en ganancia diaria (0,6 a 1,0 kg/día) y en producción de carne por hectárea (mayor a 250 kg/año) (Berretta, 2013).

En sistema intensivo, el total del alimento consumido por los animales es suministrado diariamente por el ser humano. Las dietas son de alta concentración energética y alta digestibilidad. Los concentrados más utilizados son maíz, sorgo, cebada, trigo, avena y subproductos como afrechillo de trigo, cascarilla de soja, etc (Fagro, 2008) Los sistemas intensivos están dirigidos primariamente a producir proteína animal de alta calidad y otros productos animales para los mercados urbanos, cuya demanda hace que el procesamiento y la producción intensiva, tenga lugar a menudo, cerca de las áreas urbanas (INIA, 2004).

Los sistemas intensivos son generalmente considerados modernos y eficientes y requieren un alto nivel de habilidad y conocimiento. Las técnicas de producción son más o menos independientes de las zonas agroecológicas y del clima lo que explica su existencia a nivel mundial. Estos sistemas están generalmente estratificados y las diferentes granjas se especializan en, por ejemplo, cría, recría o en el proceso de engorde. (FAO, 1997).

Los objetivos del engorde a corral o Feedlot son obtener una alta producción de carne de calidad por animal, y con alta eficiencia de conversión (kilos de alimento / kilo de carne).

La producción a base de pasto en la etapa de terminación del ganado, si bien implica bajos costos por Kg. de alimento ofrecido, no siempre garantiza la obtención de resultados esperados en cuanto a: capacidad de carga por hectárea, ganancias de peso, y momento de terminación para faena. Por estas razones el resultado económico de la invernada es variable. En ese sentido para mejorar la eficiencia productiva y el resultado económico en esta última etapa y en el sistema en su conjunto, el engorde a corral puede ser una alternativa viable; más aún en los momentos actuales en los que el crecimiento de la agricultura está desplazando a la invernada de los buenos campos. Es en este marco que se considera interesante analizar la viabilidad de la producción a corral (INIA, 2004).

Actualmente el sistema intensivo no es el sistema predominante en el país, pero se estima que irá creciendo como un complemento de la producción pastoril, y posibilitará a las empresas buscar la complementariedad entre la agricultura y la ganadería y a acelerar la invernada (INIA, 2004).

En los sistemas productivos mixtos, se utiliza además del pastoreo una suplementación de alimentos proteicos energéticos para corregir ciertos vaivenes productivos dados por diferencias climáticas que pueden afectar la producción de forrajes del campo natural. El suministro de suplementos permite mantener una carga animal adecuada o incrementar la ganancia de peso por animal, para lograr una mayor producción de carne por hectárea (INIA, 2004). En nuestro país la situación forrajera está determinada por un gran volumen de forraje excedente en la primavera verano, pero cuya calidad comienza a decrecer progresivamente hacia el invierno. Debido a esto los niveles de proteína y la digestibilidad del forraje decrecen, afectando negativamente la producción animal. En este escenario, la inclusión de suplementos complementa el aporte de nutrientes que realiza la pastura y permite aprovechar ese volumen de forraje cuya calidad es limitante para algunas categorías de mayores requerimientos, particularmente las categorías de recría vacuna (Soares de Lima *et al.*, 2010). La valorización de la carne uruguaya, depende en el mercado internacional de varios parámetros, país libre de aftosa con vacunación, alimentación pastoril y sustentabilidad ambiental. Los aspectos de valorización a través de la calidad nutricional son nuevos desafíos que el país y la academia se están enfocando.

1.6 *Aberdeen Angus*.

La raza fue desarrollada en Escocia en los condados de Aberdeenshire probablemente en la mitad del 1700 y es reconocida formalmente en 1835 en su primer libro de registros publicado en 1862. En Uruguay, en el año 1888 se inscribió en los Registros Genealógicos de la Asociación Rural del Uruguay el primer Aberdeen Angus de pedigrí proveniente desde Inglaterra (Sociedad de Criadores de Angus del Uruguay).

Los Aberdeen Angus son una raza productora de carne por excelencia que se caracteriza por su sobresaliente fertilidad, gran precocidad sexual y alta capacidad de crecimiento. Sus carnes se destacan por su terneza y sabor debido a su característico marmoleado (Asociación Argentina de Angus, 2007).

En la actualidad la raza Angus representa solo un 17% del total del rodeo del país Siendo superada ampliamente por los animales Hereford con un 57% del rodeo (Fig. 1).

Fig. 1: Porcentajes de las diferentes razas bovinas del país sobre el rodeo total.

Animales registrados desde el 01/09/06 según Raza Predominante
(Total 4968215)

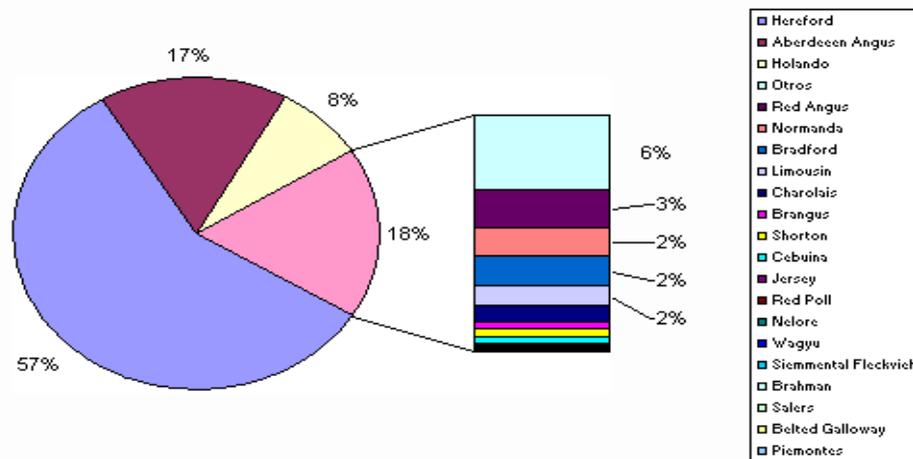


Figura extraída de <http://www.ceibal.edu.uy/> Uruguay ganadero, razas bovinas.

2 Objetivos:

2.1 Objetivo general.

En base a la importancia de la producción de carne bovina de alta calidad, al contenido de hierro de alta biodisponibilidad, a la necesidad de caracterizar la calidad nutricional en función de los sistemas productivos se propone estudiar el contenido de Fe/Fe Hemínico en la carne de novillos Angus proveniente de los tres sistemas de alimentación contrastantes. Por otro lado, el tipo de músculo y la maduración se hicieron intervenir como elementos que provocan cambios en el Fe hemínico. La idea principal es que a través de un atributo nutricional pueda asociarse el sistema de producción con contenidos y bioaccesibilidad del mismo en un enfoque original que beneficie la exportación de estas carnes a los mercados con demandas de valor funcional.

2.2 Objetivos específicos.

- 1- Determinar el contenido de Hierro total, hemínico y no hemínico en el músculo de novillos Aberdeen Angus provenientes de tres sistemas de alimentación existentes en el país: Pastura; Pastura más suplemento y Feedlot.
- 2- Determinar la bioaccesibilidad *in vitro* del Fe total.
- 3- Determinar si hay diferencias entre tres tipos de músculo, de alto valor para la exportación y de alto valor para el mercado interno.
- 4- Determinar los cambios en el Hierro hemínico inducidos por la maduración a 14 días.

3 Materiales y métodos:

3.1 Obtención de las muestras:

Se obtuvieron muestras provenientes de novillos (24 meses; 2-4 dientes), faenados para exportación en forma programada, en el Frigorífico Solís, 16 provenientes de sistemas pastoriles con un peso vivo de aprox. 479 kg, 16 provenientes de sistemas pastoril más suplementación con un peso vivo aprox. 498 kg y 16 de sistemas Feedlot con un peso vivo aprox. 503 kg. Los músculos utilizados en este estudio fueron, *Longissimus dorsi* (bife angosto), de alto valor comercial para la exportación, *Triceps Brachii* (paleta) y *Bíceps Femoris* (nalga), de alto valor comercial para el mercado interno. Las muestras se cortaron en el momento del despiece de la canal y desosado, fueron numeradas y embolsadas al vacío inmediatamente. Las mismas se transportaron refrigeradas al laboratorio para ser congeladas frescas al momento de llegar o puestas a madurar durante 14 días a 2 °C.

3.2 Músculos estudiados:

Los músculos utilizados en este trabajo son de gran importancia comercial tanto en el mercado externo como en el interno. El *Longissimus dorsi* o bife angosto es un corte importante utilizado en la determinación de la calidad de la canal. El área del ojo de bife como se le llama, es un parámetro objetivo en la evaluación de las canales, que corresponde al área de la sección transversal del músculo *Longissimus Dorsi* (INAC, 2002). Lo deseado o lo buscado en un animal es que tenga una buena área de ojo de bife. Cuanto mayor sea el área del ojo de bife, será mayor cantidad de músculo o carne del animal (Piccirillo, 2008)

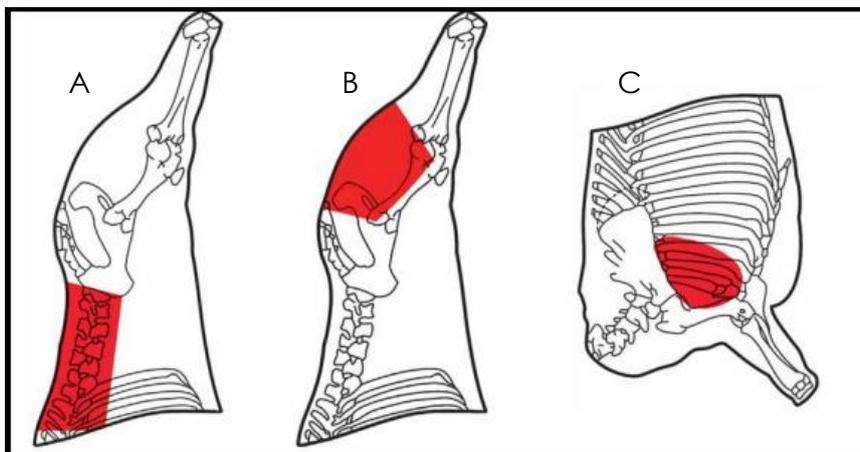
El ojo de bife se puede evaluar in-vivo mediante el uso de técnicas de ecografía, o una vez faenado el animal, al seccionar la media canal (Rovira).

Este corte está ubicado en la región dorso lumbar de la canal. Tiene por límite anterior a los bifos anchos, límite posterior cuadril y como límite inferior al lomo y porción de asado correspondiente a las tres últimas costillas (Junta nacional de carnes, 1970). Base ósea: hemivértebras lumbares y las 3 o 4 últimas dorsales (Fig. 2). Planos musculares principales: *Longissimus Dorsi*, *Illiocostalis*, *Serratus Dorsalis* (INAC, 2013).

El *Triceps Brachii* o centro de carnaza de paleta es un corte ubicado en la región del brazo. Limita hacia arriba con la aguja, hacia abajo con el brazuelo y pecho e internamente con la porción correspondiente al asado (Junta nacional de carnes, 1970). Base ósea: Húmero, Escápula (Fig. 2). Planos musculares principales: *Triceps Brachii* (INAC, 2013).

El *Bíceps Femoris* o Nalga está ubicado en la región del muslo. Se compone por la carnaza de cola y el peceto. Limita en su parte superior con el cuadril, en su parte anterior con la bola de lomo y en su parte inferior con la tortugueta (Junta nacional de carnes, 1970). Base ósea: Fémur, Coxal, hemivértebras sacras y la extremidad proximal de la Tibia (Fig. 2). Planos musculares principales: *Bíceps Femoris* y *Semitendinosus*.

Fig.2 Cortes de animales Aberdeen Angus utilizados en el presente trabajo.



Imágenes extraídas del manual de carnes bovinas y ovinas desde <http://carneangus.com.uy/wp-content/uploads/2013/06/manualdecortes.pdf>. A = *Longissimus Dorsi*, B = *Biceps Femoris*, C = *Triceps Brachii*.

3.3 Determinación Hierro total:

Se determinó el contenido de Fe total en las muestras mediante digestión por vía húmeda seguido por la cuantificación por Espectrometría de Absorción Atómica llama, con un equipo Analyst 300 (Perkin Elmer, USA) según el método descrito en Ramos *et al.*, 2012 con algunas modificaciones. Se les removió a las muestras todo el tejido adiposo visible, se recortó aproximadamente 15 gramos, se registró el peso y se secó en estufa a 105°C hasta pesada constante para obtener el peso seco. Luego fueron incineradas en mufla a 550°C por 16 horas hasta obtener cenizas blancas. Se dejó llegar a temperatura constante en desecador y se registró su peso. Las cenizas fueron solubilizadas con 5ml de HCL 6N (Merck, Argentina) en un Erlenmeyer de 25ml con cubierta de vidrio. Se llevó a ebullición en plancha calefactora hasta reducir la solución al medio y se agregó 2ml de HNO₃ (Merck, Argentina). Se continuó con la ebullición hasta reducir la solución a 2ml. Luego la solución se filtró a través de un papel de filtro Whatman 40 sin ceniza hacia un matraz aforado de 25 ml y se llevó a volumen con agua desionizada 18,2 megaohmios.

El material utilizado en la determinación de Hierro total fue previamente desmineralizado en solución de HNO₃ (Merck, Argentina) 1% por 48 horas y luego enjuagado en agua desionizada. Los reactivos utilizados fueron todos de calidad analítica.

Las soluciones estándar de Hierro (Perkin Elmer, USA) fueron preparadas con agua desionizada inmediatamente antes de su uso.

3.4 Determinación Hierro hemínico:

El Hierro hemínico se determinó mediante extracción con una solución de acetona acidificada, según Hornsey, 1956. Se despojó las muestras de todo tipo de tejido adiposo y conectivo visible, se troceó en pequeños pedazos, aproximadamente 2 gramos de muestra, se pesó y registró. Se colocó las muestras en tubos de vidrio, se agregó 9ml de acetona acidificada (Acetona: HCl: H₂O— 90: 2: 8) y se maceró por dos minutos con varilla de vidrio. Esto se realizó en un ambiente con poca incidencia de luz directa para minimizar la pérdida del pigmento. Los tubos fueron sellados para evitar evaporación e incubados por una hora a temperatura ambiente (20-22°C) en oscuridad. Luego de la incubación se vortexeó y filtró en papel de filtro Whatman 40 sin ceniza a un tubo limpio. Para cuantificar el Hierro se midió las muestras a una longitud de onda de 640 nm, en un espectrofotómetro GENESYS 6-UV (Thermo Corporation, USA). El contenido de Hierro heme fue determinado usando el factor 0.0882 µg Hierro/ µg hematina (Hornsey, 1956).

Los reactivos utilizados todos de calidad analítica y se utilizó agua desionizada 18,2 megaohmios durante todo el proceso.

3.5 Determinación Hierro no hemínico:

Se realizó por el método de Ferrozina, según protocolo de Purchas *et al.*, 2003, con alguna modificación. Para el ensayo se liofilizó las muestras congeladas a -20°C por 70 horas a - 60° C y 50 pascales de presión. Luego se molió en mortero aproximadamente 2 gramos de muestra y se disolvió 0.5 gramos de la misma en 3 ml de buffer citrato-fosfato 0.1M pH 5.5. A esta disolución se le agregó 1ml de ácido ascórbico 2% en 0.2M de HCl. Se dejó reposar por 15 minutos a temperatura ambiente y a continuación se agregó 2 ml de TCA 11.3%. Luego se centrifugo a 3000 g por 10 min (5000 rpm). Se recogió 2ml se sobrenadante y a este se le agregó 0.8 ml de acetato de amonio y 0.2 ml de reactivo de ferrozina. Para la determinación se midió la absorbancia en un espectrofotómetro GENESYS 6-UV (Thermo Corporation, USA) a una longitud de onda de 562 nm. Para la cuantificación se interpola en curva estándar de Sal de Mohr.

Se utilizó reactivos de calidad analítica y agua desionizada 18,2 megaohmios durante todo el proceso

3.6 Determinación de la bioaccesibilidad:

Para la determinación de la bioaccesibilidad del Hierro se utilizó el método descrito por Ramos *et al.*, 2012, en el cual las muestras son sometidas a un tratamiento in vitro, donde se simula una digestión gastrointestinal humana. Para ello se tomaron 15 gramos de muestra, previamente picada y se colocaron en un frasco de 100ml. Se agregó 10ml de agua desionizada y se ajustó el pH agregándole 1ml de HCl 12N (Merck, Argentina). Se incubo el preparado por 30 min a 37°C y 90 rpm. Luego se le agregó 1 ml de solución de pepsina y se incubo por 90 minutos más en las mismas

condiciones. Luego de este periodo de tiempo se ajustó nuevamente el pH con la adición de 10 ml de NaHCO_3 1M (Merck, Argentina). Seguido se le agregó 18 ml de solución de pancreatina bilis y se incubó una vez más durante 120 min en las mismas condiciones anteriormente mencionadas. Posterior a los 120 minutos se detuvo la incubación colocando el vaso de digestión en freezer por 12 horas. Al cabo de las 12 horas se dejó descongelar a temperatura ambiente y se filtró el contenido del vaso a un tubo Falcon con papel Whatmann sin ceniza de 90mm. Este filtrado fue al cual se le midió el Fe mediante absorción atómica en llama en el equipo Analyst 300 (Perkin Elmer)

La pepsina, pancreatina y las sales biliares fueron obtenidas de Sigma Chemical Co. (St. Louis, MO, USA) y las soluciones preparadas en el momento de uso. La solución de pepsina se preparó disolviendo 16 g de pepsina (Sigma P-7000) en 100 ml de HCl 0.1M (Merck, Argentina). La solución de pancreatina y sales biliares se preparó disolviendo 0.5 g de pancreatina (Sigma P-1625) y 2.5 g de sales biliares (Sigma B-8631), en 100 ml de NaHCO_3 0.1 M (Merck, Argentina).

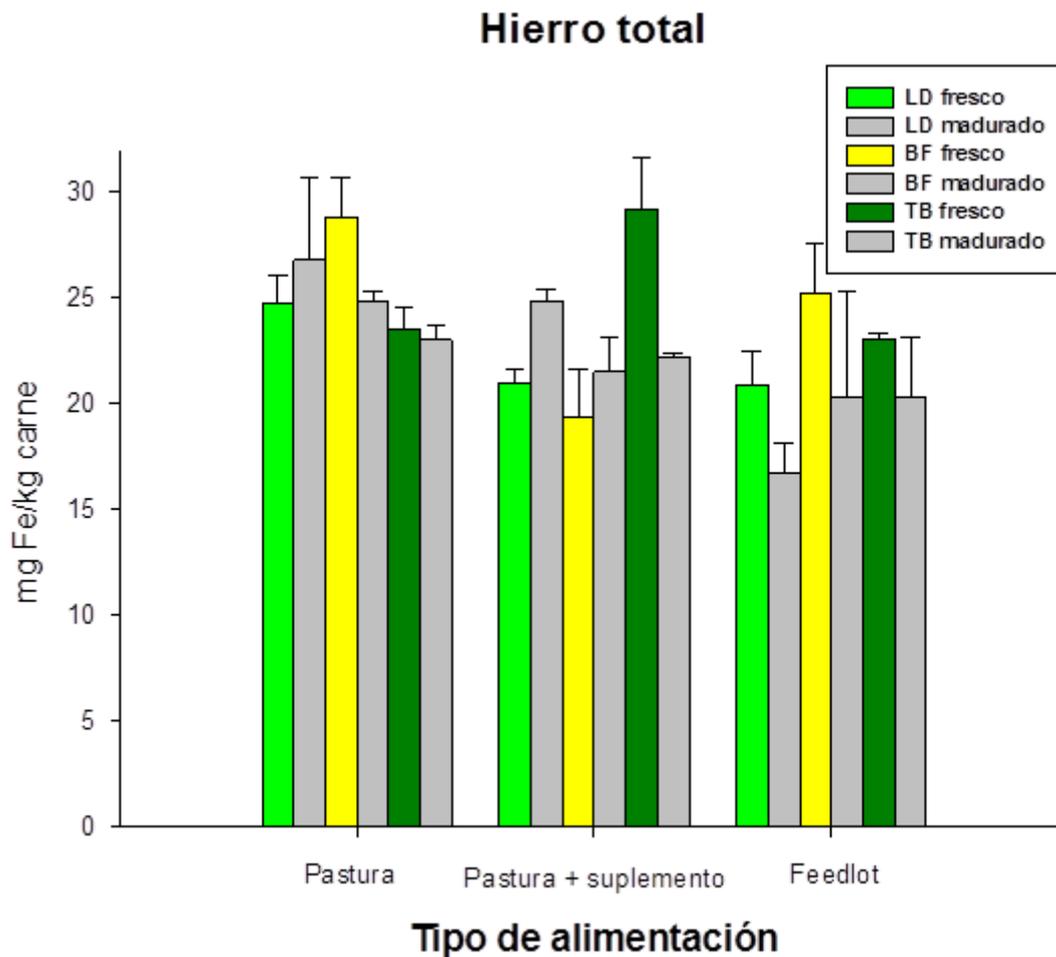
3.7 Análisis estadístico:

Para el análisis estadístico de los datos se realizó un ANOVA usando el Modelo General Lineal (GLM), mediante el Software NCSS (2006) considerando como efectos principales, el sistema de alimentación, tipo de músculo y el proceso (carne fresca y madurada a 14 días) y las interacciones entre ellos. Se compararon las medias mediante el Test de Tukey-Kramer ($p < 0.05$).

4 Resultados y discusión:

4.1 Hierro total:

El estudio del contenido del Hierro total de las muestras detectó diferencias ($p < 0.001$) para las distintas dietas. En este caso, los animales alimentados con pastura y pastura más suplemento mostraron mayor contenido de Hierro que los animales alimentados con concentrados en un sistema de confinamiento o Feedlot ($P < 0.05$; Fig. 3, Fig. 4). Para los diferentes cortes no se evidenció una diferencia significativa (Fig. 5) y lo mismo ocurrió según el proceso de las muestras. Las muestras maduras no mostraron diferencias con las muestras frescas (Fig. 6)



Alimentación	$p < 0.001$	Pastura, Pastura+suplemento > Feedlot
Músculo	NS	25, 23 vs 20
Proceso	NS	

Figura 3. Contenido de Hierro total en los músculos *Longissimus Dorsi* (LD), *Triceps Brachii* (TB) y *Biceps Femoris* (BF), frescos y madurados (14 días, 2°C) provenientes de novillos Aberdeen Angus alimentados con pasturas, pasturas más suplemento o Feedlot. Los valores están expresados en ppm en base fresca y pertenecen a la media \pm el SEM con un N=8 para las muestras de los diferentes músculos y sistemas. NS= No significativo.

Un análisis más detallado muestra que algunos cortes de los diferentes sistemas se diferencian entre sí, el corte con menor contenido de Hierro perteneció al *Longissimus Dorsi* del sistema Feedlot, este se diferenció ($p < 0.05$) del *Longissimus Dorsi* de pastura más suplemento y pastura (Fig. 3). Dentro del corte, se puede decir que el *Longissimus* contiene más Hierro si se alimenta al animal con dietas en base a pastura o pastura más suplemento. Por otro lado el corte con más Hierro fue el *Biceps Femoris* de pastura, el cual se diferenció ($p < 0.05$) del *Biceps Femoris* del sistema pastura más suplemento (Fig. 3). Sobre este músculo se puede decir que una dieta en base a pastura permite obtener animales con mayor contenido en Hierro que animales alimentados con pastura más suplemento. La diferencia no fue significativa con el sistema Feedlot para poder inferir el mismo resultado. Estos datos permiten observar mejor el panorama en cuanto a los diferentes músculos según la dieta y centrarse particularmente en un músculo dado, para ampliar las posibles deducciones de la Figura 3.

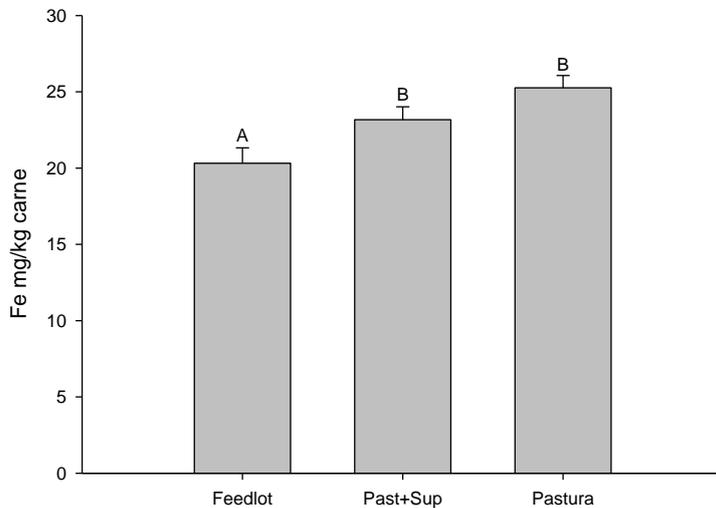


Fig.4 Contenido de Hierro en las muestras de Aberdeen Angus según diferentes dietas. Las columnas expresan las medias \pm SEM. Las diferencias en las letras mayúsculas exhiben diferencias significativas con un $p < 0.001$

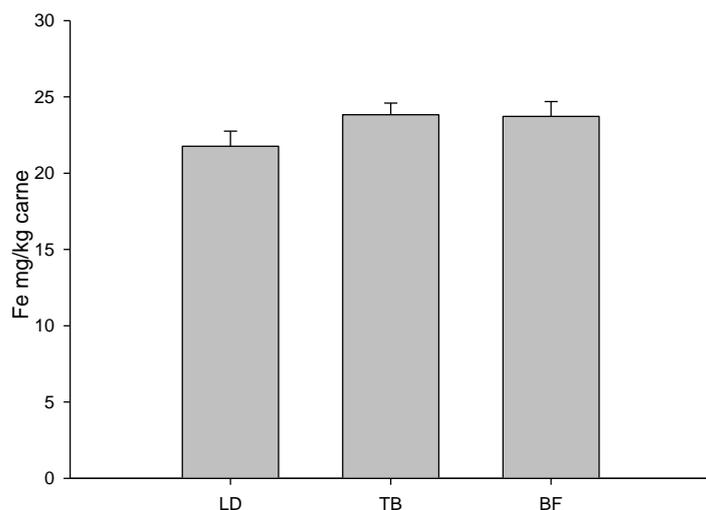


Fig.5 Contenido de Hierro en los diferentes músculos LD *Longissimus Dorsi*, TB *Triceps Brachii* y BF *Biceps Femoris*. Las columnas reflejan las medias de cada corte \pm SEM. No se obtuvieron diferencias significativas entre los músculos ($p>0.05$).

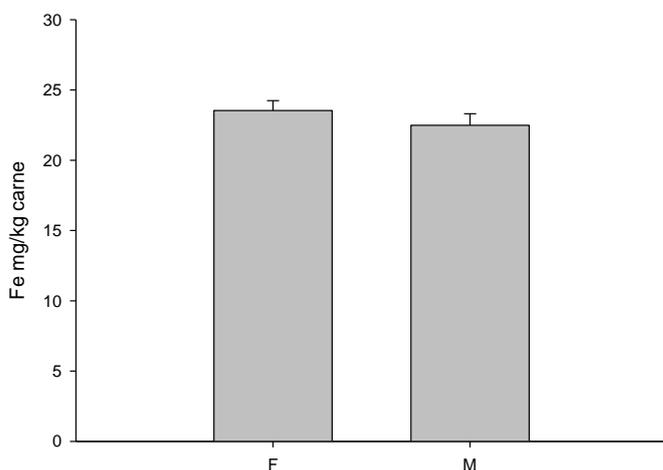


Fig.6 Contenido de Hierro en las muestras según el proceso, M= maduradas o F= frescas. Cada columna es la media \pm SEM. No se observaron diferencias significativas entre los procesos ($p>0.05$).

Si bien en la figura 5 no se muestran diferencias significativas si analizamos los cortes según su estado podemos diferir ($p < 0.05$) entre el corte *Triceps Brachii* fresco del corte *Longissimus Dorsi* fresco (Fig.3), el primero es el de mayor contenido de Hierro y el otro el que tiene menor contenido. Este resultado resalta el valor nutricional del corte *Triceps Brachii* como un alimento económico (comparado con los otros dos músculos ensayados) con alto contenido en Hierro.

En este trabajo el rango de Hierro total encontrado varió entre 15-30 mg/kg de carne en base fresca, lo que si se compara con trabajos anteriores como Ramos *et al.*, 2012 y Cabrera *et al.*, 2010 resulta muy inferior, en estos trabajos los rangos varían entre 30-45 mg/kg de carne. Esta diferencia, que a primera vista podría pensarse como significativa, si la comparamos con otros trabajos realizados disminuye. En el trabajo de Gerber *et al.*, 2009 el Hierro varió de 16-26 mg/kg de carne y en el trabajo de Ginevra Lombardi-Boccia *et al.*, 2005 el rango varió entre 18-23.7 mg/kg de carne fresca.

Estas diferencias de Hierro con los trabajos publicados en el país se pueden llegar a explicar por diferentes factores, como lo indica en el trabajo de Ramos *et al.*, 2012.

Estos factores pueden ser tanto el sexo, la raza y la edad de los animales. Otro factor que puede afectar el contenido de Hierro en los animales es el nivel de Hierro contenido en la pastura y su bioaccesibilidad durante la digestión.

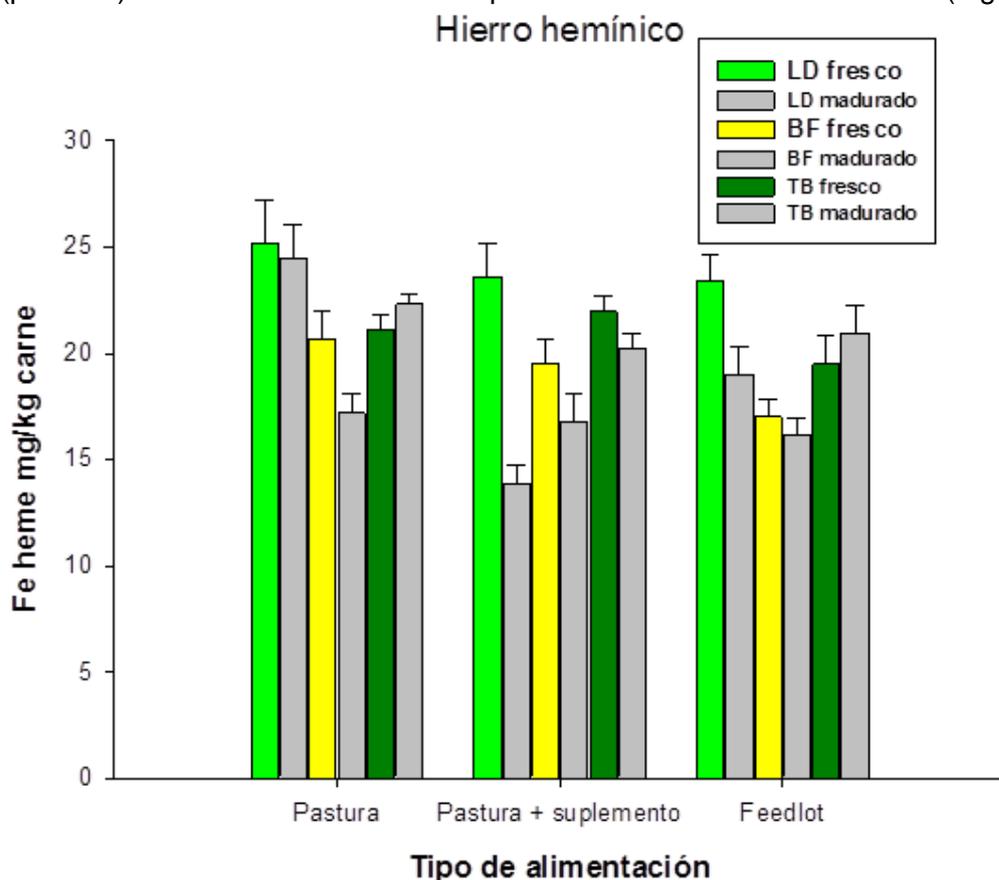
En los trabajos de Ramos *et al.*, 2012 y Cabrera *et al.*, 2010 donde se utilizaron animales de raza Hereford y Braford, se encontraron diferencias significativas en el contenido de Hierro entre las razas y en el presente trabajo se utilizaron animales Angus, esto podría explicar en principio parte de las diferencias, pero para poder confirmar estas suposiciones se requiere su futura investigación.

4.2 Hierro hemínico:

El análisis demostró que los animales alimentados con pastura muestran una diferencia significativa ($p < 0.01$) con los animales alimentados con pastura más suplemento y Feedlot (Fig.7). Para estos dos últimos sistemas no hubo una diferencia significativa de Hierro hemínico (Fig.8).

Al comparar los tres músculos, *Longissimus dorsi*, *Bíceps Femoris* y *Tríceps Brachii* frescos y madurados se constató que el *Longissimus dorsi* y *Tríceps Brachii* tienen significativamente ($p < 0.001$) mayor contenido de Hierro hemínico que el corte *Bíceps Femoris*. Estos dos músculos que se diferencian del *Bíceps Femoris*, no alcanzan una desigualdad significativa para diferenciarse entre sí (Fig.7, Fig. 9).

En el proceso de maduración, las muestras perdieron una cantidad significativa ($p < 0.001$) de Hierro hemínico en comparación con las muestras frescas (Fig.10).



Alimentación	p<0.01	Pastura>Pastua+suplemento,Feedlot 21.8 vs 19.3
Músculo	P<0.001	LD, TB>BF 21,21 vs 17
Proceso	P<0.001	Fresca>Madurada

Figura 7. Contenido de Hierro hemínico en los músculos *Longissimus Dorsi* (LD), *Triceps Brachii* (TB) y *Biceps Femoris* (BF), frescos y madurados (14 días, 2°C) provenientes de novillos Aberdeen Angus alimentados con pasturas, pasturas más suplemento o Feedlot. Los valores están dados en ppm en base fresca y corresponden a la media ± el SEM con un n=8 para las muestras de los diferentes músculos y sistemas.

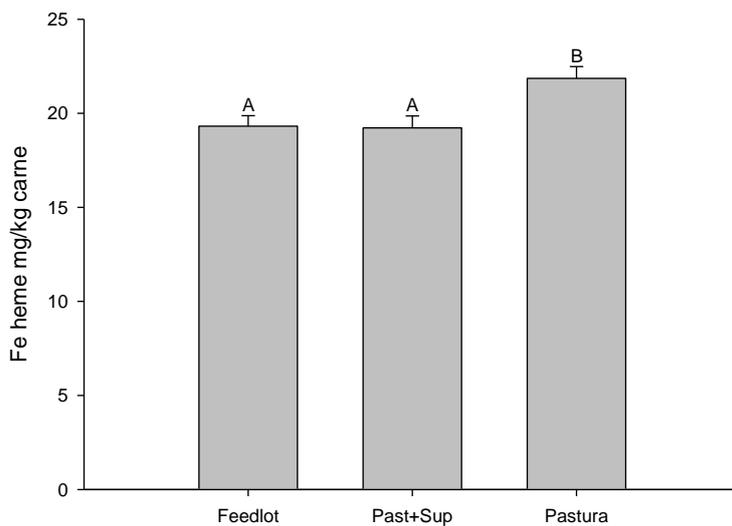


Fig.8: Contenido de Hierro hemínico en ppm para los diferentes sistemas de alimentación. Las columnas corresponden a las medias ± SEM. Las mayúsculas hacen referencia a una diferencia significativa (p<0.01) entre los sistemas.

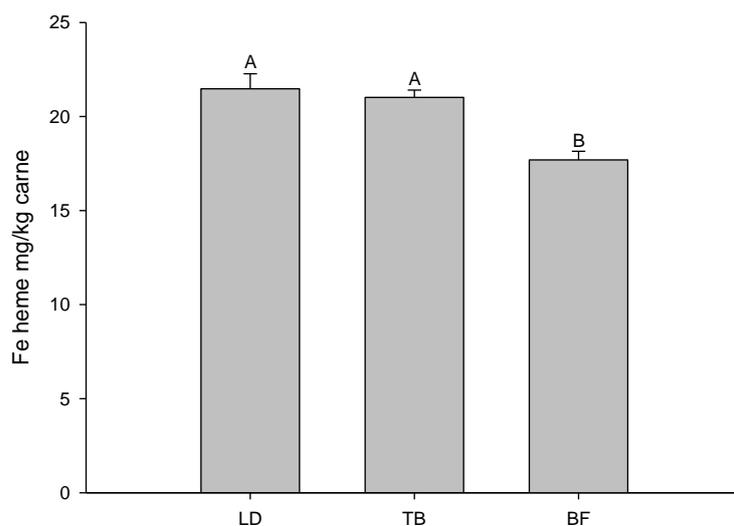


Fig.9: Contenido de Hierro hemínico en ppm de los diferentes cortes. Las columnas corresponden a las medias \pm SEM. Las letras hacen referencia a una diferencia significativa ($p < 0.001$) entre los mismos. BF= *Bíceps Femoris*, TB= *Tríceps Brachii*, LD= *Longissimus Dorsi*.

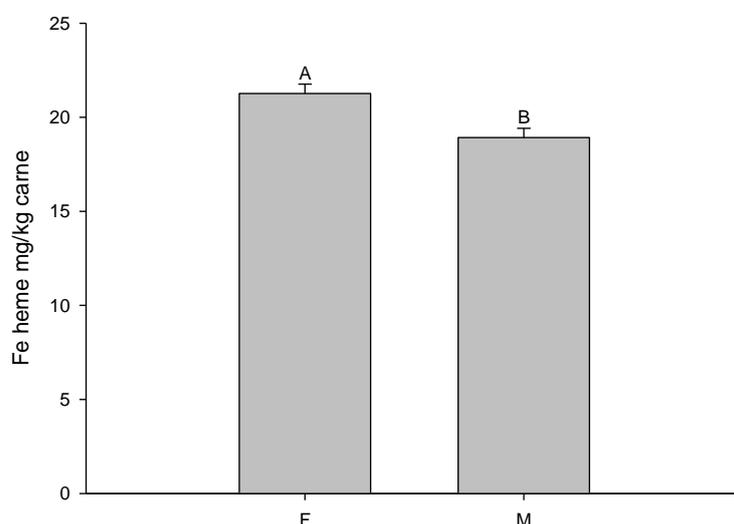


Fig.10: Contenido de Hierro hemínico en ppm de los cortes según su estado. Las columnas corresponden a las medias \pm SEM. M= Madurado, F= Fresco. Las diferentes letras indican una diferencia significativa ($p < 0.001$).

Aunque la muestra con menor contenido de hierro hemínico fue el corte *Longissimus Dorsi* madurado del sistema pastura más suplemento, en conjunto las muestras con menor contenido de Hierro hemínico fueron los *Bíceps Femoris* del sistema de alimentación Feedlot (Fig.7), presentando diferencias ($p < 0.05$) con las muestras de *Tríceps Brachii* y también con las muestras de *Longissimus Dorsi* de Feedlot y pastura. Por otro lado, la muestra de mayor contenido de Hierro hemínico, *Longissimus Dorsi* del sistema Pastura (Fig.7), difiere ($p < 0.05$) con las muestras de *Bíceps Femoris* de todos los sistemas y con las muestras de *Tríceps Brachii* de los sistemas Feedlot y Pastura más suplemento.

Además de estos resultados se percibe que el *Longissimus Dorsi* proveniente de pastura muestra una diferencia significativa comparado con el mismo músculo de los otros sistemas, siendo esto interesante al revelar que dentro de un músculo, el sistema de alimentación influye significativamente ($p < 0.05$) en el contenido de Hierro hemínico (Fig.7).

Otro de los análisis que se realizó a estas muestras fue comparar los músculos según el proceso de maduración con un testigo de muestras frescas sin madurar. El corte con menor contenido de Hierro hemínico el *Bíceps Femoris* madurado se diferenció ($p < 0.05$) del resto de los cortes frescos y madurados, menos del *Bíceps Femoris* fresco. Esto indica que dentro de este mismo músculo la maduración de 14 días a 2°C no influye significativamente ($p < 0.05$) en el contenido de Hierro hemínico. Por último se buscó revelar diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras maduras o frescas de los diferentes sistemas de alimentación. Se vio que el sistema de pastura más suplemento madurado es el que contiene menor cantidad de Hierro hemínico y difiere significativamente con el sistemas Pastura más suplemento fresco (Fig.7). Este sistema es el único que se distingue significativamente según el proceso realizado a las muestras, el resto de los sistemas no alcanzan una diferencia significativa al analizar sus muestras frescas o maduras (Fig.7)

Comparando este análisis de Hierro hemínico con el anterior de Hierro total se percibe una tendencia sobre la dieta, donde las dietas en base pastoril permiten adquirir animales con mayor contenido de Hierro (Fig. 3 y 7).

El contenido de Hierro hemínico varió entre 14-25 mg/kg de carne fresca. Este resultado si lo contrastamos con los resultados de Hierro hemínico obtenidos por Ramos *et al.*, 2012 podemos observar que la diferencia entre los trabajos es mucho menor a lo encontrado en los análisis de Hierro total. Para poder evidenciar que existe una diferencia significativa entre las razas como se observó en el trabajo de Ramos *et al.*, 2012 es necesario su futuro análisis.

Es importante destacar que si bien el contenido de Hierro total observado es menor en este trabajo que en el de Ramos *et al.*, 2012, el contenido de Hierro hemínico no difiere de igual manera. Esto podría estar indicando un mayor contenido de hierro no hemínico en los animales del trabajo de Ramos *et al.*, 2012.

Lo que si se percibe en ambos trabajos es que el contenido de Hierro hemínico disminuye significativamente luego de la maduración. Este dato es de gran importancia debido a la poca bibliografía que existe sobre el efecto de la maduración en las carnes y la importancia que tiene el Hierro hemínico en la dieta humana.

4.3 Hierro no hemínico:

En este ensayo de Hierro no hemínico por el método de la ferrozina se determinó una diferencia ($p < 0.05$) en el tipo de corte (Fig.11). *Bíceps Femoris* resultó con la menor cantidad de Hierro no hemínico entre los tres músculos ensayados. Este corte se diferenció significativamente de los cortes *Tríceps Brachii* y *Longissimus Dorsi*. El corte *Longissimus Dorsi* quedó con una cantidad de Hierro no hemínico intermedia y se diferenció tanto del *Tríceps Brachii* como del *Bíceps Femoris*. Por último el corte con mayor contenido de Hierro no hemínico fue el *Tríceps Brachii*. Este se diferenció con un $p < 0.05$ de *Longissimus Dorsi* y *Bíceps Femoris* (Cuadro 1). Las diferencias entre los sistemas que se habían visto en el ensayo de Hierro hemínico no se demostraron para este caso y no se pudo establecer una diferencia significativa entre los diferentes sistemas de alimentación (Fig.12).

La maduración de la carne tampoco tuvo una diferencia significativa para el Hierro no hemínico (Fig.13).

Cuadro 1. Contenido de Hierro no hemínico en los músculos *Longissimus Dorsi*, *Tríceps Brachii* y *Bíceps Femoris*, frescos y madurados (14 días, 2°C) provenientes de novillos Aberdeen Angus alimentados con pasturas, pasturas más suplemento o Feedlot.

Músculo	Proceso	Sistema de alimentación			Efectos principales		
		Pastura	Pastura + Sup	Feedlot	Dieta	Músculo	Proceso
LD	F	2,54 ± 0,18	2,50 ± 0,25	2,03 ± 0,16	NS	*	NS
	M	2,71 ± 0,17	2,07 ± 0,17	2,52 ± 0,16			
BF	F	1,72 ± 0,14	1,75 ± 0,16	1,40 ± 0,10	NS	TB>LD>BF	NS
	M	1,61 ± 0,20	1,56 ± 0,10	2,02 ± 0,26			
TB	F	3,20 ± 0,30	2,90 ± 0,28	3,17 ± 0,32	NS	TB>LD>BF	NS
	M	2,84 ± 0,23	2,51 ± 0,17	3,06 ± 0,45			

Los valores están dados en ppm en base fresca y pertenecen a la media ± el SEM con un n=8 para las muestras de los diferentes músculos y sistemas. El * denota una diferencia significativa con un p valor < 0.05. NS= No significativo. TB= *Tríceps Brachii*, LD= *Longissimus Dorsi*, BF= *Bíceps Femoris*.

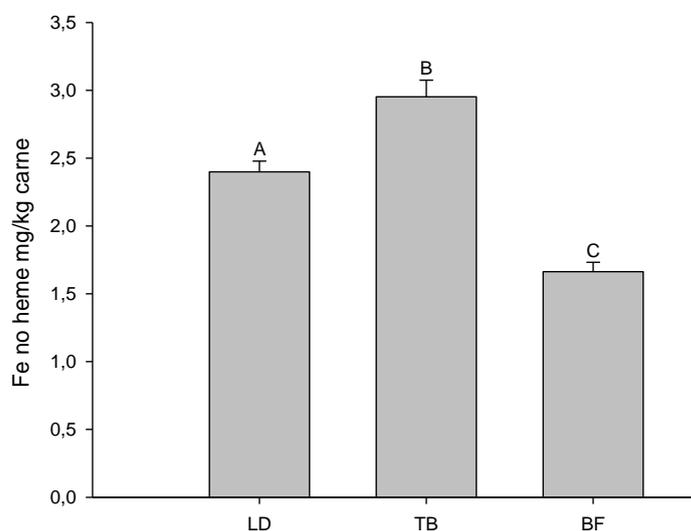


Fig. 11: Contenido de Hierro no hemínico entre los diferentes cortes ensayados. Las columnas corresponden a las medias ± SEM. BF=*Bíceps Femoris*, LD=*Longissimus Dorsi*, TB=*Tríceps Brachii*. Las diferentes letras hacen referencia a una diferencia significativa p<0.05 entre los cortes.

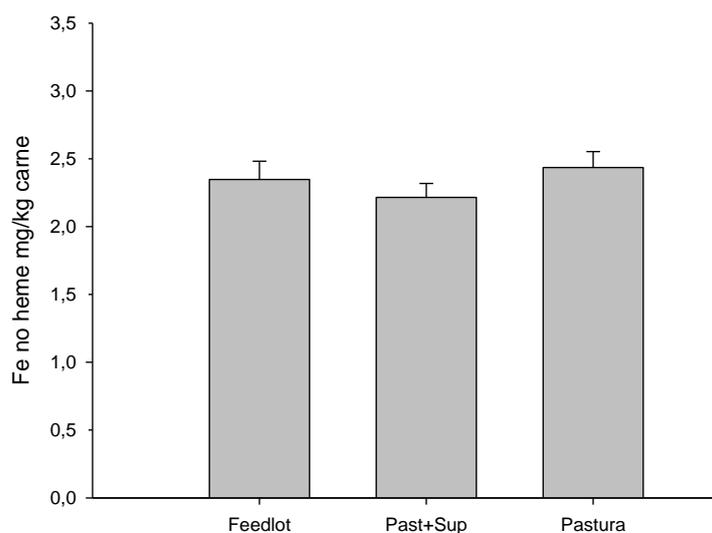


Fig.12: Contenido Hierro no hemínico en los diferentes sistemas de alimentación. Las columnas corresponden a las medias \pm SEM. FL= Feedlot, P+S= Pastura más suplemento, Past= Pastura.

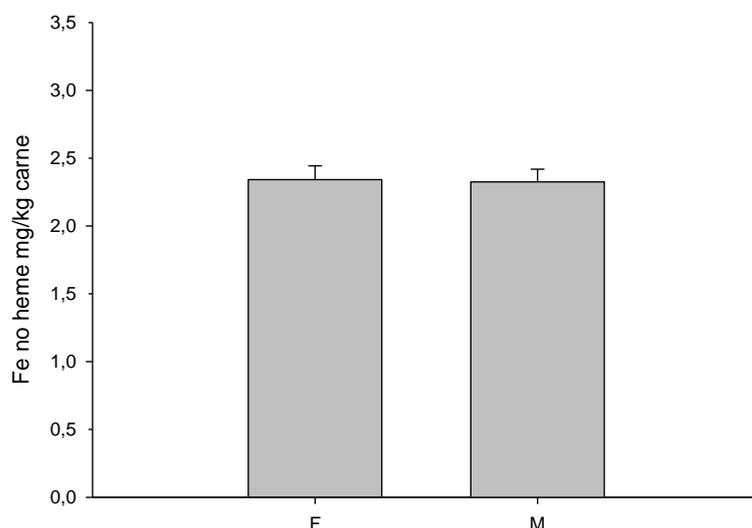


Fig.13: Contenido de Hierro no hemínico para los cortes madurados o frescos. Las columnas corresponden a las medias \pm SEM. M=Madurado, F= Fresco.

Los cortes con más contenido de Hierro no hemínico fueron los *Tríceps Brachii* de Feedlot y Pastura (Cuadro 1). Dentro de un mismo músculo no se advierte diferencias por sistema de alimentación. Esto concuerda con la figura 12 que no muestra diferencia significativa entre los sistemas. En este análisis es interesante observar como el corte *Bíceps Femoris* de cualquiera de los tres sistemas se diferencia del corte *Tríceps Brachii* en los tres respectivos sistemas, es decir que el músculo *Bíceps Femoris* se diferencia del *Tríceps Brachii* sin importar la dieta del animal. En el mercado local el *Bíceps Femoris* es un corte más costoso y asociado a una mayor calidad que el *Tríceps Brachii*, estos resultados permiten, una vez más, valorizar el corte desde un punto de vista nutricional.

Los músculos se diferenciaron significativamente como se mencionó antes (Fig.11) y a través de un análisis más detallado se puede ver como algunos de los cortes difieren según sus estados de maduración (Cuadro 1). *Bíceps Femoris* fresco, el corte con

menor contenido de Hierro no hemínico, se diferencia ($p < 0.05$) de *Longissimus Dorsi* fresco, madurado y con *Tríceps Brachii* Fresco y madurado.

El *Tríceps Brachii* fresco corte con mayor contenido de Hierro no hemínico se diferencia de *Bíceps Femoris* fresco, madurado y de *Longissimus Dorsi* fresco y madurado (Cuadro 1). Es un resultado interesante notar que dentro del mismo músculo no se observan diferencias, lo que indica que la maduración de la carne no afecta significativamente el contenido del Hierro no hemínico dentro de un músculo. Lo que se corresponde con la figura 13 que muestra que no existe una diferencia entre las muestras frescas o maduras en su conjunto.

Al analizar los datos de los diferentes ensayos de Hierro llevados a cabo en el presente estudio se puede identificar una correlación entre los valores. Los porcentajes de los valores de Hierro hemínico promediaron el 88% del Hierro total y los porcentajes de los valores de Hierro no hemínico promediaron el 10% del Hierro total. La suma de los porcentajes se acerca al 100% esperado. Esta información permite verificar el correcto tratamiento de las muestras y su correcto análisis. También estos datos permiten comparar con estudios anteriores como el de Purchas *et al.*, 2006, en este trabajo se muestra que el porcentaje de Hierro hemínico en carnes sin cocinar ronda los 87% y el porcentaje de Hierro no hemínico ronda los 12% del Hierro total lo que se aproxima bastante a los resultados de esta tesis.

4.4 Bioaccesibilidad *in vitro* del Fe total:

Luego del estudio del contenido de Hierro en sus diferentes formas se buscó obtener datos sobre la bioaccesibilidad luego de una digestión *in vitro*. Esto fue realizado para tener una idea más adecuada sobre la cantidad del Hierro disponible para la absorción.

En este análisis no se pudo observar diferencias significativas ($p < 0.05$) en los efectos principales estudiados (Cuadro 2). Ni los sistemas de alimentación (Fig.14) ni los cortes (Fig.15) o el proceso (Fig.16) mostraron diferencias que fuesen significativas. Esto indica que el proceso de digestión actúa de igual manera sin importar la muestra utilizada.

Cuadro 2. Porcentaje de Hierro bioaccesible en los músculos *Longissimus Dorsi*, *Tríceps Brachii* y *Bíceps Femoris*, frescos y madurados (14 días, 2°C) provenientes de novillos Aberdeen Angus alimentados con pasturas, pasturas más suplemento o Feedlot.

Músculo	Proceso	Sistema de alimentación			Efectos principales		
		Pastura	Pastura + Sup	Feedlot	Dieta	Músculo	Proceso
LD	F	15,14 ± 0,77	30,71 ± 15,30	18,06 ± 3,37	NS	NS	NS
	M	24,96 ± 6,90	41,36 ± 10,54	29,01 ± 15,79			
BF	F	41,17 ± 17,70	13,82 ± 12,00	24,26 ± 16,14			
	M	39,13 ± 8,64	31,84 ± 13,93	29,68 ± 11,55			
TB	F	19,21 ± 7,99	38,29 ± 15,68	10,53 ± 6,93			
	M	28,84 ± 6,99	25,51 ± 6,94	15,29 ± 8,33			

Los valores están dados como porcentaje del Hierro disponible en referencia al Hierro total de la muestra en base fresca. Los valores pertenecen a la media \pm el SEM de las muestras de los diferentes músculos y sistemas. NS= No significativo.

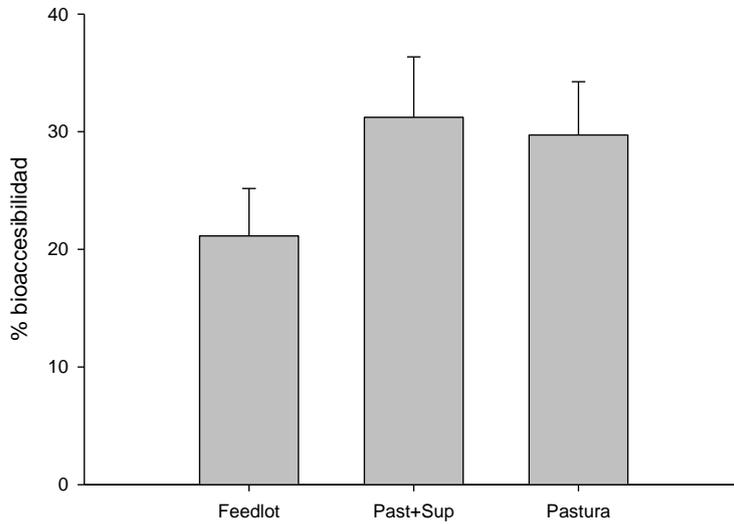


Fig.14 porcentaje de bioaccesibilidad de las muestras luego de un digestión in vitro según los diferentes sistemas de alimentación. Las columnas reflejan las medias \pm SEM.

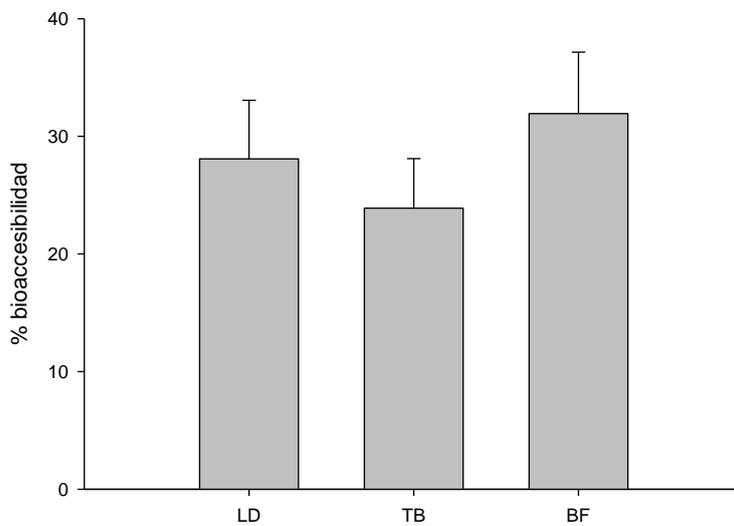


Fig.15 porcentaje de bioaccesibilidad de las muestras luego de digestión in vitro según los diferentes músculos. . BF=*Bíceps Femoris*, LD=*Longissimus Dorsi*, TB=*Tríceps Brachii*. Las columnas reflejan las medias \pm SEM.

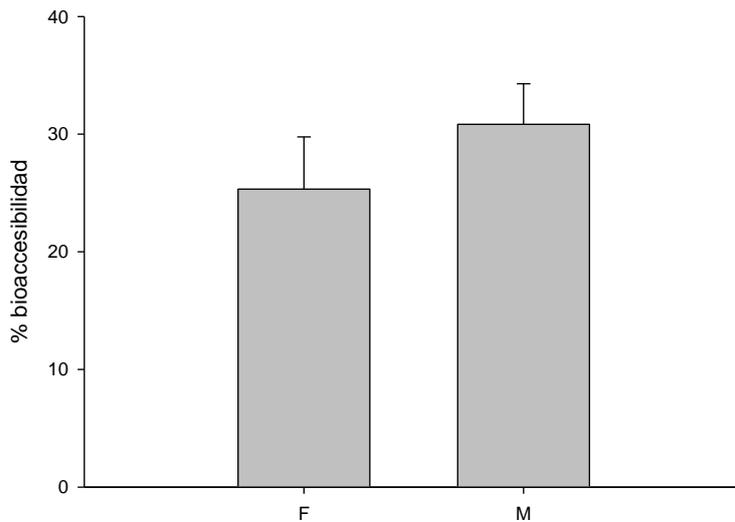


Fig.16 porcentaje de bioaccesibilidad de las muestras luego de digestión in vitro según proceso. F= Frescas, M= Maduradas. Las columnas reflejan las medias \pm SEM.

A pesar de no haber podido determinar diferencias entre las muestras, este análisis es de importancia al compararse con trabajos anteriores como el de Ramos *et al.*, 2012 donde se realizó bioaccesibilidad de Hierro para animales de razas Hereford y Bradford y se obtuvo datos de bioaccesibilidad que rondan el 60 a 70%. En este caso los valores de bioaccesibilidad para los animales Aberdeen Angus rondan entre 20 a 35%. Estos resultados pueden resultar interesantes si la diferencia resulta ser significativa entre las razas, lo que estaría indicando que los animales Aberdeen Angus poseen una menor bioaccesibilidad de Hierro que las razas Hereford y Bradford. Pero para poder confirmar estas observaciones se requiere su futuro análisis.

Ahora con todos los datos de Hierro obtenidos podemos realizar una comparación de los valores de ingesta diaria recomendada (RDI) de Hierro, con los valores encontrados en las carnes del presente estudio. En la figura 17 podemos observar como 100 gr. de carne aportan en promedio 2.3 mg de hierro al día, que viene a ser un 28.75% del requerimiento diario para hombres, un 12.78% del requerimiento para una mujer y el 8.52% del requerimiento para mujeres embarazadas.

EL corte de carne que aporta más Hierro a la dieta es el *Triceps Brachii* con un 2.38 mg. de Hierro al día y el sistema de alimentación que aporta más Hierro es Pastura con 2.52 mg. de Hierro al día.

Es importante distinguir que casi un 90% de este Hierro está en la forma de Hierro hemínico, el cual es de fácil absorción por el organismo y el restante 10% es Hierro no hemínico. Este último tiene una menor absorción que el hemínico pero al ser ingerido con una comida rica en proteínas, como es la carne, aumenta su absorción.

Teniendo en cuenta que en una comida promedio, la ingesta de carne es aproximadamente 200 gr. podemos decir que para los hombres una comida por día de carne aporta más de la mitad del requerimiento diario de hierro. Para una mujer adulta la ingesta diaria de carne aporta mucho menos de lo recomendado, por eso es preciso el consumo de otros tipos de alimentos ricos en Hierro o una suplementación del mineral, especialmente en las mujeres embarazadas, para alcanzar los requerimientos diarios de Hierro.

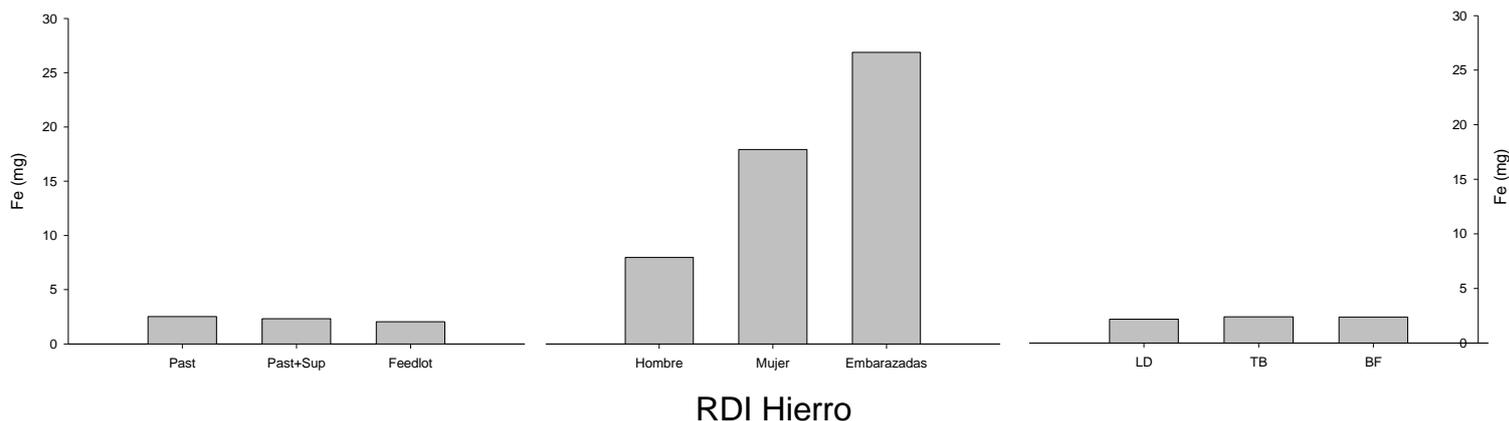


Fig.17 Comparación del contenido de Hierro con las diferentes recomendaciones diarias de ingesta (RDI) para Hierro por día, los datos fueron adquiridos de la National Institutes of Health. Para hombres adultos 8 mg. Mujeres 18 mg. y mujeres embarazadas 27 mg. LD= *Longissimus Dorsi*, TB=*Triceps Brachii* y BF= *Biceps Femoris*. Los valores están dados en mg por cada 100 gr de carne.

Si tomamos en cuenta los valores de biodisponibilidad de este estudio, el Hierro biodisponible para su absorción en el intestino está entre 0.46-0.81 mg por cada 100 gramos de carne. Estos números representan para un hombre adulto un 5.75-10.13%, para una mujer adulta un 2.56-4.50% y para una mujer embarazada un 1.70-3.00% de las recomendaciones diarias para este mineral.

Todos estos resultados han sido calculados en base fresca y por el contrario en la mayoría de los casos la carne es consumida luego de un proceso de cocción, esto puede hacer variar los datos aquí presentados. El proceso de cocción de la carne causa una pérdida de peso de alrededor del 40% debido a la pérdida de agua, pero la cantidad de minerales no necesariamente se ve afectada (Ginevra Lombardi-Boccia *et al.*, 2005). En el estudio de Purchas *et al.*, 2003 se observó que el contenido de Hierro de algunos cortes bovinos perdió una pequeña cantidad del mineral pero se logró recuperar alrededor del 90% del nivel determinado inicialmente.

Aunque la pérdida de mineral por el proceso de cocción parece ser pequeña es necesario su futuro análisis para poder presentar resultados más precisos.

5 Conclusiones:

El análisis del contenido de Hierro total mostró que existen diferencias en el contenido del mineral según la dieta del animal. Los animales alimentados con pasturas se diferenciaron de los animales alimentados con concentrados en Feedlot. Esto determina que la alimentación influye en el contenido de Hierro.

Para los diferentes músculos no se detectó una diferencia significativa ni tampoco según el proceso de maduración de las muestras.

El contenido de Hierro hemínico de las carnes fue el que presentó mayor diferencias. Los animales con dieta en base a pasturas resultaron con mayor contenido de Hierro hemínico y se diferenciaron de los sistemas pastura más suplemento y Feedlot. Los músculos con mayor contenido de Hierro hemínico fueron el *Longissimus Dorsi* y el *Tríceps Brachii* que se diferenciaron del *Bíceps Femoris*. El proceso de maduración también influyó en el contenido de Hierro hemínico presentando mayor contenido las muestras frescas que las maduras. Con todos estos resultados se concluye que el contenido de Hierro hemínico tiene una alta variabilidad ya que varía según la dieta del animal, el músculo y/o el proceso de maduración.

Los resultados del ensayo del Hierro no hemínico permiten confirmar que, en este caso el corte de carne es la variable significativa en el contenido de Hierro. El músculo *Tríceps Brachii* exhibió mayor contenido de Hierro no hemínico y se diferenció del *Longissimus Dorsi* y del *Bíceps Femoris*. No se encontró diferencias significativas según la dieta o el proceso de maduración de las muestras.

La bioaccesibilidad del Hierro en las muestras no mostró diferencias entre los diferentes sistemas, cortes o por el proceso de maduración, lo que demuestra una uniformidad en la bioaccesibilidad luego de la digestión del alimento.

6 Bibliografía:

Asociación Argentina de Angus (2007). **La raza Angus, historia y desarrollo.** [Internet] Argentina. Disponible desde < http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/raza_angus/13-la_raza.pdf > [Acceso 25 de noviembre del 2013].

Berretta, E.J. (2003). Perfil de pastura y forrajes en el Uruguay. **Revista INIA.** Pp 31

Biesalski, H.K. (2005). Meat as a component of a healthy diet – are there any risks or benefits if meat is avoided in the diet?. **Meat Science.** 70, pp 509-524

Bruner, A.B. (1996). Randomised study of cognitive effects of iron supplementation in non-anaemic iron-deficient adolescent girls. **Lancet.** 348. pp 992-96.

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, pp 518-528.

Combs, G. F; Clark, L. C. (1985). Can dietary selenium modify cancer risk? **Nutrition Reviews.** 43, pp 325-331.

Crosby, W. (1963). The Control of Iron Balance by the Intestinal Mucosa. **Blood Journal.** 22. pp 441-449.

Dallman, P.R. (1986). Biochemical basis for the manifestations of iron deficiency. **Ann. Rev. Nutr.** 6, pp 13-40

De Castro, P.M; Baltazar, A.F. (2013). Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. **Meat Science.** 93, pp 586-592

DeMaeyer, E. Adiels-Tegman, M. Raystone, E. (1985). The prevalence of anemia in the world. **World Health Stat Q.** 38 pp 302-316.

Egderton, V.R. (1972). Iron deficiency anemia and physical performance and activity of rats. **Journal of Nutrition.** 102 pp 381-400

Fagro. (2008). **Concentrados y subproductos para la alimentación de rumiantes** [Internet] Montevideo, Uruguay, disponible desde <<http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/NUTRICION/TEORICOS/Tema%202.%20Material%20de%20lectura.%20Concentrados%20y%20subproductos.pdf>> [Acceso 15 octubre del 2013]

FAO. (1997) **Clasificación de Sistemas de Producción Ganadera** [Internet], Roma, Italia, Disponible desde

<http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/es/lead/toolbox/Refer/ProSystR.htm#Grazing> [Acceso 5 de setiembre del 2013].

Finch, C. (1994). Regulators of Iron Balance in Humans. **The Journal of The American Society of Hematology**. 84. Pp 1697-1702

Gerber, N., Brogioli, R., Hattendorf, B., Scheeder, M. R., Wenk, C., & Günther, D. (2009). Variability of selected trace elements of different meat cuts determined by ICP-MS and DRC-ICPMS. **Animal**, 3, 166–172.

Gibson, R. S; Heath, A. L; Limbaga, M. L. (2001). Are changes in food consumption patterns associated with lower biochemical zinc status among women from Dunedin, New Zealand. **The British Journal of Nutrition**. 86, pp 71-80.

Ginevra Lombardi-Boccia, Sabina Lanzi, Altero Aguzzi. (2005). Aspects of meat quality: trace elements and B vitamins in raw and cooked meats. **Journal of Food Composition and Analysis**. 18, pp 39-46.

Groff, J.L; Grooper, S.S; Smith, J.L.. (2000). **Advanced nutrition and human metabolism**. 4° edición. Belmont, CA, USA. Thomson Wadsworth.

Hallberg, L. (1981). Bio-availability of dietary iron in man. **Ann. Rev. Nutr**, 1. Pp 123-147

Hallberg, L., Brune, M. & Rossander-Hultén, L-S. (1987). Is there a physiological role of vitamin C in iron absorption? **Ann. York. Acad. Sci**. 498 pp 324-332.

Hallberg, L., Brune, M. & Rossander, L. (1989). Iron absorption in man: ascorbic acid and dose-dependent inhibition by phytate. **Am. J. Clin. Nutr**. 49 pp 140-144.

Hallberg, L. (1991). Calcium: effect of different amounts on nonheme-and heme-iron absorption in Humans. **Am. J. Clin. Nutr**. 53. pp 112-119.

Hallberg, L. (1993) Inhibition of haem-iron absorption in man by calcium. **Br. J. Nutr**. 69. Pp 533-540

Hallberg, L., Hulthén, L. & Gramatkovski, E. (1997). Iron absorption from the whole diet in men: how effective is the regulation of iron absorption? **Am. J. Clin. Nutr**. 66. pp 347-56.

Hornsey, H. C. (1956). The colour of cooked cured pork. 1. Estimation of the nitric oxide–haem pigments. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 7, pp 534-541.

INAC. (2002). **Algunas definiciones prácticas**. [Internet] Montevideo, Uruguay, disponible desde <http://www.inac.gub.uy/innovaportal/file/6351/1/algunas_definiciones_practicas.pdf> [Acceso 18 de noviembre del 2013].

INAC. (2012). **Cierre Evolución Indicadores y Determinantes del Consumo de carnes en Uruguay INAC** [Internet] Montevideo, Uruguay, Disponible desde <http://www.inac.gub.uy/innovaportal/file/8176/1/cierre_2012_mercado_interno.pdf> [Acceso 16 de setiembre del 2013].

INAC (2013) **Manual de carnes bovinas y ovinas**. [internet] Montevideo, Uruguay. Disponible desde <<http://carneangus.com.uy/wp-content/uploads/2013/06/manualdecortes.pdf>> [Acceso 18 de noviembre del 2013].

INIA. (2004) **Producción de carne bovina: Engorde intensivo** [Internet], Montevideo, Uruguay, Disponible desde <<http://www.inia.org.uy/prado/2004/engorde%20a%20corral.htm>> [Acceso 10 de setiembre 2013].

INIA. (2011) **Programa Nacional de Producción de Carne y Lana** [Internet], Montevideo, Uruguay, Disponible desde <<http://www.inia.org.uy/online/site/31583811.php>> [Acceso 10 de setiembre del 2013].

Junta nacional de carnes (1970). **Cortes vacunos y menudencias**. [Internet] Argentina, disponible desde <http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/carne_y_subproductos/53-cortes_vacunos_y_menudencias.pdf> [Acceso 18 de noviembre del 2013].

Kühn, L.C. (1996). Control of cellular iron transport and storage at the molecular level. **Iron nutrition in health and disease**. pp 17-29.

MGAP. (2012) **Anuario estadístico agropecuario 2012** [Internet], Montevideo, Uruguay, Disponible desde <<http://www.mgap.gub.uy/Dieaanterior/Anuario2012/DIEA-Anuario-2012web.pdf>> [Acceso 10 de setiembre del 2013].

O'Neil, C.E; Zanovec, M; Keast, D.R; Fulgoni III, V. L; Nicklas, T.A. (2011). Nutrient contribution of total and lean beef in diets of US children and adolescents: National Health and Nutrition Examination Survey 1999–2004. **Meat Science**. 87, pp 250-256.

Piccirillo, D.A. (2008) **Ultrasonido para la calidad de carnes**. [Internet] Argentina, disponible desde <http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/ecografia_ultrasonido/64-calidad_carnes.pdf> [Acceso 18 de noviembre del 2013].

Pollitt, E. (1993). Iron deficiency and cognitive function. **Annual Review of Nutrition**. 13. pp 521-37.

Purchas, R. W., Simcock, D. C., Knight, T. W., & Wilkinson, B. H. P. (2003). Variation in the form of iron in beef and lamb meat and losses of iron during cooking and storage. **International Journal of Food Science and Technology**. 38, pp 827–837.

Purchas, R.W; Busboom, J.R; Wilkinson B.H.P. (2006) Changes in the forms of iron and in concentrations of taurine, carnosine, coenzyme Q10, and creatine in beef longissimus muscle with cooking and simulated stomach and duodenal digestion. **Meat Science**. 74, pp 443–449

Ramos, A; Cabrera, M.C; Saadoun, A. (2012). Bioaccessibility of Se, Cu, Zn, Mn and Fe, and heme iron content in unaged and aged meat of Hereford and Braford steers fed pasture. **Meat Science**. 91, pp116-124.

Rovira, F. **Valoración cárnica de los bovinos, sus canales y sus cortes**. [Internet] Uruguay, disponible desde < <http://angusuruguay.com/archivos/Articulos/Art%C3%ADculo%20Revista%20Angus.pdf> > [Acceso 18 de noviembre del 2013].

Scrimshaw, N.S. (1984). Functional consequences of iron deficiency in Human populations. **Journal of Nutritional Science and Vitaminology**. 30. pp 47-63.

Sere, C; Steinfeld, H. (1996) World Livestock Production Systems Current Status, Issues and Trends. **FAO Animal production and health**, pp 98.

Siegenberg, D. (1991). Ascorbic acid prevents the dose-dependent inhibitory effects of polyphenols and phytates on nonheme-iron absorption. **Am. J. Clin. Nutr.** 53. pp 537-41.

Soares de Lima, J.M; Montossi, F. (2010). Años muy buenos, años muy malos...El rol de la suplementación en sistemas ganaderos extensivos en un contexto de alta variabilidad climática y de producción forrajera. **Revista INIA**. 22, pp 16-20.

Sociedad de Criadores de Angus del Uruguay. **Breve Historia del Aberdeen Angus en el Uruguay**. [Internet] Montevideo, Uruguay. Disponible desde < <http://angusuruguay.com/historia> > [Acceso 25 de noviembre del 2013].

Suttle,N.F. (2010) **Mineral Nutrition of Livestock**. 4th ed. Wallingford, Oxfordshire, UK. MPG Books Group.

Tapiero, H.; Gaté, L; Tew, K.D. (2001). Iron: deficiencies and requirements. **Biomed Pharmacother**. 55, pp 324-332.

Valsta, L.M; Tapanainen, H; Mannisto, S. (2005). Meat fats in nutrition. **Meat Science**. 70, pp 525-530.

Wangang Zhang, Shan Xiao, Himali Samaraweera, Eun Joo Lee, Dong U. Ahn. (2010). Improving functional value of meat products. **Meat Science**. 86, pp 15-31.

Warner, R.D; Greenwood, P.L; Pethick, D.W; Ferguson, D.M. (2010). Genetic and environmental effects on meat quality. **Meat Science**. 86, pp 171-183.

West, A; Oates, P. (2008). Mechanisms of heme iron absorption: Current questions and controversies. **World Journal of Gastroenterology**. 14(26), pp 4101-4110.

Yip, R., Stolfus, R.J. & W.K.S. (1996). Assessment of the prevalence and the nature of iron deficiency for populations: the utility of comparing haemoglobin distributions. **Iron nutrition in health and disease**. London, John Libby & Company Ltd.