



Unidad de Posgrados y Educación Permanente



FACULTAD DE
AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Calidad nutricional, funcional y estatus oxidativo de la carne de cerdo Pampa Rocha en un sistema al aire libre vs. un sistema confinado

Cecilia Carballo

Doctorado en Ciencias Agrarias

Febrero 2023

**Calidad nutricional, funcional y estatus
oxidativo de la carne de cerdo Pampa
Rocha en un sistema al aire libre vs. un
sistema confinado**

Cecilia Carballo

Doctorado en Ciencias Agrarias

Febrero 2023

Tesis aprobada por el tribunal integrado por la prof. Dra. Silvia Llambí (presidenta), el prof. Dr. Juan Vicente Delgado (relator) y la prof. Dra. Laura Astigarraga (relatora) el 15 de febrero de 2023. Autora: Ing. Agr. (MSc.) Cecilia Carballo. Directora: Dra. María Cristina Cabrera. Codirector: Dr. Ali Saadoun.

AGRADECIMIENTOS

A Cristina, por haber aceptado conducir mi doctorado, por sus enseñanzas, su acompañamiento y su empuje, que fue mucho más allá de lo académico, por sus consejos y su amistad.

A Ali, que no fue solo un tutor, sino un educador permanente, por su sabiduría, su gran capacidad de enseñar y de explicar.

A los miembros del tribunal, por aceptar ser partícipes de esta instancia, muy importante para mí.

A Alejandra, Marta y Carmen, quienes hicieron posible sacar adelante gran parte de los trabajos de laboratorio e hicieron muy agradables esas largas jornadas.

A Nelson, que me acompañó durante una parte importante de mi trabajo.

A los amigos que me dio la Facultad de Agronomía, Ana, Nandy, Washington y Ana, por el apoyo.

A Tanya y demás compañeros del Centro Regional Sur, por permitir que el trabajo de campo se lograra.

A Diego, porque a esta meta llegamos juntos, como siempre.

A esas tres personitas que llegaron para darme la motivación que me faltaba para terminar, Abril, Mélody y Morena.

A mi familia que siempre me dio para adelante, en especial a mis padres.

A mis amigas, las que están cerca y las que no, por llenarme de optimismo.

A la ANII, CAP y CSIC, por el apoyo económico.

A la empresa Ardistar SA por permitir realizar allí la faena de los animales y la toma de muestras.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PORTADA	II
PÁGINA DE APROBACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	VIII
SUMMARY	IX
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>ANTECEDENTES</u>	4
2.1 EL CERDO PAMPA ROCHA COMO RECURSO LOCAL.....	4
2.2 LA CARNE DE CERDO: FACTORES QUE CONDICIONAN LA CALIDAD DIFERENCIAL.....	9
2.2.1 <u>Definiendo el término calidad de carne</u>	9
2.2.2. <u>Calidad de la carne de cerdo</u>	10
2.2.3 <u>Cambios durante la maduración y conservación</u>	12
2.2.4 <u>Estatus oxidativo</u>	14
2.2.5 <u>El rol de las pasturas en la alimentación</u>	15
2.2.6 <u>Actividad física y su efecto sobre la calidad de la carne</u>	17
3. <u>HIPÓTESIS Y OBJETIVOS GENERALES</u>	19
3.1 HIPÓTESIS.....	19
3.2 OBJETIVOS GENERALES.....	20
3.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
4. <u>ESTRATEGIA EXPERIMENTAL</u>	21
5. <u>CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS, PARÁMETROS TECNOLÓGICOS Y FÍSICO-QUÍMICOS Y ESTABILIDAD OXIDATIVA DE LA CARNE DE CERDO PAMPA ROCHA EN DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN</u>	22
5.1 INTRODUCCIÓN.....	23
5.2 OBJETIVO GENERAL.....	24
5.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24

5.4 HIPÓTESIS.....	24
5.5 MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
5.5.1 <u>Animales y condiciones experimentales</u>	25
5.5.2 <u>Parámetros productivos y de carcasa</u>	28
5.5.3 <u>pH, pérdida por goteo y color</u>	28
5.5.4 <u>Determinación de glucógeno y lactato</u>	29
5.5.5 <u>Determinación de la oxidación lipídica y proteica</u>	29
5.5.6 <u>Estimación del consumo de pasturas</u>	30
5.5.7 <u>Análisis estadístico</u>	31
5.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
5.6.1 <u>Parámetros productivos y características de carcasa</u>	32
5.6.2 <u>pH, pérdida por goteo y color</u>	33
5.6.3 <u>Contenido de glucógeno y lactato</u>	43
5.6.4 <u>Oxidación lipídica y proteica</u>	46
5.7 CONCLUSIONES.....	49
6. <u>COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA CARNE DE CERDO PAMPA ROCHA EN DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN: PERFIL LIPÍDICO E ÍNDICES DE SALUD</u>	50
6.1 INTRODUCCIÓN.....	51
6.2 OBJETIVO GENERAL.....	52
6.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	52
6.4 HIPÓTESIS.....	52
6.5 MATERIALES Y MÉTODOS.....	52
6.5.1 <u>Animales y condiciones experimentales</u>	52
6.5.2 <u>Contenido de lípidos y perfil de ácidos grasos</u>	53
6.5.3 <u>Índices lipídicos de salud</u>	54
6.5.4 <u>Análisis estadístico</u>	54
6.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
6.6.1 <u>Contenido de ácidos grasos</u>	54
6.6.2 <u>Índices lipídicos de salud</u>	59
6.7 CONCLUSIONES.....	61

7. <u>COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA CARNE DE CERDO PAMPA ROCHA EN DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN: CONTENIDO DE MINERALES</u>	62
7.1 INTRODUCCIÓN.....	63
7.2 OBJETIVO GENERAL.....	64
7.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	64
7.4 HIPÓTESIS.....	64
7.5 MATERIALES Y MÉTODOS.....	65
7.5.1 <u>Condiciones experimentales y toma de muestras</u>	65
7.5.2 <u>Determinación del contenido de minerales</u>	65
7.5.3 <u>Determinación del contenido de hierro hemo y no hemo</u>	66
7.5.4 <u>Análisis estadístico</u>	67
7.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	67
7.6.1 <u>Composición mineral en alimento concentrado y pasturas</u>	67
7.6.2 <u>Formas de hierro</u>	69
7.6.3 <u>Macrominerales: Ca, Mg, Na y K</u>	72
7.6.4 <u>Minerales traza: Zn, Cu y Mn</u>	75
7.7 CONCLUSIONES.....	78
8. <u>CONSIDERACIONES FINALES</u>	78
9. <u>CONCLUSIONES GENERALES</u>	80
10. <u>PERSPECTIVAS E IMPLICANCIAS DEL TRABAJO</u>	82
11. <u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	83
12. <u>ANEXOS</u>	106

RESUMEN

Se estudiaron las características de composición química, nutricional y funcional de la carne de cerdo Pampa Rocha, producida en dos sistemas, al aire libre con pasturas y cama profunda. Los animales al aire libre presentaron mejoras en algunos parámetros de la canal y de la carne. En ambos sistemas la carne resultó muy adecuada desde el punto de vista nutricional y tecnológico, para el consumo y procesamiento, fresca o conservada. La carne proveniente de la cría al aire libre tuvo pH más bajo, fue más oscura y presentó mayor pérdida por goteo. El *longissimus thoracis* presentó un pH y pérdida por goteo más altos, fue menos rojo y más claro que el *psaos major*, independientemente del sistema productivo. La carne conservada presentó un pH estable pero fue más roja y amarilla y con mayor pérdida por goteo. El glucógeno y lactato muscular no fueron afectados por el sistema de producción, el tipo de músculo o el sexo de los animales. La estabilidad oxidativa de lípidos y proteínas fue similar para ambos sistemas, pero dependió del tipo de músculo, resultando el *psaos major* un músculo más frágil frente a la oxidación. El perfil de ácidos grasos fue similar en ambos sistemas, pero el *psaos major* presentó un mayor contenido de lípidos que el *longissimus*. Este último producido al aire libre presenta moderada mejora en el perfil de ácidos grasos, particularmente con el ácido alfa-linolénico (C18:3n-3) y una menor relación n-6/n-3. El sistema de producción impactó en el contenido de hierro, particularmente de hierro biodisponible, siendo mayor la relación hierro hemo/hierro total en carne producida sobre pasturas, considerando los músculos *longissimus*, *psaos* y los músculos traseros *gluteus medius*, *semitendinosus*, *biceps femoral* y *quadriceps femoris*. En esta tesis se generó conocimiento sobre la particularidad de cada músculo, en cuanto a atributos nutricionales y tecnológicos, en forma independiente del sistema productivo. El sistema al aire libre presenta algunas ventajas que valorizan el tipo genético en un ambiente que puede interesar a consumidores con exigencias particulares.

Palabras clave: cerdo Pampa Rocha, cría al aire libre, valor nutricional de la carne, lípidos, minerales

SUMMARY

The chemical, nutritional and functional composition of Pampa Rocha pork, produced in two systems, outdoors with pastures and deep bed, was studied. The animals in the outdoor system showed improvements in some carcass and meat parameters. In both systems, the meat was adequate from the nutritional and technological point of view, for consumption and processing, fresh or preserved. Meat from outdoor had a lower pH, was darker, and had higher drip loss. *longissimus thoracis* had a higher pH and drip loss, was less red and lighter than *psoas major*, regardless of the production system. The aged meat presented a stable pH, but it was redder and yellower, and with a higher drip loss than fresh meat. Muscle glycogen and lactate were not affected by the production system, the type of muscle or the sex of the animals. The oxidative stability of lipids and proteins was similar for both systems, but it depended on the type of muscle, with the *psoas major* being a more fragile muscle against oxidation. The fatty acid profile was similar in both systems, but the *psoas major* had a higher lipid content than the *longissimus*. The latter, produced outdoors, presents a moderate improvement in the fatty acid profile, particularly with alpha-linolenic acid (C18:3n-3), and a lower n-6/n-3 ratio. The production system had an impact on the iron content, particularly bioavailable iron, with the heme iron/total iron ratio being higher in meat produced on pastures, considering the *longissimus* and *psoas* muscles, and the hindquarters, *gluteus medius*, *semitendinosus*, *biceps femoral*, and *quadriceps femoris*. In this thesis, knowledge was generated about the particularity of each muscle, in terms of its nutritional and technological attributes, regardless of the productive system. The outdoor system presents some advantages that enhance the genetic type in an environment that may interest consumers with particular requirements.

Keywords: Pampa Rocha pig, rearing outdoors, nutritional value of meat, lipids, minerals

1. INTRODUCCIÓN

La carne de cerdo es una proteína animal globalmente consumida y producida a escala industrial, pero en muchos países y zonas rurales está asociada a una producción de escala familiar con biotipos locales no mejorados y de mayor rusticidad (Muth et al., 2017, Carpinetti et al., 2016, Madzimure et al., 2012). Esta actividad productiva cumple un rol fundamental en las consignas de desarrollo sostenible (FAO, 2019). El enfoque de esta tesis pretendió contribuir al desarrollo del conocimiento de uno de esos biotipos, propio del Uruguay.

Para el año 2021, en Uruguay se estimó un consumo per cápita de carne de cerdo de 19,3 kg (INAC, 2021). Aun considerando que puede haber llegado a un máximo, el consumo diferencial respecto a del año 2000 marca un cambio sustancial en los parámetros de elección de proteína animal, de interés y oportuno para el desarrollo de nuevos productos. Este aumento de la demanda impactó en la producción nacional como también en las importaciones, que representan una fuerte competencia al sector productivo uruguayo, caracterizado por la presencia de pequeños y medianos productores. Este gran volumen de importación representa, por otro lado, una oportunidad de sustituir paulatinamente el consumo de carne de cerdo importada por la producida en nuestro país. Según un informe reportado por OCDE-FAO (2020), se proyecta que en los próximos diez años el consumo de carne de cerdo se incremente, representando un 28 % del incremento de consumo total de carne en el mundo. Este crecimiento estará sostenido en mayor parte por América Latina, donde el consumo per cápita de carne aumenta rápidamente y en donde el precio favorable ha posicionado a la carne de cerdo dentro de las preferidas. En muchos de estos países en desarrollo, el consumo de esta carne representa la mitad si se compara con países desarrollados (OECD-FAO, 2020).

Desde la década de 1960 ocurre la llamada industrialización de la explotación agropecuaria, tendencia que comenzó a sentirse también en los países en desarrollo desde 1980, siendo especialmente significativa en la producción de carne de animales

monogástricos. A escala mundial, se estima que los sistemas industriales representan el 42 % de la producción de carne porcina (Robinson et al., 2014, FAO, 2010). Estos sistemas producen con base en tipos genéticos seleccionados por eficiencia de conversión y bajo espesor de grasa dorsal, lo cual también llevó a la disminución de la grasa intramuscular y provocó problemas de calidad de carne en relación con lo tecnológico-sensorial (Burgos-Serrano et al., 2019). En la actualidad, la demanda se vuelca crecientemente hacia la carne de cerdo proveniente de otros tipos de sistemas productivos que impliquen la cría al aire libre, ya que los consumidores la asocian con el bienestar animal (Cabana, 2010, Honeyman, 2005, Ngapo et al., 2003). Estos sistemas están, generalmente, en manos de pequeños y medianos productores, que no pueden afrontar los costos de los sistemas intensivos y encuentran en estos consumidores un nicho de mercado para abastecer desde sistemas alternativos (Dawkins, 2017, Kapel, 2005). Algunos países promueven políticas de preservación y uso de esos sistemas tradicionales, vinculados, además, a la conservación de recursos genéticos locales adaptados (Kallas et al., 2019). Estos desafíos son positivos para la producción porcina y podrían contribuir a la sustentabilidad de familias en sistemas de pequeña y mediana escala, así como también con una alimentación sustentable.

Por otro lado, la creciente desconfianza de los consumidores hacia el sistema alimentario está favoreciendo la demanda de productos de calidad. La población actual ha ido cambiando sus preferencias hacia dietas más saludables, coexistiendo con prejuicios sobre una carne de cerdos menos saludable, fundamentalmente por el desconocimiento sobre la composición de sus grasas y la posibilidad de mejorarla a través del manejo de la alimentación animal (Wood et al., 2008). Respecto a este tema, las nuevas recomendaciones sobre el consumo de grasa animal y su impacto sobre enfermedades cardiovasculares son variables (Chowdhury et al., 2014), pero eso no es percibido de igual forma por la población. Sumado a temas de salud, los consumidores de mercados demandantes están dispuestos a pagar por productos con determinados atributos de calidad, diferenciación y marcas, asumiendo que son más seguros para su consumo (Schleenbecker y Hamm, 2013). Este mercado se está incrementando alrededor del mundo, fundamentalmente en la población joven. En este escenario,

toman relevancia el bienestar animal, el ambiente y las características nutricionales y funcionales de la carne (Bava et al., 2017, Clark et al., 2017, Verbeke et al., 2010, Honeyman, 2005).

La certificación de determinadas producciones agroalimentarias constituye la fórmula que garantiza esta nueva dinámica social. Una de las certificaciones más importantes es la Denominación de Origen, basada en factores ambientales, territoriales y culturales; el jamón ibérico de bellota es ejemplo de ello (Amaya y Aguilar, 2012). Este ejemplo explota, además de la diferenciación de origen, el uso de un recurso local y la obtención de productos de altísima calidad por las características de las canales, carne y grasa de los animales que estos sistemas producen (Burgos-Serrano et al., 2019). En nuestro país, caracterizado por el poco desarrollo de la producción porcina y en donde predomina la producción a campo con presencia de diferentes tipos de cerdo, el asociar un tipo genético rústico con sistemas más amigables podría representar una puerta de oportunidades para desarrollar productos con mayor valor agregado por su sistema de producción de origen (Cervieri et al., 2010).

La modificación de los productos hacia alimentos más saludables es otra puerta de oportunidades para estos sistemas. En los cerdos, los ácidos grasos contenidos en la dieta se retienen con pocas modificaciones en la canal, por lo que existe una relación muy estrecha entre el tipo de grasa ingerida y la que se deposita (Larick et al., 1992). Trabajos anteriores al nuestro muestran algunas características diferenciales en la carne de cerdo híbrido comercial cuando se incorporan ácidos grasos poliinsaturados o pasturas en la alimentación (Capra et al., 2013, Amaya y Aguilar, 2012). Por otro lado, nuestro grupo de investigación mostró que la carne de cerdo Pampa Rocha (cerdo criollo de Uruguay) criado al aire libre con pasturas presenta mayor estabilidad oxidativa de los lípidos y no de las proteínas que sus cruces (Carballo et al., 2017). Otros estudios han demostrado, además, características tecnológicas de interés en la carne de estos animales (Espino, 2022, Vodanovich, 2022, Montenegro et al., 2018, Mernies, 2016, Ramos, 2012, Cabrera et al., 2010). Es, por lo tanto, de interés profundizar en el tipo de carne producida, atendiendo al sistema productivo, en

diferentes aspectos como sus características tecnológicas y nutricionales, y aquellos parámetros asociados a la calidad y la vida útil.

Esta investigación pretende estudiar desde el punto de vista nutricional, funcional y oxidativo la carne del cerdo Pampa Rocha (raza criolla), producida en dos sistemas, en confinamiento en cama profunda, que comienza a surgir en el país como alternativa al confinado clásico, y un sistema al aire libre incluyendo pasturas, como una forma novedosa de producir este tipo de animal durante la etapa de engorde. Esto permitiría crear las bases científicas que apoyen la producción de un cerdo de características diferentes, en un sistema que incluya pasturas y al aire libre, con la idea de satisfacer un posible mercado dispuesto a pagar un producto diferencial y de promover la producción de carne a partir de sistemas amigables con el medio ambiente y el animal. Esta tesis se desarrolló en tres abordajes: el comportamiento productivo durante la recría-engorde de los animales, las características tecnológicas y nutricionales y las características funcionales de la carne obtenida, con el objetivo de generar conocimiento de atributos de la carne fresca y procesada del cerdo Pampa Rocha en dos sistemas productivos. Previamente abordaremos algunos antecedentes sobre el cerdo Pampa Rocha, la carne diferenciada y los factores vinculados al sistema de producción en su globalidad, que inciden en la calidad del producto obtenido.

2. ANTECEDENTES

2.1 EL CERDO PAMPA ROCHA COMO RECURSO LOCAL

El cerdo Pampa Rocha (PR, raza criolla) es un recurso genético animal local de Uruguay. Estos animales habitaban el este de nuestro país, fundamentalmente el departamento de Rocha, en un ecosistema caracterizado por pradera natural herbácea asociada a pajonales y una importante población de palmeras *Butiá capitata*. Su origen se relaciona con la introducción de cerdos Berkshire y Poland China, cuya población se reprodujo durante más de un siglo en estos ecosistemas con escasa intervención del hombre, que se limitó prácticamente a extraer la producción de lechones (Vadell,

2008). La adaptación de estos animales al ecosistema de origen dio como resultado cerdos con características de rusticidad interesantes para los productores que los mantenían, y la escasa selección por características productivas o reproductivas mantuvo esta raza libre del alelo que produce el síndrome de estrés porcino (Montenegro et al., 2010). Actualmente, su población se encuentra en condición de peligro-mantenimiento, según los criterios de la FAO (2010) respecto a la conservación de razas mundiales. La revalorización de esta raza a través de sus productos es un punto clave para revertir esta situación. La Facultad de Agronomía (Udelar) conserva un núcleo de animales puros que ha permitido, desde el año 1996, la caracterización de esta raza y la evaluación de su comportamiento en un sistema de producción a campo, en pureza racial y en cruzamientos.

Figura 1. Ejemplar adulto hembra de la raza Pampa Rocha con lechones a pie.



Los primeros estudios de caracterización *in situ* (año 1993) mencionan estos animales en manos de pequeños productores de la zona de Rocha, con instalaciones precarias en sistemas extensivos y escasez de alimentos concentrados. El uso del pastoreo era una actividad frecuente y necesaria para el mantenimiento de los animales y, zafralmente, el consumo del fruto de la palma butiá. Para el año 2002 se estimaba la existencia de 5000 ejemplares de esta raza. Morfológicamente se trata de un cerdo de

manto negro, con hasta 6 puntas blancas (hocico, patas y cola), de papada predominante, pescuezo corto y grueso, ventre pronunciado y jamones pequeños, orejas grandes y caídas (célticas) y un perfil rectilíneo a cóncavo (Vadell, 2008). Un estudio morfométrico realizado por Montenegro (2012) evidenció características particulares de los cerdos Pampa Rocha, con medidas generalmente superiores a las halladas en otras razas iberoamericanas (peso vivo, longitud y ancho de cabeza, longitud y ancho de hocico, perímetro de la caña, perímetro torácico, alzada a la cruz, alzada a la grupa y diámetro longitudinal). Esto permitiría diferenciar a los Pampa Rocha de estas razas criollas. Las cerdas paren, en promedio, camadas de 8,8 lechones nacidos vivos, de los cuales destetan 8, con dos partos por año, sin estacionalidad. La longevidad de estas cerdas es destacable, manteniendo este nivel de producción hasta el parto 12, a partir del cual comienza a descender el número de lechones destetados por parto, siendo esta la principal causa de refugo (Vadell et al., 2010). Son muy buenas productoras de leche, lo cual se traduce en kg de lechón destetados (Monteverde et al., 2002) y sus principales indicadores reproductivos no se ven afectados por la restricción de concentrado (de hasta 50 % de sus requerimientos) siempre que la pastura esté disponible (Vadell et al., 1999).

Estudios genéticos muestran que los cerdos PR presentan frecuencias alélicas similares a las de las razas autóctonas de la península ibérica para algunos genes asociados a procesos de mejora (Burgos-Serrano et al., 2019). El conocimiento de las frecuencias alélicas asociadas a características de interés (engrasamiento dorsal, intramuscular, eficiencia de conversión) podría indicar el camino en trabajos de mejoramiento del cerdo PR, no solo desde la selección, sino también a través del cruzamiento con Duroc (esquema ya utilizado en la Unidad de Producción de Cerdos de la Facultad de Agronomía).

La mejora de algunas características productivas y reproductivas se ha logrado a través de los cruzamientos, fundamentalmente con razas Duroc y Large White, ampliamente difundidas en nuestro país. En cuanto a características de engorde, el cruzamiento con Large White permite mejorar las tasas de crecimiento y la eficiencia de conversión así

como algunas características de la canal (Barlocco et al., 2007). Desde el punto de vista reproductivo, el aprovechamiento de la heterosis permite obtener hembras más prolíficas. Respecto a la productividad y su concepto, cuando se habla de especies ganaderas, la FAO (2010) relativiza este término al «debatir sobre el valor relativo de razas o sistemas de producción específicos», distinguiendo entre «una alta productividad» y «niveles elevados de producción». Esta misma fuente ejemplifica mencionando que «animales que se alimentan con residuos de cultivos... producen poco, pero como lo hacen con un costo reducido, su productividad... no tiene por qué ser baja». Mientras que al hablar de costos, los relativiza si se tienen en cuenta los costos ambientales de algunos sistemas de producción industrial.

Trabajos previos realizados por equipos de investigación en Uruguay muestran características de interés que deberían ser explotadas a la hora de revalorizar este recurso genético. Los cortes de animales PR provenientes de sistemas pastoriles muestran un tocino firme, de unos 28-38 mm de espesor de grasa dorsal, que depende del tipo de alimento, de la restricción de concentrado aplicada y de la edad de faena (Carballo, 2013, Barlocco et al., 2007). En cruzamiento con otras razas, se observa en carne PR pura un menor nivel de ácido mirístico —un ácido aterogénico—, mayores niveles de ácido linolénico (AGPI) y una relación más favorable desde el punto de vista de la salud del consumidor de AGPI/AGS de 0,20 (Mernies et al., 2012). Montenegro et al. (2018) observaron algunas diferencias en el perfil de ácidos grasos de carne PR producida en cama profunda, en animales más jóvenes y con inclusión de afrechillo de arroz en la dieta. En el trabajo mencionado, la relación n6/n3 fue de 18,49, mientras que la relación AGPI/AGS fue de 0,39. En cuanto a su composición mineral, trabajos anteriores muestran un contenido de Fe hemínico interesante (34 ppm) y mayor en el cerdo Pampa Rocha que en cruzamientos (Cabrera et al., 2007) y altos niveles de Se respecto de las cruas con Duroc y Large White (Ramos et al., 2010). También, menor pérdida de agua respecto a otras razas, una carne más oscura y muy buena estabilidad oxidativa durante su conservación (Carballo et al., 2017). Estas características se encuentran vinculadas (entre otros factores) a la ausencia de la

mutación vinculada al síndrome de estrés porcino en cerdos PR (Montenegro et al., 2010), que tanto afecta las características tecnológicas de la carne.

Figura 2. Ejemplares de la raza Pampa Rocha en pastoreo durante la etapa de recría



Buscando la diferenciación de sus productos, investigaciones recientes han evaluado la carne PR y sus productos elaborados enriquecidos con selenio, a partir de su inclusión en la dieta de los animales bajo diferentes formas (orgánico/inorgánico). En este sentido, se comprobó que es posible enriquecer la carne de estos cerdos a través de la inclusión de Se inorgánico (Espino, 2022, Vodanovich, 2022). Esta suplementación con Se mejora, además, la estabilidad oxidativa de la carne, tanto en músculos frescos como durante la conservación y, posteriormente, en los productos elaborados a partir de músculos de jamón (Vodanovich, 2022). Por otro lado, el enriquecimiento de la dieta con selenio también afecta el perfil lipídico de la carne obtenida, dependiendo de la fuente. La suplementación con Se inorgánico permite aumentar en la carne el contenido de C16:1, un ácido graso vinculado a la prevención de la obesidad (Espino, 2022).

Uruguay tiene condiciones climáticas para producir cerdos en sistemas pastoriles durante todo el año, lo cual, sumado al gran volumen de información generado durante años respecto a este cerdo criollo, permite pensar en el desarrollo de un producto diferenciado, no solo por su sistema de origen, sino también por su calidad de producto y por el uso de este recurso criollo, revalorizándolo.

2.2 LA CARNE DE CERDO: FACTORES QUE CONDICIONAN LA CALIDAD DIFERENCIAL

2.2.1 Definiendo el término calidad de carne

Hernández y Ríos (2010) mencionan cómo el concepto de la calidad de carne fue cambiando con los años, acompañando, entre otras cosas, los cambios en la demanda de los consumidores. Fue definido por Hofmann en 1973 como «la suma de todas las propiedades sensoriales, nutritivas, higiénicas, toxicológicas y tecnológicas de la carne», quien, posteriormente, incluye en este concepto a la salud humana y el procesamiento industrial. Hernández y Ríos (2010) citan, además, a otros autores que con los años fueron incluyendo y discutiendo otros conceptos que derivan en la concepción del término calidad como sinónimo de superioridad. Aquí es donde comienza a jugar el concepto de valoración por parte de los consumidores.

Harrington ya en 1994 mencionaba el concepto de «consumidor preocupado», con patrones de consumo influenciados no solo por factores de mercado y los gustos, sino también por preocupaciones relacionadas con cuestiones sanitarias, medioambientales, éticas, de bienestar animal y de desarrollo. Estos consumidores optan frecuentemente por productos certificados, orgánicos o de animales criados en semilibertad (Krystallis et al., 2009).

Por otra parte, según Purslow (2017), la calidad de la carne puede ser definida como un conjunto de propiedades que juntas identifican lo que nosotros apreciamos cuando la compramos, comemos o elegimos para usar como base para el procesamiento. Menciona, además, que «así como nuestras preferencias y apreciaciones personales y

de la comunidad cambian con los cambios en la sociedad, es axiomático que las definiciones de calidad de carne también cambien». Tradicionalmente, el conjunto de propiedades usadas para definir la calidad de la carne hacían al consumidor de carne fresca más que de los productos cárnicos y se asociaban a lo sensorial: apariencia, color, flavor, textura (terneza), jugosidad/retención de agua y olor. Hoy en día, este concepto incluye la percepción del consumidor —de carne segura— en términos de no presencia de patógenos, asociado también a la frescura (Purslow, 2017).

Además, el nuevo consumidor, particularmente de cerdo, incorpora la percepción del bienestar animal, del ambiente, del valor salud y del placer de la comida en el concepto de calidad (Font-i-Furnols et al., 2019).

2.2.2. Calidad de la carne de cerdo

Hoffman (1994) divide los factores de producción que afectan las características de la carne en tres grupos: fisiológicos, físicos y bioquímicos *post mortem*. Dentro de a los factores fisiológicos, se incluyen todos aquellos inherentes al animal vivo, como ser especie, edad, sexo, manejo, alimentación, transporte y sacrificio. Es importante considerar la genética —que determina el nivel máximo en el que pueden ocurrir los procesos de crecimiento y desarrollo— en este primer grupo de factores. Los factores físicos comienzan a influir una vez el animal fue sacrificado, e incluyen la refrigeración, el despiece, picado, procesamiento y transporte. Mientras que los factores bioquímicos incluyen la degradación del ATP, la rigidez muscular y posterior aflojamiento, la maduración y la degradación proteica.

Respecto a los factores fisiológicos, y centrándose precisamente en la carne de cerdo, la edad tendrá relación con el peso de la canal al sacrificio, aumentando la deposición de grasa en cantidad y porcentaje y tornándose esta más amarilla conforme aumenta (D'Souza et al., 2004). La velocidad de crecimiento y el nivel de engrasamiento están vinculados al tipo genético: razas seleccionadas y mejoradas tienen un crecimiento más rápido con una menor deposición de grasa y mayor de músculo (Nevrkla et al.,

2017, Barlocco et al., 2007). Este engrasamiento varía, además, entre machos enteros, hembras y machos castrados, siendo los primeros los que depositan menos grasa (Conrad et al., 1996). Este engrasamiento no solo afecta características de la canal, sino también la calidad de la carne, variando, por ejemplo, su pH y las características vinculadas a este, durante el *rigor mortis* y posterior conservación o procesamiento (Sañudo et al., 1995).

Por su condición de monogástrico, el cerdo es capaz de consumir alimentos de origen vegetal así como de origen animal (Ly, 1999). Esta característica, junto con la importancia que tiene la alimentación desde el punto de vista económico (70 % de los costos de producción), hacen de la nutrición uno de los aspectos más ampliamente estudiados en relación con el cerdo. El tipo de alimento, su origen, procesamiento, composición química, presentación, y un sinnúmero de cualidades, afectan directamente no solo el crecimiento del animal, sino también sus características de carcasa, carne y grasa (Soni-Guillermo et al., 2017, Palma-Granados, 2015, González et al., 2013, Figueroa-Velasco et al., 2004). El engrasamiento en relación con el porcentaje que ocupa en la canal dependerá de la relación energía/proteína que tenga el alimento, además del gasto energético vinculado, fundamentalmente, al sistema y, sobre todo, al nivel de actividad física que este permita a los animales (Daza et al., 2009, Figueroa-Velasco et al., 2004).

Por otro lado, el perfil lipídico de las grasas dependerá, en gran medida, de la naturaleza de los ácidos grasos ingeridos por el animal (Da Silva et al., 2022, Pieszka et al., 2006). Esta capacidad de depositar ácidos grasos con pocas modificaciones lo hace una herramienta importante para generar productos con perfiles lipídicos que atiendan las necesidades de industriales y de consumidores, así como también para diferenciar productos. Es, además, uno de los temas abordados en esta investigación. El sistema de producción juega un rol importante en la calidad de carne obtenida y se relaciona con el factor fisiológico mencionado anteriormente. La combinación de factores que lo conforman (genética, sanidad, manejo, alimentación, instalaciones) son, en definitiva, el comienzo del éxito o del fracaso en la producción de carne con

características deseadas. La adaptación genotipo-ambiente (explotada en este estudio) en especies animales es un factor clave para minimizar el estrés, lo cual repercute posteriormente en los parámetros tecnológicos de la carne (Núñez-Domínguez et al., 2016). En este sentido, cuando los animales sufren un estrés prolongado durante su crecimiento, las reservas de glucógeno muscular se mantienen bajas, lo que dificulta la necesaria producción de ácido láctico *post mortem* y, por lo tanto, el descenso del pH, lo que produce lo que se llama una carne oscura, firme y seca (o carne DFD por su sigla en inglés). El pH final juega un rol fundamental en la calidad tecnológica de la carne por su influencia en la textura, la capacidad de retención de agua, la resistencia al desarrollo microbiano y el color. Por otro lado, bajadas bruscas de pH producen carnes pálidas, blandas y exudativas (PSE; Adzitey y Nurul, 2010), vinculadas al estrés *ante mortem*, fundamentalmente a condiciones de transporte y faena. Estas carnes (PSE y DFD), tecnológicamente problemáticas, son más frecuentes en razas porcinas seleccionadas para sistemas intensivos, con elevadas tasas de crecimiento y deposición de tejido magro, y en ambientes confinados que permiten escasa actividad física y desarrollo de comportamientos naturales de la especie (Josell et al., 2003).

Trabajos anteriores (Carballo et al., 2017) que estudiaron carne de cerdos PR producidos en condiciones de pastoreo, en un sistema a campo donde la actividad física no fue restringida, han mostrado descensos normales de pH, sin presencia de carnes PSE o DFD, además de otros parámetros tecnológicos que confirman esta carne como apta para el consumo en fresco y conservada.

2.2.3 Cambios durante la maduración y conservación

Haciendo referencia a los factores bioquímicos mencionados en el apartado anterior que afectan la calidad de la carne una vez el animal es faenado, durante los procesos de conservación, maduración y procesamiento ocurren cambios en lo bioquímico que afectan la calidad de la carne.

Como producto, la carne requiere mantener sus cualidades íntegras desde el *post mortem* hasta el consumo. Varios factores la afectan, siendo el deterioro oxidativo relativo a la oxidación de lípidos y de las proteínas los más incidentes, ya que se manifiestan en alteraciones tales como el color, el sabor, el aroma, la textura, el pH y la pérdida de agua, lo que desencadena la pérdida de calidad organoléptica de esta (Barana, 2011, Boler et al., 2009, Resconi et al., 2007, Boakye, 1993).

La oxidación es, entonces, el principal responsable de la disminución de la vida útil de la carne, cuya duración prolongada es una cualidad muy apreciada tanto por el comerciante como por el consumidor (Barana et al., 2011, Boler et al., 2009, Resconi et al., 2007). Los cambios bioquímicos que acompañan el metabolismo posfaena y la maduración *post mortem* en la transformación del músculo a carne dan lugar a condiciones donde el balance entre los factores prooxidantes/capacidad antioxidante favorece la oxidación.

Después del sacrificio, el músculo sufre una serie de transformaciones bioquímicas, conocidas globalmente bajo el término de maduración, que afectan la estructura de las miofibrillas (dando como resultado una mayor terneza de la carne) y el estado químico de la mioglobina (lo que produce cambios en el color). El tiempo de maduración es un componente fundamental en el desarrollo de los precursores del flavor a partir de compuestos de base (lípidos y proteínas). Durante este proceso se produce el deterioro oxidativo de la carne (Boler et al., 2009, Descalzo y Sancho, 2008).

El contenido de ácidos grasos poliinsaturados es el factor más importante en la determinación de la estabilidad oxidativa de los lípidos (Barana et al., 2011, Buckley et al., 1995). La magnitud y duración del proceso de oxidación se ve también afectados por eventos ocurridos previo a la faena e inmediatamente luego de esta, como el estrés, pH, temperatura de la carcasa y técnicas de estimulación (eléctrica, por ejemplo). Sumado a esto, la ruptura de la integridad de las membranas musculares a través del desosado, procesado y reestructuración facilitan la interacción de los prooxidantes con los ácidos grasos insaturados, lo que resulta en la generación de radicales libres y la

propagación de la reacción oxidativa. Elevados tenores de grasas insaturadas acarrear problemas tanto en lo sensorial como en lo tecnológico en procesos industriales, ya que provocan texturas de la grasa demasiado fluidas y poco consistentes, lo que da lugar a piezas blandas y aceitosas, limitadas tecnológicamente por problemas de inestabilidad y con escasa aceptabilidad por parte del consumidor (Echenique y Capra, 2007, Grompone et al., 2006, Enser et al., 2000).

2.2.4 Estatus oxidativo

La defensa más importante que tiene el músculo contra la oxidación son las enzimas antioxidantes, la glutatión peroxidasa (GPx), la catalasa (CAT) y el superóxido dismutasa (SOD), siendo, según Ighodaro y Akinloye (2018), la primera línea de defensa frente a los radicales libres que generan todos los seres vivos que utilizan oxígeno para la liberación de energía. El estrés oxidativo es un fenómeno celular que ocurre frente a un desbalance entre los niveles de radicales libres o especies reactivas al oxígeno (oxidantes) y los antioxidantes (Mayor, 2010) y se relaciona con el envejecimiento y diferentes enfermedades, incluyendo la muerte celular (Zorrilla-García, 2002). En la carne, la GPx, la CAT y el SOD también representan la principal defensa contra la oxidación lipídica y proteica durante cierto tiempo *post mortem* (Gatellier et al., 2004).

El desbalance entre la producción de radicales libres y los sistemas de defensa antioxidante, enzimáticos o no, puede darse por carencia de vitaminas y minerales, procesos inflamatorios, deficiencia del sistema inmune, situaciones de ejercicio intenso y factores ambientales que impiden al organismo controlar la reacción en cadena de los ROS, que se producen continuamente en el organismo como parte del metabolismo (Huerta-Jiménez et al., 2005).

En animales productivos vinculados a la producción de carne, la alimentación — vinculada al tipo de alimentos y a la suplementación— es el factor más estudiado respecto al estatus oxidativo y su capacidad de defensa frente a la oxidación en carne.

En este sentido, varios trabajos reportan que la carne proveniente de sistemas pastoriles en diferentes especies muestra menores niveles de oxidación que la carne producida con base en granos. Los autores explican estos resultados a través del aporte de antioxidantes naturales que realizan las pasturas y la mayor actividad enzimática por el aporte de minerales que actúan como cofactores de las enzimas antioxidantes (Pirotti, 2020, Terevinto et al., 2019, Fruet et al., 2018, Gatellier et al., 2004). En cuanto a la suplementación, varios trabajos reportan el uso de vitamina E (Tibaoui et al., 2020, Houben et al., 1998, Buckley et al., 1995) y de selenio (Vodanovich, 2022, Del Puerto et al., 2021, Calvo et al., 2017, Bučko et al., 2016) en la dieta animal para mejorar el estatus antioxidante y prevenir o enlentecer la oxidación de la carne durante la conservación, además del mayor valor nutricional para la dieta humana de estas carnes enriquecidas.

Pero, además de la dieta, otros factores pueden afectar el estatus oxidativo. La actividad de las enzimas antioxidantes puede variar entre los genotipos rústicos y comerciales, siendo mayor la actividad de la CAT y SOD en los primeros (Hernández et al., 2004). Por otro lado, ciertas fuentes de hierro, como la hemoglobina y la mioglobina, pueden catalizar directamente la oxidación lipídica (Buckley et al., 1995). El contenido de pigmentos heme y hierro hemínico es mayor en genotipos de cerdos rústicos como el Pampa y el Ibérico, jugando un rol importante la edad y el ejercicio físico (Cabrera et al., 2007, Estévez et al., 2003).

2.2.5 El rol de las pasturas en la alimentación

La alimentación de animales que incluye pasturas contiene antioxidantes naturales como la vitamina E, el ácido ascórbico y los β carotenos (Barana et al., 2011, Choe et al., 2011, Lara et al., 2011, Lee et al., 2010, Boler et al., 2009, Núñez et al., 2008, Carpenter et al., 2007, Nissen et al., 2004, Buckley et al., 1995), existiendo antecedentes de que la inclusión de pasturas en la dieta de cerdos aumenta el contenido de vitamina E en la carne (Capra et al., 2013).

Dependiendo de la especie y del estado fisiológico, las pasturas aportan entre un 10 y 22 % (bs, base seca) de proteína cruda, un 4-12 % (bs) de lípidos totales de los cuales más del 50 % son poliinsaturados. Contienen, además, vitaminas o sus precursores, como la A, complejo de vitaminas B, C, D, E, K, y minerales como Ca, P, Mg, Se, Cu, Zn, Fe, Mn. Estos aportes se traducen en beneficios para los consumidores, por producir alimentos más saludables. Si se comparan diferentes producciones con y sin inclusión de pasturas, algunos reportes mencionan que la carne bovina sobre pasturas contiene menos grasa intramuscular con un menor contenido de AGS y MUFA y un mayor contenido de PUFA, mejorando además la relación omega 6/omega 3, encontrándose, además, un mayor contenido de ácido linoleico conjugado (CLA), de interés para la nutrición humana por sus beneficios. Esta carne tiene valores más altos de vitamina E (antioxidante) y menor oxidación, vinculada a la actividad de la SOD. El contenido de hierro en estas carnes es mayor. También se han observado contenidos interesantes de Se (Cabrera et al., 2010). Resultados similares se han observado en la producción de leche bovina y caprina.

Si bien el cerdo es un animal monogástrico, la fermentación que ocurre particularmente en el ciego permite el aprovechamiento de alimentos fibrosos como las pasturas, con distintos niveles de inclusión que dependerán de la edad y desarrollo del animal y del tipo genético. En este trabajo utilizamos un animal cuyas características de cerdo local representan un potencial para el aprovechamiento de pasturas (Naya, 2012).

Varios estudios han demostrado la adaptación del cerdo PR al consumo de pasturas durante el crecimiento-engorde y las mejoras que produce en la calidad de su carcasa. Si bien varios trabajos han evaluado el perfil lipídico y mineral de su carne en animales criados en pastoreo (Espino, 2022, Mernies et al., 2012, Ramos et al., 2010, Cabrera et al., 2007), el efecto de la inclusión de pasturas sobre estos aspectos aún no había sido evaluado. Otros trabajos nacionales realizados en razas diferentes al PR han comprobado que la inclusión de pasturas aumenta en la carne el contenido de ácido

linoleico (omega 3) y de vitamina E, pudiendo contribuir esto a valorizar el producto carne por ser más saludable y tecnológicamente mejor (Echenique et al., 2009).

En síntesis, el rol de las pasturas en la alimentación porcina es parte del proceso de diferenciación y valorización de un producto, asociado al uso de un cerdo local, producido en condiciones de campo o semilibertad, con mayor aceptación por parte del consumidor por el mayor bienestar animal que estos sistemas permiten y el menor impacto ambiental cuando son manejados de manera correcta. Como se mencionó anteriormente, los cambios en la demanda de los consumidores van hacia este tipo de productos.

2.2.6 Actividad física y su efecto sobre la calidad de la carne

El tejido muscular esquelético del cerdo está integrado por tres tipos de fibras musculares: I, IIA y IIB, y un cuarto tipo, IIC, aparece en animales en crecimiento (López Rivero citado por Graziotti et al., 2000), pudiéndose convertir unos en otros debido a factores externos como la actividad muscular (Gentry et al., 2004). Respecto a las características metabólicas, se distinguen tres tipos de fibras: oxidativas, intermedias y no oxidativas (Camacho et al., 2013, Boff, 2008). La proporción de las diferentes fibras musculares afecta las características sensoriales del producto carne, ya que incide en las características físicas y bioquímicas del músculo, así como las transformaciones *post mortem* que inciden en la calidad de la carne (Borosky et al., 2010, Graziotti, 2007, Gentry et al., 2004). Estas proporciones varían según el músculo del animal en relación con la función que cumple. El *longissimus* tiene una alta proporción de fibras musculares de contracción rápida para estabilizar y flexionar la espalda y fortalecer las extremidades durante el desplazamiento hacia adelante. Por el contrario, el *biceps femoral* tiene el doble de fibras de contracción lenta que el músculo *longissimus* (Jarmey y Sharkey, 2017).

Los músculos de cerdos salvajes tienen un mayor porcentaje de fibras I y IIA, un menor porcentaje del tipo IIB y una sección transversal fibrilar menor que los cerdos

domésticos del mismo peso vivo; en estos últimos, los porcentajes de fibras I y IIA son similares. En cerdos salvajes maduros, las fibras IIB prácticamente desaparecen y son reemplazadas por I y IIA (Ruusunen, 1996, Weiler et al., 1995). Estas características coinciden con un mayor entrenamiento del aparato locomotor dado por el movimiento natural de los cerdos salvajes (Graziotti et al., 2007). La selección genética hacia líneas de crecimiento rápido y magro produce un aumento en el porcentaje de fibras IIB (glicolíticas o menos oxidativas) y significativa disminución en el tipo I (oxidativas) y IIA, lo que produce cerdos menos tolerantes al estrés (Camacho et al., 2013). Cuando los cerdos no tienen restricción de actividad física y realizan ejercicio espontáneo, en el músculo LT las fibras IIA son las más numerosas y el grupo menos numeroso, el de las IIB (Graziotti et al., 2000). Similares resultados observaron Gentry et al. (2004) comparando cerdos nacidos en sistemas al aire libre vs. nacidos en confinamiento, con un porcentaje de fibras tipo I mayor y tipo IIA menor en los primeros.

Pero no solamente la composición de las fibras musculares se ve afectada con la actividad. Martins et al. (2021), en un estudio realizado con cerdos Alentejano, observaron que la actividad física en cerdos criados al aire libre afectó de manera positiva la bioquímica sanguínea, el rendimiento, la canal y la calidad de la carne. Estos cerdos presentaron niveles más bajos de colesterol total en sangre y colesterol LDL y niveles más altos de colesterol HDL, además de confirmar, según los niveles de cortisol, menor estrés que los animales que se encontraban en instalaciones con actividad física restringida.

También el contenido de hierro heme, tan importante para la nutrición humana, se ve afectado por la actividad física de los animales. En este sentido, Dunne et al. (2009) sugieren que la carne de animales criados sobre pasturas es más oscura debido, entre otros factores, a la actividad física. Este color más oscuro podría explicarse por un mayor contenido de hierro hemo (Bidner et al., 1986) y porque el ejercicio aumenta las concentraciones de ROS, lo que puede causar daños oxidativos en el músculo (Dunne et al., 2009). Estudios realizados por nuestro equipo de trabajo demostraron

que la carne de cerdo Pampa Rocha es más oscura y contiene más hierro hemo que la de cerdos de genotipos diferentes (Cabrera et al., 2007). Esto concuerda con trabajos citados anteriormente sobre el mayor contenido de fibras de tipo I (rojas oxidativas) en genotipos rústicos y cerdos salvajes. Estas fibras se caracterizan por un mayor contenido de Fe hemo (mioglobina) que aquellas menos oxidativas.

Con base en los antecedentes y en la necesidad de generar conocimiento para su aplicación en lo productivo, en esta tesis se aporta a la caracterización de la carne del cerdo Pampa Rocha desde parámetros físico-químicos, nutricionales y de desempeño de los animales en dos sistemas de producción en la etapa de engorde, convencional con la incorporación de una cama profunda y sobre pasturas al aire libre, incluyendo, además, el tipo de músculo y el procesamiento de la carne.

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS GENERALES

3.1 HIPÓTESIS

En esta tesis se plantearon las siguientes hipótesis:

- La inclusión de pasturas asociada al sistema al aire libre respecto del sistema confinado mejora algunos parámetros de comportamiento productivo durante el engorde, como la eficiencia de conversión del concentrado y un menor espesor de grasa dorsal, si bien se espera una menor ganancia diaria de peso.
- La carne tendrá características de color, pH, pérdida por goteo, contenido de glucógeno y lactato y de estabilidad oxidativa diferencial en relación con el sistema de producción y el tipo de músculo y durante el proceso de conservación. .
- La carne en sistema pastoril tendrá un perfil de ácidos grasos más insaturado y mejores índices de salud, siendo esta respuesta dependiente del tipo de músculo estudiado.

- La composición nutricional mineral de la carne proveniente de ambos sistemas será diferente dependiendo del tipo de músculo, debido a la incorporación de pasturas.

3.2 OBJETIVOS GENERALES

El objetivo de este estudio fue caracterizar la calidad tecnológica y nutricional de la carne, fresca y procesada, del cerdo Pampa Rocha así como el desempeño productivo de los animales durante la terminación, en dos sistemas de producción, confinado y al aire libre con pasturas, incluyendo el efecto del tipo de músculo y del procesamiento.

3.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1- Determinar el desempeño de los animales en la etapa de terminación en los dos sistemas, confinado y al aire libre.
- 2- Estudiar la calidad tecnológica, el color, el pH, la pérdida por goteo, el contenido de glucógeno y lactato y la estabilidad oxidativa de los músculos *longissimus thoracis* y *psaos major* provenientes de los dos sistemas de producción.
- 3- Estudiar el perfil de ácidos grasos en los músculos *longissimus thoracis* y *psaos major* provenientes de los dos sistemas de producción.
- 4- Estudiar la composición mineral de macro y elementos traza, hierro hemo y no hemo de los músculos *longissimus thoracis*, *psaos major* y músculos del jamón, *gluteus medius*, *semitendinosus*, *biceps femoral* y *quadriceps femoris* provenientes de los dos sistemas de producción.
- 5- Determinar respuestas diferenciales entre los músculos en cuanto a los parámetros de calidad tecnológica y nutricional así como en carne fresca vs. procesados.

4. ESTRATEGIA EXPERIMENTAL

Para responder al objetivo general y a los objetivos específicos, durante la investigación se realizaron los siguientes estudios:

I: se evaluó el comportamiento productivo de los animales en condiciones de confinamiento en cama profunda y al aire libre con pasturas.

II: se determinaron los parámetros tecnológicos de calidad de carne, sometida a diferentes procesos (fresca, 24 horas *post mortem*, y conservada bajo vacío 5 días a 1-2 °C), en la carne de diferentes músculos, proveniente de los dos sistemas de producción.

III: se cuantificó glucógeno y lactato muscular en cinética *post mortem*, en diferentes músculos, para explicar algunos resultados de aspectos tecnológicos.

IV: se determinó la estabilidad oxidativa de lípidos y proteínas de la carne de diferentes músculos y su variación con los sistemas de producción.

V: se estudió la composición nutricional y funcional de la carne, de los lípidos y macro y minerales traza (enfocando el trabajo hacia el estudio de un alimento funcional). Se incluyeron varios músculos. Se complementó la información con el estudio del perfil de ácidos grasos y mineral de la ración y de las pasturas.

5. CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS, PARÁMETROS TECNOLÓGICOS,
FÍSICO-QUÍMICOS Y ESTABILIDAD OXIDATIVA DE LA CARNE DE CERDO
PAMPA ROCHA EN DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

5.1 INTRODUCCIÓN

Las razas de cerdos locales se caracterizan, generalmente, por tener un manto pigmentado, elevado nivel de engrasamiento, ganancias de peso más bajas y peor eficiencia de conversión, así como una baja prolificidad, con respecto a aquellas razas comerciales seleccionadas, utilizadas en sistemas intensivos (Gan et al., 2020). Sin embargo, tienen excelentes características de adaptación al ambiente local, debido al proceso de selección natural que han atravesado con el tiempo (González et al., 2013, Keambou et al., 2010).

Estas cualidades son aprovechadas en sistemas de producción al aire libre, con instalaciones de bajo costo y el uso de alimentos alternativos a los costosos concentrados comerciales (Kambashi et al., 2014), asociado con la posibilidad de que pequeños productores puedan vender sus productos en el mercado local (Herold et al., 2010). Existen varios ejemplos de asociación genotipo-ambiente que han resultado en productos de alto valor, accediendo a diferentes circuitos comerciales. El jamón ibérico es un conocido ejemplo en el mundo (Amaya y Aguilar, 2012).

En relación con nuestra raza de cerdos local, la Pampa Rocha, estudios previos han evaluado aspectos genéticos (Burgos-Serrano et al., 2019), tecnológicos y nutricionales (Montenegro et al., 2019, Carballo et al., 2017, Mernies et al., 2012) asociados con un ambiente enriquecido con pasturas en un sistema al aire libre.

El objetivo de este estudio fue evaluar al cerdo Pampa Rocha en relación con su comportamiento productivo en el engorde, la calidad tecnológica de su canal, carne y grasa, la cinética de glucógeno y lactato y la oxidación de lípidos y proteínas. Esta evaluación se realizó en dos sistemas: al aire libre incluyendo pasturas y confinado en cama profunda.

5.2 OBJETIVO GENERAL

Evaluar al cerdo Pampa Rocha, en relación con su comportamiento productivo en el engorde, las características de canal y carne y el efecto de la maduración de esta sobre los parámetros evaluados.

5.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el comportamiento productivo en el engorde a través de la ganancia de peso diaria, el consumo de alimento y la eficiencia de conversión del concentrado.
- Evaluar la calidad de la canal a través del peso de la carcasa, el rendimiento y el espesor de grasa dorsal.
- Evaluar las características tecnológicas de la carne a través de la medición de cinética de pH, color y pérdida por goteo en carne fresca y madurada.
- Evaluar la cinética de glucógeno y lactato en carne fresca en diferentes momentos *post mortem*.
- Evaluar la oxidación lipídica y proteica en carne fresca y madurada.

5.4 HIPÓTESIS

Se espera que la inclusión de pasturas mejore algunos parámetros de comportamiento productivo durante el engorde, como la eficiencia de conversión del concentrado, si bien se espera una menor ganancia de peso diaria.

La inclusión de pasturas con restricción de alimento concentrado permitiría disminuir el engrasamiento de los animales, mejorando, además, algunas características tecnológicas *post mortem* y durante la maduración.

5.5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.5.1 Animales y condiciones experimentales

El ensayo fue conducido con la aprobación del Comité de Ética de la Facultad de Agronomía, Udelar (CEUA, protocolo n.º 317, archivo n.º 021130-001003-16) dependiente de la Comisión Honoraria de Experimentación Animal. El experimento incluyó animales nacidos, criados y finalizados en las instalaciones del Centro Regional Sur (Facultad de Agronomía).

Se utilizaron 13 machos castrados y 10 hembras de la raza Pampa Rocha, identificados individualmente, nacidos en sistema al aire libre con pasturas y destetados a los 45 días de edad ($14,5 \pm 3,5$ kg de peso vivo promedio). Inmediato al destete y durante el posdestete, todos los lechones fueron alojados en un sistema de cama profunda hasta un peso de $22,78 \pm 1,58$ kg PV, recibiendo una ración comercial según peso vivo (PV). Posteriormente, y de forma gradual durante una semana, se incorporó la ración de crecimiento-engorde, a razón del 100% del consumo máximo voluntario (CMV).

Al llegar a un peso promedio de $39,60 \pm 2,80$ kg, los cerdos fueron asignados de manera aleatoria a dos tratamientos para su finalización: a) continuar en el sistema de cama profunda (I; 6 machos y 5 hembras), siendo un sistema de confinamiento no convencional, con una superficie disponible de $1,5 \text{ m}^2$ por animal y una profundidad de la cama de 50 cm; o b) pasar a un sistema al aire libre con acceso a pasturas (O; 8 machos y 4 hembras). En este sistema los animales se encontraban en instalaciones de campo, con acceso permanente a pasturas cultivadas, compuestas por una mezcla de *Cichorium intybus* (48,6 % bs), *Trifolium pratense* (34,9 % bs), *Lolium multiflorum* (12,3 % bs), y malezas (4,2 % bs).

La disponibilidad de superficie de pastoreo fue de 300 m^2 por animal, con comederos tipo batea y bebederos automáticos. Diariamente, todos los animales consumieron una

ración compuesta por salvado de arroz, desgrasado y entero, grano de sorgo, grano de maíz, grano de trigo, harina de soja, minerales, vitaminas y aditivos (cuadro 1).

Cuadro 1. Composición nutricional del concentrado (base seca).

Ingredientes %		Contenido de nutrientes ¹ %	
Salvado de arroz desgrasado	20,00	Materia seca %	90,23
Salvado de arroz	10,00	ED (Mcal/kg)	2,79
Grano de sorgo, molido	25,00	Proteína cruda	14,49
Grano de maíz, molido	15,00	Cenizas	12,11
Grano de trigo, molido	15,00	Extracto etéreo	3,35
Harina de soja, 47 % PC	10,00	Fibra cruda	8,30
Carbonato de calcio	2,50	Calcio	0,63
Sal	0,35	Fósforo disponible	0,27
Premezcla ²	2,15		

¹ ED (energía digestible) es un valor estimado, mientras que los demás valores se obtuvieron a través de mediciones. ² La premezcla incluía: ROVIMIX® Pig CT 2 % , vitaminas A, D3, E, K3, C, tiamina, riboflavina, piridoxina, cianocobalamina, ácido fólico, ácido pantoténico, cobre (como sulfato de cobre), selenio (como selenito de sodio), zinc (como óxido de zinc), hierro (como sulfato de hierro), manganeso (como sulfato de manganeso), iodina, lisina, treonina, OXICAP® MS (antioxidante), BioCholine® y MICOFIX® (secuestrantes de micotoxinas), y ROVABIO™ (complejo multienzimático).

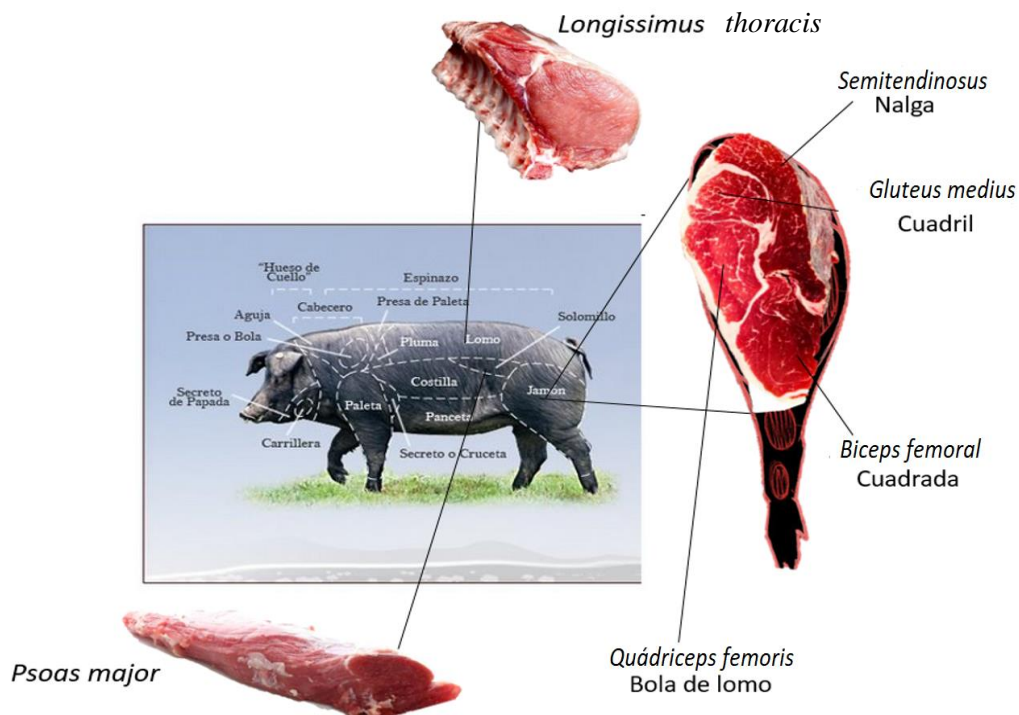
La cantidad de ración ofrecida fue calculada en función del PV, a razón de 100 % del consumo máximo voluntario (CMV) en el tratamiento I (Lebret, 2008). En el sistema O, se aplicó una restricción del 15 % del CMV hasta los 67,50 ± 12,79 kg PV y una restricción del 25 % del CMV hasta el peso de faena, como forma de incentivar el consumo de pasturas.

El día previo a la faena, se pesaron los animales y se obtuvo, así, el peso final del ensayo, y cargados utilizando instalaciones apropiadas para cerdos. Para cada tratamiento, los animales fueron enviados a faena en dos grupos para facilitar las condiciones de transporte y contemplar condiciones de bienestar animal durante este (CHEA, Udelar). La faena se realizó en una planta habilitada, a 10 km del Centro

Regional Sur. Una vez allí, los cerdos se mantuvieron en un brete por ocho horas, con agua a voluntad y sin acceso a alimento.

Los músculos *longissimus thoracis* (LT) entre la 10.^a y 12.^a costilla y el *psoas major* (PM) fueron removidos de las carcasas inmediatamente luego al sacrificio y transportados en cajas refrigeradas hasta el laboratorio. La elección de estos músculos responde a los cortes que comúnmente en Uruguay son consumidos como carne fresca. Cada músculo (refrigerado a 1-2 °C) fue muestreado inmediatamente para las diferentes determinaciones a realizar. Una muestra fue reservada a -20 °C (carne fresca). Otra muestra se envasó al vacío y se almacenó durante siete días a 1-2 °C (carne madurada) y, subsecuentemente, se guardó a -20 °C hasta la realización de los análisis. En el remanente de músculo se realizaron varias mediciones en diferentes tiempos *post mortem* (60 min, 90 min, 6 h y 24 h) dependiendo del parámetro a estudiar.

Figura 3. Ubicación de los músculos utilizados en los análisis.



5.5.2 Parámetros productivos y de carcasa

Durante el período del ensayo, todos los animales fueron pesados individualmente cada 14 días. Con esta información de peso vivo se calculó la ganancia de peso diaria (g/día) y se ajustó la oferta de alimento. El consumo de alimento se estimó considerando el rechazo del día previo y la oferta de alimento del día (kg). La eficiencia de conversión del concentrado (kg concentrado/kg PV ganado) se calculó a partir de los parámetros mencionados anteriormente. Al momento de la faena, las carcasas (sin cabeza) fueron identificadas individualmente y pesadas para, posteriormente, calcular el rendimiento (%). El espesor de grasa dorsal se midió en tres puntos del LT con un calibre (mm).

5.5.3 pH, pérdida por goteo y color

El pH fue determinado en los músculos LT y PM a los 60 min, 90 min, 6 h y 24 h *post mortem* y también en ambos músculos madurados durante siete días. Para la determinación, se utilizó un medidor de pH (Lutron Electronic Enterprise, Taiwán) equipado con un electrodo de punta (PE04HD). Este fue calibrado con estándares de pH4 y pH7 (Lutron) previo a su uso. Se realizaron tres mediciones en cada muestra de músculo.

La pérdida por goteo se midió a los 60 minutos y 24 horas *post mortem* en carne fresca y, posteriormente, en carne madurada, siguiendo el método de Honikel (1998), basado en la diferencia de pesos inicial y final registrados durante un período de 24 h.

El color fue expresado acorde al sistema de la Comisión Internacional de Iluminación y reportado como CIE L* (luminosidad), CIE a* (rojo) y CIE b* (amarillo). Las medidas fueron tomadas a las 24 h *post mortem* y en carne madurada de los músculos LT y PM. Se utilizó un colorímetro Konica Minolta CR-10 (Japón) con un iluminante estándar D65, utilizando un ángulo de observación de 8°. Los valores de L*, a* y b* se determinaron a partir de tres lecturas sucesivas sobre la superficie de cada músculo.

5.5.4 Determinación de glucógeno y lactato

El contenido de glucógeno y lactato fue determinado en los músculos LT y PM a los 60 min, 90 min, 6 h y 24 h *post mortem*. Para ello, se obtuvieron 3 g de muestra de tres partes diferentes del músculo, contemplando así la heterogeneidad de la distribución de glucógeno en el músculo (Nielsen y Ortenblad, 2013). La muestra fue homogeneizada, se le agregó 6 ml de HCl 4M y se mantuvo durante 2 h a 100 °C en tubos de vidrio sellados. Luego de enfriados, se procedió al doble filtrado (filtro de celulosa, Macherey-Nagel, Alemania) y se neutralizó con NaOH 4N. El glucógeno fue determinado como equivalentes totales de glucosa, siguiendo el método Bergmeyer y Bernt (1974), usando un kit de diagnóstico colorimétrico (1001201, Spinreact, España) basado en la enzima glucosa-peroxidasa, medido en un espectrofotómetro Genesys-6 (Thermo Scientific Inc. EE. UU.). La concentración de glucógeno fue expresada en μmol de glucógeno/g de carne fresca. El contenido de lactato fue medido a partir del mismo hidrolizado utilizando un kit comercial enzimático colorimétrico (LO-PD; 1001330; Spinreact, España) y expresado en μmol de lactato/g de carne fresca.

5.5.5 Determinación de la oxidación lipídica y proteica

La oxidación lipídica fue determinada tanto en carne fresca como madurada (m LT y PM) utilizando el método de TBARs (Thiobarbituric Acid Reactive Species) según Gatellier et al. (2004) y Lynch y Frei (1993). Para ello, se homogeneizaron 5 g de carne congelada en un Waring-Blender (Fisher Inc. EE. UU.) con 100 ml de un buffer de extracción (0,15 M KCl, 0,02 M EDTA y 0,30 M BHT) a 12000 rpm durante un minuto. Parte de este homogeneizado fue congelado para determinar la oxidación proteica, mientras que 5 ml del homogeneizado fue centrifugado a 2000 g a 4 °C durante 10 min (Thermo Scientific Inc. EE. UU.). Luego, se incubó 1 ml del supernadante durante 30 min en 1 ml de solución compuesta por 2-ácido tiobarbitúrico (TBA) y ácido tricloroacético (TCA) (35 nM TBA y 10 % TCA en 125 mM HCl). Luego, se enfrió en hielo durante 5 min y se mantuvo a temperatura ambiente durante 45 minutos más. Posteriormente, se agregaron 2 ml de n-butanol y se centrifugó a 3000

g durante 10 min (Sorvall ST16-R, EE. UU.) para separar las fases. Se midió la absorbancia a 535 nm en un espectrofotómetro Genesys (Thermo Scientific Inc. EE. UU.) y la concentración de malondialdehído (MDA) se calculó un coeficiente de extinción molar de MDA ($153000 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$). Los resultados se expresaron como mg MDA/kg de carne.

La oxidación proteica se determinó a través del método de carbonilos proteicos (Mercier et al., 2004). Las muestras homogeneizadas, congeladas anteriormente, fueron descongeladas con un día de anticipación a temperatura ambiente. Se extrajeron 4 ml que fueron colocados en dos tubos (2 ml de muestra homogeneizada/tubo). Luego, se centrifugó a 2000 g durante 10 min (Sorvall ST16-R, EE. UU.). En uno de los dos tubos (blanco) se agregaron 2 ml de HCl 2 M, y, en el otro tubo, 2 ml de una solución de DNPH (2,4-dinitrofenilhidrazina) 20 mM disuelta en HCl 2 M; ambos se incubaron durante una hora a temperatura ambiente con agitación regular. Luego, se agregaron 2 ml de TCA al 20 % y se dejó a temperatura ambiente por 15 min con agitación regular. Los tubos se centrifugaron a 2000 g durante 10 min (Sorvall ST16-R, EE. UU.) y se eliminó el sobrenadante. El sedimento se lavó tres veces con 4 ml de etanol:acetato de etilo (1:1), centrifugando cada vez, para eliminar trazas de DNPH. Los sedimentos se disolvieron en 6 ml de guanidina HCl 6 M con KH_2PO_4 20 mM (pH 6,5) y se incubaron a temperatura ambiente durante 15 min con agitación regular. Finalmente, se centrifugaron a 2400 g por 10 min y se midió la absorbancia del sobrenadante a 370 nm en un espectrofotómetro Genesys-6 (Thermo Scientific Inc. EE. UU.) y se calculó la concentración de DNPH utilizando el coeficiente de extinción molar de DNPH ($22,000 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$). Los resultados se expresaron como nmoles de DNPH/mg de proteína. El contenido de proteína se determinó según el método de Stoscheck (1990) y adaptado por Terevinto et al. (2010).

5.5.6 Estimación del consumo de pasturas

El consumo de pasturas fue estimado durante un período de 7 días previos a la faena, a partir de la diferencia en la disponibilidad de forraje al ingreso y retiro de los

animales a la franja de pastoreo, y siguiendo el método de doble muestreo de pasturas (Moliterno, 1997).

5.5.7 Análisis estadístico

Los datos se presentan como media \pm error estándar de la media de 11 (I) y 12 (O) cerdos. Cuando la diferencia entre machos y hembras fue significativa, se presentó la media de cada sexo por separado, para I (6 machos, 5 hembras) y para O (8 machos, 4 hembras). Las variables de respuesta de rendimiento se analizaron mediante el procedimiento ANOVA GLM con el sistema y el sexo como efectos fijos.

Considerando que los cerdos de cada sistema fueron sacrificados en dos grupos, este se incluyó como covariable en cada análisis realizado para eliminar un posible efecto. Los efectos principales del sistema de producción, músculo, sexo y tiempo *post mortem* sobre el pH, la pérdida por goteo y el contenido de glucógeno y lactato se analizaron mediante ANOVA de medidas repetidas en el tiempo.

Los efectos principales del sistema de producción, músculo y sexo sobre el pH, la pérdida por goteo y el color a las 24 h *post mortem* o en carne madurada se analizaron mediante ANOVA GLM.

Los efectos principales del sistema de producción, músculo, sexo y maduración (24 horas vs. madurada) para pH, pérdida por goteo, color y oxidación de lípidos y proteínas se analizó mediante el procedimiento GLM.

Cuando se obtuvo diferencias significativas en cada ANOVA ($p < 0,05$), *post hoc* se utilizó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). Las interacciones incluidas en cada análisis realizado se mostraron cuando estas fueron significativas. Se utilizó el software NCSS (2019; 329 North 1000 East Kaysville, Utah 84037 EE. UU.).

5.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.6.1 Parámetros productivos y características de carcasa

Los datos obtenidos para el rendimiento y las características de la canal se presentan en el cuadro 2. Como era de esperar, se observaron diferencias entre los sistemas para la edad al sacrificio y la ganancia de peso diaria, siendo la ganancia de peso significativamente menor y la edad al sacrificio significativamente mayor en los cerdos en el sistema O.

Cuadro 2. Parámetros productivos y características de canal de cerdos Pampa Rocha criados en sistemas de producción en cama profunda (I) o aire libre con pasturas (O).

Parámetros	Sistema		<i>p</i> -valor
	I	O	
Edad a la faena (días)	171,00 ± 1,36	183,10 ± 1,30	0,001*
Peso vivo final (kg)	94,55 ± 3,63	91,50 ± 3,38	ns
Ganancia de peso diaria (g/day) [†]	801,20±33,00	686,30 ± 31,60	0,02*
Eficiencia de conversión del concentrado (kg/kg) [†]	4,34 ± 0,16	3,85 ± 0,16	0,02*
Peso de la carcasa (kg)	68,05 ± 0,68	66,30 ± 0,65	ns
Rendimiento (%)	72,00 ± 0,76	70,20 ± 0,72	ns
Espesor de grasa dorsal (mm)	28,45 ± 1,91	25,43 ± 1,83	ns

Los valores se presentan como la media ± SEM de n = 11 (6 machos, 5 hembras) para I y n = 12 (8 machos, 4 hembras) para O. * Valores de $p < 0,05$ indican diferencias significativas entre sistemas de producción (S) por ANOVA GLM. Como el efecto del sexo no fue significativo, las medias representan a machos y hembras juntos. ns: no significativo. † Valores para período de engorde.

En el sistema O, los cerdos necesitaron 12 días más para obtener el mismo peso al sacrificio que en el sistema I. La restricción de concentrado y la actividad física provocaron un menor crecimiento en los cerdos criados en O, como también lo muestran autores en trabajos anteriores (Lebret et al., 2015, Pugliese et al., 2003). El consumo de alimentos ricos en fibra en O provocó en los cerdos un mayor desarrollo

y peso del tracto gastrointestinal que no afectó significativamente el rendimiento a la faena, pero sí el crecimiento (Len et al., 2008).

A pesar de que los cerdos en I consumen más concentrado, en el presente trabajo no se observaron diferencias significativas en el espesor de la grasa dorsal entre sistemas (cuadro 2). Las razas locales tienen, con frecuencia, un espesor de grasa dorsal importante (29-63 mm), aunque esta característica puede modificarse a través de la alimentación, el sistema de producción y la época de cría-engorde (Araújo et al., 2018, Abeledo et al., 2004, Pugliese et al., 2003). El consumo de pasturas con una dieta concentrada restringida mejoró la relación consumo de concentrado:ganancia de peso vivo (expresado en la tabla como eficiencia de conversión del concentrado). Esto es importante para los pequeños y medianos productores que buscan menores costos de producción.

5.6.2 pH, pérdida por goteo y color

La cinética de pH observada fue normal en ambos músculos y sistemas estudiados (cuadro 3).

Cuadro 3. Cinética de pH *post mortem* en carne fresca y madurada de músculos *longissimus thoracis* (LT) y *psoas major* (PM) de cerdos Pampa Rocha criados en sistema de cama profunda (I) o al aire libre con pasturas (O).

Tiempo <i>post mortem</i>	Sistema				Efectos principales			
	I		O		S	M	Tpm	Sex
	Músculo							
	LT	PM	LT	PM				
60 min	6,54 ± 0,09	6,21 ± 0,09	6,40 ± 0,06	5,93 ± 0,04				
90 min	6,29 ± 0,10	6,04 ± 0,07	6,31 ± 0,02	5,89 ± 0,04	¹ p < 0,01	¹ p < 0,01	¹ p < 0,01	¹ ns
6 h	6,13 ± 0,07	5,97 ± 0,06	5,98 ± 0,04	5,82 ± 0,03	I > O	LT > PM	60 min > 24 h	
24 h	5,68 ± 0,05	5,84 ± 0,04	5,74 ± 0,02	5,74 ± 0,07			h	
Madurada	5,73 ± 0,02	5,96 ± 0,05	5,72 ± 0,02	5,82 ± 0,03	² p < 0,05 I > O	² p < 0,01 PM > LT	² ns Mad vs 24 h	² ns

Los valores se presentan como la media ± SEM de n = 11 para I (6 m, 5 h) y n = 12 para O (8 m, 4 h). Los valores de p < 0,05 indican efectos principales significativos para: ¹ sistema de producción (S), músculos (M), tiempo *post mortem* (Tpm) y sexo para carne fresca mediante ANOVA de medidas repetidas. ² El efecto de la maduración (madrada vs. 24 h *post mortem*) se analizó mediante ANOVA GLM con el sistema de producción (S), el músculo (M), la maduración (Mad) y el sexo como efectos principales. h: horas; ns: no significativo.

Para lograr una vida útil aceptable de la carne, es fundamental, en principio, una correcta disminución del pH (Cobanovic et al., 2016), siendo una herramienta para detectar problemas tecnológicos, como la presencia de carnes PSE y DFD, un problema importante para la industria (Faucitano et al., 2010). El manejo de los cerdos en las granjas, durante el transporte y el manejo previo al sacrificio, influye en la aparición de este tipo de carne no deseada (Cobanovic et al., 2016, Vermeulen et al., 2015). La disminución del pH en la carne fresca fue normal, pero la carne del sistema I presentó valores de pH significativamente más altos que los del O. Esto podría explicarse por las diferencias en las reservas de glucógeno (Rosenvold et al., 2002) obtenidas durante la cinética *post mortem* (figura 4), particularmente en el LT, cuyos valores de glucógeno fueron mayores en animales criados al aire libre (O). Lo

mencionado anteriormente también explica las diferencias de pH encontradas entre LT y PM. Para LT, se observaron valores de pH más altos que para PM en carne fresca.

Cuando se analizó solamente el pH a las 24 h *post mortem*, no se observaron diferencias entre sistemas I y O, siendo este valor (24 h) el más importante, coincidiendo con lo observado por otros autores, al comparar cerdos criados en sistemas O e I (Dostálova et al., 2020, Blumetto et al., 2013). El valor medio de pH₂₄ fue de 5,76.

En los cerdos, al igual que otros animales, la composición de las fibras musculares varía según el músculo y el ejercicio físico: se vuelven menos glucolíticas cuando no se restringe el movimiento (Graziotti et al., 2000). Esto concuerda con lo observado por Carballo et al. (2017) en un trabajo anterior, donde también se estudió esta raza local, con una cinética del pH adecuada, lo que puede preservar la calidad de la carne.

Los valores de pH obtenidos en el presente trabajo fueron similares a los reportados por Depres et al. (1994) en *longissimus dorsi* de una raza criolla a los 45 min y 24 h *post mortem*, también a los de un trabajo previo comparando cerdos Pampa Rocha con razas de genética comercial (Carballo et al., 2017) y ligeramente superior en el cerdo local de los Balcanes Orientales (6,11 inicial y 5,58 a las 24 h) con un peso vivo similar (Marchev et al., 2018).

El pH de la carne madurada durante siete días fue similar al pH medido a las 24 horas *post mortem* en la carne fresca (cuadro 3). Sin embargo, cuando se hizo la comparación para cada músculo y para cada sistema de producción, se observó un valor ligeramente superior en PM madurado versus 24 h *post mortem* en I. Trabajos recientes (Yu et al., 2021) encontraron en *longissimus lumborum* un valor de pH ligeramente superior en carne de cerdos Landrace x Large White después de 9 días de maduración, probablemente debido a los cambios causados por las enzimas proteolíticas durante este proceso, pero este efecto no se observó en el LL de cerdos locales.

En carne fresca, cuando se analizó como efectos principales el sistema de producción, músculo, tiempo *post mortem* y sexo, la carne del sistema O mostró mayor pérdida por goteo que la carne del sistema I (cuadro 4), y el LT mostró mayor pérdida por goteo que el PM. Además, las hembras perdieron significativamente más agua que los machos. También se observaron diferencias significativas entre 60 min y 24 horas *post mortem*.

Cuadro 4. Pérdida por goteo (%) a 60 minutos y 24 horas *post mortem* (24 h) y luego de maduración en *longissimus thoracis* (LT) y *psoas major* (PM) de cerdos Pampa Rocha en dos sistemas productivos.

Tiempo <i>post mortem</i>	Sexo	Sistema				Efectos principales					
		I		O		S	M	Tpm	A	Sex	I
		Músculo									
		LT	PM	LT	PM						
60 min	m	0,90 ± 0,22	0,73 ± 0,14	1,69 ± 0,35	0,75 ± 0,16	¹ p < 0,01 O > I	¹ p < 0,01 LT > PM			¹ p < 0,05 H > m	
	h	1,43 ± 0,41	0,62 ± 0,12	1,40 ± 0,37	1,15 ± 0,37			¹ p < 0,01			
24 h	m	1,24 ± 0,43	2,39 ± 1,00	2,32 ± 0,40	1,13 ± 0,40	² p < 0,01 O > I	² p < 0,05 LT > PM	24h > 60 min		² p < 0,05 h > m	² SxSex p < 0,05
	h	2,14 ± 0,64	1,31 ± 0,29	4,56 ± 1,06	2,97 ± 1,00						
Maduración	m	1,08 ± 0,42	1,38 ± 0,60	6,96 ± 1,92	4,71 ± 1,98	³ p < 0,01 O > I	³ ns		³ ns	³ ns	³ SxA p < 0,05
	h	1,82 ± 0,55	1,38 ± 0,72	4,08 ± 2,46	5,54 ± 1,87						

Los valores se presentan como la media ± SEM de n = 11 para I (6 m, 5 h) y n = 12 para O (8 m, 4 h). Valores de p < 0,05 indican diferencias significativas para ¹ sistema de producción (S), músculo (M), tiempo *post mortem* (Tpm), sexo e interacciones (I) en carne fresca analizado con ANOVA de medidas repetidas; ² para 24 h *post mortem*, analizado con GLM ANOVA considerando el sistema (S), músculo (M), sexo e interacciones (I) como efectos principales; ³ para efecto de la maduración (madurada vs. 24 h *post mortem*) analizado con ANOVA GLM con sistema de producción (S), músculo (M), maduración (A), sexo e interacciones (I), como efectos principales. ns: no significativo, m: machos, h: hembras.

Cuando se analizan los valores de pérdida por goteo a las 24 h *post mortem*, se observa una pérdida significativamente mayor de agua en la carne proveniente del sistema O y para LT. Además, se observó una mayor pérdida en carne de cerdos hembras que en machos (1,78 % \pm 0,28 machos vs. 2,74 % \pm 0,34 hembras, a las 24 h). Por otro lado, la carne, ya sea LT o PM, madurada durante 7 días al vacío a 1-2 °C, perdió significativamente más agua que a las 24 h *post mortem* cuando provenía de sistemas O (cuadro 4). Sin embargo, los valores de pérdida por goteo en carne madurada del sistema I no variaron respecto a los obtenidos a las 24 h *post mortem*.

No se observaron diferencias debidas al sexo en carne madurada. Investigaciones previas de Warris et al. (1985, 1983), Talbott et al. (2004) y Mkwanazi et al. (2019) con cerdos en sistemas al aire libre reportaron una mayor pérdida por goteo en carne fresca. Por el contrario, Lebret et al. (2015) observaron una pérdida por goteo de 0,55 % en carne fresca de cerdo vasco criado en sistema extensivo, 0,85 % en sistema convencional y 1,11 % en sistema alternativo que incluía cama interior y libre acceso al exterior. Dostálova et al. (2020) no observaron diferencias en carne fresca de cerdos Prestice Black-Pie criados en estabulación bajo techo o al aire libre, y reportaron valores cercanos a 3,02 y 3,01 % de pérdida por goteo. Estos controvertidos hallazgos relacionados con la pérdida por goteo en las razas locales, para los sistemas de producción al aire libre o en confinamiento, podrían deberse a factores como el tipo de raza local, el porcentaje y el tipo de fibras (Taylor, 2004), el tipo de músculo o la grasa intramuscular (Mkwanazi et al., 2019).

En cuanto al sexo, en el presente trabajo, las hembras pierden más agua en la carne fresca que los machos, independientemente del sistema. Una alta pérdida por goteo está relacionada, entre otros factores, con una rápida glucólisis *post mortem*, que se observa, principalmente, en cerdos con susceptibilidad al estrés (Brewer, 2014) o con una mayor oxidación de lípidos (Morrissey y Kerry, 2004) o menos grasa intramuscular (Talbott et al., 2004) o con un pH₂₄ más bajo (Koomkrong et al., 2017). Dado que no se encontró efecto para el sexo en la cinética del glucógeno (figura 4), en la oxidación de lípidos (figura 5), ni en la grasa intramuscular (cuadro 6), ni en el pH₂₄

(cuadro 3), no es posible establecer una relación entre estos tres factores y la pérdida por goteo observada en este trabajo.

Considerando que la pérdida por goteo es uno de los principales atributos de la carne que afecta la textura durante el procesamiento, la pérdida de peso y la aceptabilidad por parte de los consumidores (Ocampo et al., 2009), se realizó una comparación con valores obtenidos en Uruguay y en otros países. Echenique y Capra (2006) reportaron valores alrededor de 3,82 % para la pérdida por goteo en carne fresca de híbridos comerciales provenientes de sistema intensivo en nuestro país. Morlein et al. (2007) reportaron que valores de pérdida por goteo superiores a 7 % se relacionan con una incidencia de carne PSE de alrededor de 35,3 %. En el presente trabajo, a las 24 horas *post mortem*, los valores obtenidos son inferiores a los valores mencionados anteriormente, a excepción de LT de hembras en el sistema al aire libre, no relacionado con PSE con base en otras características. En un trabajo anterior, Carballo et al. (2017) encontraron que la pérdida por goteo en *psoas major* de cerdo Pampa Rocha fue menor que en el mismo músculo de la cruce Pampa X Large White o Pampa X Duroc. Hay escasos reportes sobre valores de pérdida por goteo en carne de cerdo local, conservada durante 7 días al vacío en condiciones de refrigeración (madurada), relacionado con los sistemas de producción. En este trabajo, la carne del sistema O (macho o hembra) tiene una mayor pérdida por goteo y esto continúa durante los procesos de maduración.

Enfalt et al. (1997) reportaron que el *longissimus lumborum* de cerdos Duroc en sistemas al aire libre tiene un mayor contenido de humedad, cenizas y proteínas, un menor nivel de grasa intramuscular, mayor pérdida por goteo tanto en carne fresca como almacenada, mayor potencial glucolítico y menor pH 24 h en comparación con los cerdos de confinamiento. Una combinación de raza, tipo de músculo, sexo y condiciones al aire libre podría estar influyendo en la pérdida por goteo observada en esta investigación. Sin embargo, en condiciones de confinamiento, la pérdida por goteo sigue una dinámica que coincide con la de Straadt et al. (2007), quienes reportaron que la alta pérdida por goteo ocurre en los primeros días *post mortem*, luego de lo cual disminuye hasta los 14 días *post mortem*. En la carne de res, Kristensen y Purslow

(2001) plantearon la hipótesis de que el aumento de la capacidad de retención de agua con la maduración puede deberse a que la degradación en el citoesqueleto durante esta elimina el vínculo entre la contracción lateral de las miofibrillas inducida por el rigor y la contracción de todo el músculo, lo que le da a la miofibrilla la capacidad de retener más agua.

De acuerdo a los valores mostrados en el cuadro 5, cuando el análisis incluye los resultados obtenidos a las 24 h *post mortem* y en carne madurada, no se encontraron diferencias entre sistemas para los valores L*, a* y b*. Los músculos LT tuvieron un valor de L* superior y valores de a* y b* inferiores a PM. La maduración no afectó el valor de L*, pero se observa un menor valor para a* y b*. A las 24 h la carne fue más roja y más amarilla que la carne madurada. Una diferencia relevante entre músculos mostró que el PM fue más oscuro, más rojo y más amarillo que LT a las 24 h y en carne madurada. En general, no se observó ningún efecto del sexo de los animales sobre el color. Se encontraron interacciones significativas entre el sistema y el proceso de maduración. Por eso, los datos se analizaron en carne fresca a las 24 horas *post mortem* y en carne madurada por separado.

Cuadro 5. Valores de L*, a* y b* en carne fresca (24 h) y madurada en los músculos *longissimus thoracis* (LT) y *psoas major* (PM) de cerdos Pampa Rocha en dos sistemas de producción.

Item	Proceso	Sistema				Efectos principales				
		Cama profunda		Aire libre		S	M	¹ A	Sex	In
		LT	PM	LT	PM					
L*	24 h	44,84 ± 0,96	40,14 ± 0,95	39,33 ± 0,78	39,72 ± 0,67	¹ ns ² p < 0,01 (I > O)	^{1,2,3} p < 0,01 (LT > PM)	ns	¹ ns ² p < 0,05 (h > m)	¹ SxA ² SxM ³ p < 0,01
	Madurada	43,02 ± 0,72	36,24 ± 1,03	45,27 ± 0,80	38,93 ± 0,62					
a*	24 h	8,40 ± 0,97	13,80 ± 0,95	8,83 ± 0,75	13,40 ± 0,50	^{1,2,3} ns	^{1,2,3} p < 0,01 (PM > LT)	p < 0,01 (24 h > A)	^{1,2,3} ns	³ SxM p < 0,05
	Madurada	4,85 ± 0,43	11,41 ± 0,66	4,04 ± 0,29	13,50 ± 0,54					
b*	24 h	11,36 ± 0,72	12,38 ± 0,72	10,78 ± 0,51	11,20 ± 0,49	^{1,2,3} ns	¹ p < 0,05 (PM > LT) ² ns ³ p < 0,02 (PM > LT)	p < 0,001 (24 h > A)	^{1,2,3} ns	³ SxM p < 0,01
	Madurada	8,32 ± 0,38	8,29 ± 0,34	7,97 ± 0,34	9,95 ± 0,38					

Los valores se presentan como la media ± SEM de n = 11 para I (6 m, 5 h) y n = 12 para O (8 m, 4 h). Valores de p < 0,05 indican diferencias significativas para el análisis de efectos principales, sistema de producción (S), músculo (M), maduración (A), sexo e interacciones (In) sobre las variables L*, a* y b*. ¹ Analizado con ANOVA GLM para 24 h *post mortem* y carne madurada. ² Analizado con ANOVA GLM para 24 h. ³ Analizado con ANOVA GLM para carne madurada. ns: No significativo.

A las 24 horas *post mortem*, la carne del sistema O fue más oscura que la del sistema I, con un valor L^* significativamente menor. Esto concuerda con varios autores que se refieren a la actividad física en sistemas al aire libre para explicar este resultado en otras especies productivas (Terevinto et al., 2017, Guerrero et al., 2013). Gentry et al. (2004) informaron que los cerdos criados al aire libre tienen más fibras del tipo IIA y menos fibras tipo IIB/X que los cerdos criados en confinamiento.

Para el valor de a^* medido a las 24 h no se observó ningún efecto del sistema. Cabrera et al. (2007) observaron resultados similares en músculos de cerdos de Pampa Rocha. Una posible explicación es la mayor oxigenación debido a la movilidad, en consecuencia, mayor contenido de hemoglobina y de hierro hemo en el PM, un músculo más oxidativo que el LT (Carballo et al., 2022, Cabrera et al., 2007). Este resultado es un indicador de alto valor nutricional para altas demandas de hierro en forma de hemo.

Comparando los datos actuales y los resultados obtenidos por Echenique y Capra (2006), la carne de los cerdos de Pampa Rocha es más oscura y roja que el promedio nacional con predominio de líneas híbridas. Varios autores, evaluando cerdos locales, observaron valores similares de L^* y a^* en *longissimus dorsi* (Auqui et al., 2019, Radovic et al., 2017); sin embargo, Tomazin et al. (2019) no encontraron diferencias en el color de los músculos cuando los cerdos fueron criados en condiciones al aire libre. La carne madurada del sistema I fue más oscura con un valor L^* más bajo, pero no se encontró significancia para a^* y b^* . Además, PM madurado fue más oscuro y rojo que LT.

La maduración de la carne produce degradación bioquímica, lo que afecta, entre otros, el color a causa de la oxidación. En este trabajo, en el músculo LT de animales criados en O, podría observarse un valor de L^* afectado debido a la tendencia a la oxidación de pigmentos hemo. Sin embargo, el músculo LT mostró significativamente menos oxidación de lípidos y proteínas que el PM (figura 5). Considerando las interacciones significativas entre sistema y músculo, y entre sistema y proceso (maduración) y

también un L^* más alto en hembras a las 24 h, pero no en carne madurada, es probable que la expresión del color no siempre ocurra de la misma forma asociado a un sistema u otro en esta raza local, ya que varios factores intervienen en los valores obtenidos. En este estudio se incluyeron dos músculos, en carne fresca y madurada, y hembras y machos, y los resultados no son del todo concluyentes.

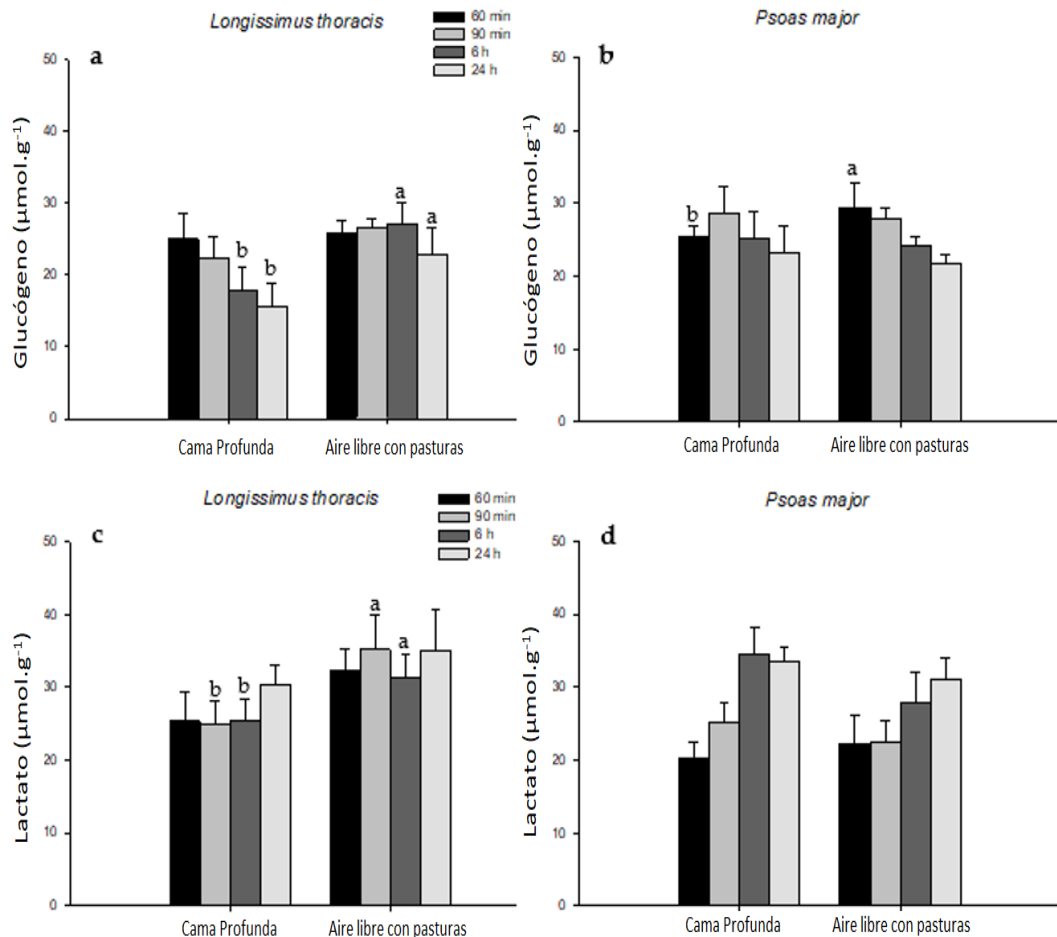
Respecto al parámetro b^* , en el análisis de efectos principales no se observan diferencias entre sistemas, pero sí entre músculos, siendo el PM más amarillo que el LT. Se observó, además, que la carne fresca presenta mayor b^* que la madurada. Cuando la comparación se hizo a las 24 h, el músculo PM mostró un color más amarillo que el LT (cuadro 5); esta diferencia entre músculos no se observó en carne madurada. Además, los valores de b^* en carne madurada fueron menores que los observados a las 24 h *post mortem*.

Estos resultados muestran que la maduración de la carne de esta raza local podría reducir la estabilidad del color, particularmente a^* y b^* en LT. Yu et al. (2021) reportan también una menor estabilidad de L^* , a^* , y b^* asociada a la maduración durante 16 días en vacío, de la carne de *longissimus lumborum* de cerdos Landrace x Large White. Finalmente, respecto al color de la carne, se obtuvieron resultados interesantes en carne proveniente del sistema O, por mostrar valores de L^* , a^* y b^* más estables en el músculo PM que en el LT. Estos resultados podrían indicar que el sistema al aire libre es más adecuado para producir animales cuya carne preserve un alto valor de un corte como el PM durante el proceso de maduración.

5.6.3 Contenido de glucógeno y lactato

El contenido de glucógeno y lactato no se vio afectado por el sistema de producción, el tipo de músculo y el sexo de los cerdos, como se observó a través del análisis de efectos principales (figura 4).

Figura 4. Cinética de glucógeno (a, b; $\mu\text{mol.g}^{-1}$) y lactato (c, d; $\mu\text{mol.g}^{-1}$) a 60 min, 90 min, 6 horas y 24 horas *post mortem* en carne de *longissimus thoracis* (LT) y *psaos major* (PM) de cerdos Pampa Rocha criados en dos sistemas.



Los datos se presentan como la media \pm SEM de $n = 11$ para I (6 m, 5 h) y $n = 12$ para O (8 m, 4 h). Los efectos principales del sistema de producción, músculo, tiempo *post mortem*, sexo e interacciones fueron analizados con ANOVA de medidas repetidas y *post hoc* test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). a, b: representan diferencias entre sistemas para cada músculo según prueba T ($p < 0,05$). Dado que el efecto sexo no fue significativo, machos y hembras se presentan en una misma media.

El análisis de efectos principales no mostró efecto del sistema de producción y del músculo sobre el contenido de glucógeno y lactato, mientras que el tiempo *post mortem* fue significativo en ambos, $p < 0,024$, 60 min $>$ 24 h para glucógeno, y $p < 0,019$, 24 h $>$ 60 min para lactato. Durante el tiempo *post mortem*, el contenido de glucógeno disminuyó significativamente como se esperaba, y resultó más alto a los 60

min que a las 24 h (figura 3 a, b). Los valores encontrados para el contenido de glucógeno fueron $22,59 \pm 1,01$ y $25,7 \pm 1,02$ $\mu\text{mol/g}$ de carne en cerdos criados en sistemas I y O, respectivamente.

Cuando se compararon los músculos en cada sistema, se observaron diferencias en el contenido de glucógeno solo en I, mientras que la comparación entre músculos mostró que el PM tiene niveles de glucógeno más altos que LT ($28,3$ frente a $26,5$ $\mu\text{mol/g}$). Por otro lado, cuando se realizó el análisis dentro de cada músculo, en LT del sistema O el glucógeno fue mayor que el del I ($25,5$ vs. $20,2$ $\mu\text{mol/g}$) y esta diferencia fue significativa a las 6 y 24 h *post mortem* (figura 4). En PM, el glucógeno del sistema I fue similar al del O ($25,6$ vs. $25,8$ $\mu\text{mol/g}$), pero se observó una diferencia significativa entre los sistemas a los 60 min *post mortem*, donde el sistema O tenía más glucógeno ($29,3$ $\mu\text{mol/g}$). g) que el I ($25,3$ $\mu\text{mol/g}$) (figura 4).

No se observaron diferencias en el contenido de lactato entre los sistemas, músculos o sexo. Cuando se consideró el tiempo *post mortem*, el contenido de lactato fue significativamente mayor a las 24 h ($32,5$ $\mu\text{mol/g}$) que a los 60 min ($25,0$ $\mu\text{mol/g}$; figura 3c, d). Los valores observados para el contenido de lactato fueron $27,4 \pm 1,8$ y $29,7 \pm 1,8$ $\mu\text{mol/g}$ de carne para el sistema I y O, respectivamente. Al analizar el contenido de lactato dentro de cada músculo, se observó que el LT del sistema O, a los 90 min y 6 h *post mortem*, contenía más lactato que el mismo músculo proveniente del sistema I.

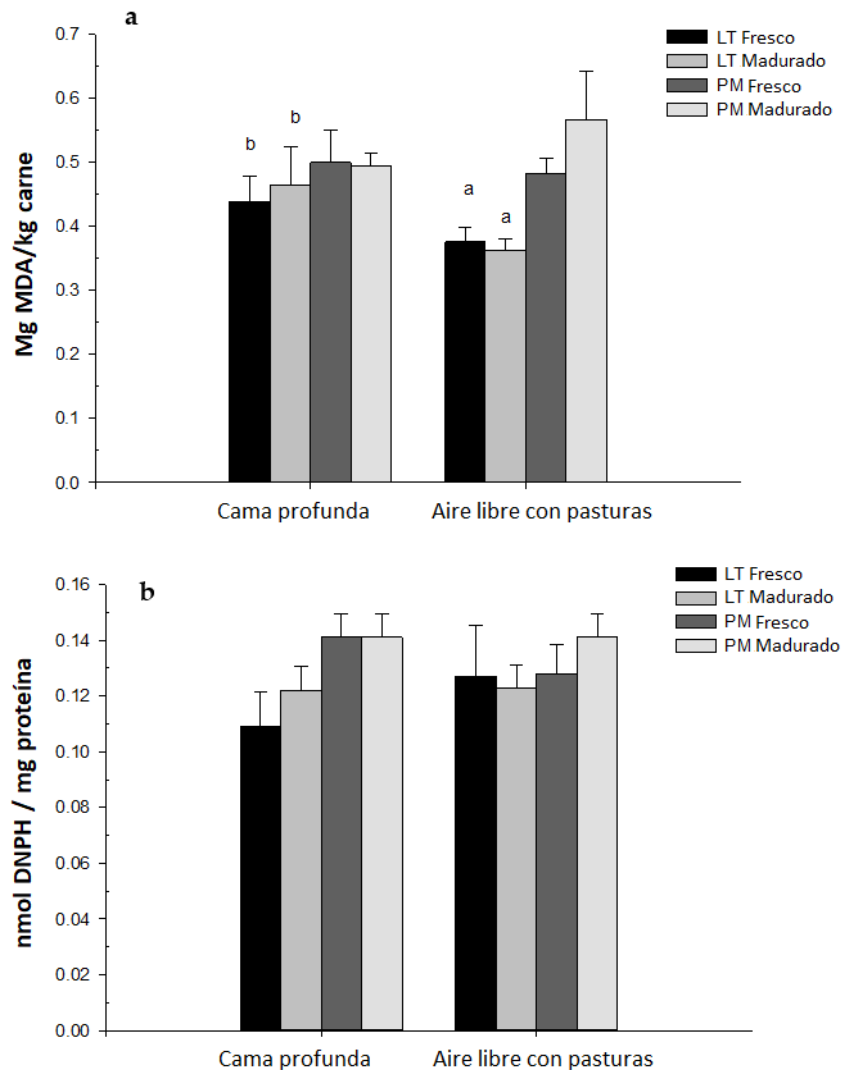
Zybert et al. (2020) asociaron valores elevados de glucógeno y lactato (superiores a los obtenidos en el presente trabajo) a un potencial glucolítico bajo, y mencionaron que esto explicaba el 42 % de la variación en el pH final. Con respecto a esto, no se observaron diferencias en pH₂₄ en este experimento. Los efectos del sistema de producción se observaron solo durante el *post mortem* y eso podría afectar otros parámetros como la pérdida por goteo o el color. La diferente respuesta de cada músculo, LT y PM, menos o más oxidativo, podría explicarse por las reservas de glucógeno *ante mortem*, afectando el alto pH_u resultante (England et al., 2016). El

contenido de glucógeno y lactato también se ve afectado por factores como la raza, las fibras musculares, la dieta, factores ambientales y otros (Moreno et al., 2020, De Oliveira et al., 2018, Lebret et al., 2015, Gentry et al., 2004). En este trabajo se encontraron diferencias entre sistemas durante la degradación del glucógeno o la acumulación de lactato, en algunos momentos durante la caída del pH, y esto impactó en las diferencias observadas durante la caída *post mortem* del pH para ambos sistemas ($\text{pH I} > \text{pH O}$); sin embargo afectó el pH final a las 24 horas. Quizá otros parámetros no medidos aquí podrían estar afectando, pudiendo ser objeto de otro estudio considerando estos aspectos en próximos trabajos.

5.6.4 Oxidación lipídica y proteica

La oxidación de lípidos y la oxidación de proteínas no se vieron afectadas por el sistema de producción, el sexo o la maduración de la carne. En el análisis de efectos principales se observaron diferencias debido al músculo, en ambos sistemas, que resultó en una mayor oxidación de lípidos y proteínas en PM que en LT (figura 5).

Figura 5. Oxidación de lípidos (**a**; mg MDA/kg carne) y proteína (**b**; nmol DNPH/mg proteína) en carne de *longissimus thoracis* (LT) y *psoas major* (PM), fresca y madurada de cerdos Pampa Rocha criados en cama profunda o al aire libre con pasturas.



Los datos se presentan como la media \pm SEM de $n = 11$ para cerdos de I (6 m, 5 h) y $n = 12$ para cerdos de O (8 m, 4 h). Los efectos principales del sistema de producción, músculo, sexo, maduración e interacciones sobre la oxidación de lípidos y proteínas se analizaron mediante ANOVA GLM y prueba *post hoc* de Tukey Kramer ($p < 0,05$). a, b indican diferencias significativas para la oxidación de lípidos (**a**) por prueba T entre sistemas en LT fresco o madurado ($p < 0,05$). Por no encontrarse efecto sexo, se presentan datos de machos y hembras juntos.

Los valores promedio en LT fueron 0,45 y 0,37 mg MDA/kg carne y 0,12 y 0,13 nmoles DNPH/mg proteína para sistema I y O, respectivamente. En PM, 0,50 y 0,52 mg MDA/kg carne y 0,14 y 0,13 nmoles DNPH/mg proteína para I y O, respectivamente. En carne fresca y en carne madurada se observaron diferencias entre sistemas en LT, donde la oxidación de lípidos fue menor (0,38 y 0,36 mg MDA/kg carne) en O que en I (0,44 y 0,46 mg MDA/kg carne), respectivamente (figura 4). No se observaron diferencias para la oxidación de lípidos ni para el contenido de carbonilos entre la carne fresca y madurada en cada músculo estudiado. Pero la oxidación de lípidos y proteínas en el músculo PM fue mayor que en el músculo LT.

Las concentraciones importantes de moléculas antioxidantes en las pasturas (Choe et al., 2011, Jayawardana et al., 2011, Lara et al., 2011) y la adaptación de los cerdos Pampa Rocha al consumo de esta podrían explicar la menor oxidación observada en el LT del sistema O respecto al del sistema I. Resultados similares se encontraron en un ensayo anterior (Carballo et al., 2017). Otros estudios han informado efectos positivos de la alimentación con forraje en los niveles de oxidación de la carne de diferentes especies (Siphambili et al., 2020, Hajji et al., 2016, Popova y Marinova, 2013).

Teniendo en cuenta que la oxidación es responsable del deterioro y la pérdida de valor nutricional y comercial de la carne (Zhang et al., 2013), es importante obtener niveles aceptables de oxidación de proteínas en este producto de cerdo local en ambos sistemas de cría. Considerando un músculo en particular, como LT, el sistema al aire libre es una oportunidad para mejorar la estabilidad tanto de la carne fresca como madurada. Las diferencias entre los músculos, LT más estable que PM, también permiten que se seleccione el músculo adecuado para minimizar el proceso de oxidación.

5.7 CONCLUSIONES

Se estudió la carne fresca y madurada de cerdo Pampa Rocha, raza local de Uruguay, criado en condiciones al aire libre con pasturas y en un sistema no convencional como lo es la cama profunda. Los parámetros productivos, como ganancia de peso y peso final de los cerdos, fueron menores en el sistema al aire libre respecto a los de cama profunda. La carne de este cerdo fue adecuada en cuanto a pH, pérdida por goteo y color, pero también se observó una fuerte influencia del tipo de músculo, LT o PM, probablemente debido a las reservas de glucógeno y la cinética *post mortem*. La cría al aire libre provocó una mayor pérdida por goteo a las 24 h *post mortem* y en carne madurada. El sexo de los animales impactó negativamente en las hembras para esta característica. Este aspecto necesita ser estudiado en profundidad. Se obtuvieron diferencias importantes para LT y PM, lo que repercutió en el pH, la pérdida por goteo, el color, el contenido de glucógeno y la oxidación de lípidos. La oxidación de lípidos en carne madurada al vacío durante siete días muestra el potencial de LT para minimizar el deterioro oxidativo.

6. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA CARNE DE CERDO PAMPA ROCHA EN DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN: PERFIL LIPÍDICO E ÍNDICES DE SALUD

6.1 INTRODUCCIÓN

Una característica particular de las razas locales es su importante adaptación a las condiciones ambientales del lugar en el que fueron prosperando, como, por ejemplo, la escasez en la disponibilidad de alimentos y repetidos ciclos estacionales de ayuno. Después de un período de escasez de alimentos, pueden acumular grandes cantidades de grasa cuando el alimento vuelve a estar fácilmente disponible (Switonski et al., 2010).

Investigaciones conducidas por Apple et al. (2009) y Tarricone et al. (2019) muestran valores de relación PUFA/SFA de 0,21 y 0,29, respectivamente, en músculo *longissimus dorsi* de cerdos finalizados con dietas basadas en maíz, harina de soja y cebada. Cuando incluyeron alimentos ricos en PUFA, como aceite de soja, esta relación mejoró desde el punto de vista de la salud, en ambos estudios, con valores de 0,36 y 0,70, respectivamente (Tarricone et al., 2019, Apple et al., 2009).

El contenido de n3 en carne también se modifica cuando se incluye semilla de lino en la dieta de cerdos en terminación, mejorando la relación n6/n3. Tarricone et al. (2019) reportan valores de 9,35 y 3,55 en *longissimus dorsi* de cerdos Nero Lucano sometidos a dietas sin y con semilla de lino.

Las recomendaciones nutricionales se basan en fomentar el consumo de carnes magras, con bajo contenido de ácidos grasos saturados (Cabezas et al., 2016) y una relación n6/n3 baja, elevando la demanda por productos con estas características (Howe et al., 2005) por considerarse más saludables. En este escenario, la preocupación de los consumidores por el contenido y tipo de grasas, así como de otros nutrientes, es creciente. Uruguay no es ajeno a esta tendencia, debiéndose considerar, además, que es un gran consumidor de carnes (OPYPA-MGAP, 2020).

Varios estudios demuestran que es posible modificar el contenido de los diferentes ácidos grasos de la carne de cerdo a partir de la alimentación, confiriendo un perfil

lipídico más saludable. La inclusión de pasturas en la alimentación de los cerdos permitiría obtener una carne más saludable por su perfil lipídico.

6.2 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la carne de cerdo Pampa Rocha producido en dos sistemas, en relación con su perfil de ácidos grasos y los índices de salud vinculados a este.

6.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el contenido de ácidos grasos totales en carne fresca.
- Cuantificar los diferentes ácidos grasos presentes en la carne.
- Evaluar la carne desde el punto de vista de la salud humana a partir del cálculo de índices vinculados a la composición lipídica.

6.4 HIPÓTESIS

- La inclusión de pasturas en la dieta de los cerdos se traducirá en un perfil de ácidos grasos más insaturado en la carne.
- Los índices de salud mejorarían con la inclusión de pasturas en la dieta de los cerdos.
- Se esperan diferencias entre músculos respecto al contenido de ácidos grasos y perfil lipídico.

6.5 MATERIALES Y MÉTODOS

6.5.1 Animales y condiciones experimentales

Ver 5.5.1

6.5.2 Contenido de lípidos y perfil de ácidos grasos

La extracción de lípidos intramusculares se realizó en carne fresca, siguiendo el método de Folch et al. (1957). Primero, las muestras de carne se homogeneizaron con cloroformo:metanol (2:1) durante 1 min, utilizando un Virtis a 35000 rpm. Luego, se filtraron utilizando un embudo y filtro y se evaporaron los lípidos a sequedad. Estos se pesaron y el contenido total de grasa intramuscular se expresó en gramos cada 100 g de músculo. Luego, los lípidos se disolvieron en hexano y se sometieron a metilación con KOH metanólico (Ichihara et al., 2010).

El análisis de ácidos grasos en LT y PM frescos se realizó mediante cromatografía de gases siguiendo el procedimiento de Eder (1995). Se utilizó un cromatógrafo split/splitless Clarus 500 (Perkin Elmer Instruments, EE. UU.) con una columna capilar de 100 m CPSIL-88 de sílice fundida, detector FID e hidrógeno de grado CPG como gas portador (velocidad: 1 ml/min). Se estableció una temperatura de 250 °C para el inyector y el detector FID. Los ésteres metilados de ácidos grasos (FAME) se determinaron comparando el tiempo de retención con los estándares de ácidos grasos (Sigma Corp., EE. UU.) y los FAME individuales se cuantificaron como un porcentaje del total de FAME detectados.

El contenido de lípidos totales y la composición de ácidos grasos de las pasturas y del alimento concentrado se midieron después de la extracción de lípidos (por el procedimiento Soxhlet), metilación y posterior cuantificación por cromatografía de gases. Los ácidos grasos expresados como mg de ácidos grasos/100 g de tejido se estimaron con base en los parámetros desarrollados por Weihrauch et al. (1977) y mejorado por Anderson (1976) específicamente para tejidos de cerdo.

6.5.3 Índices lipídicos de salud

En cada músculo (LT y PM) y a partir de los ácidos grasos previamente cuantificados, se calcularon el índice de aterogenicidad (AI), trombogenicidad (TI) y relación hipocolesterolémica/hipercolesterolémica (h/H) según Del Puerto et al. (2017).

6.5.4 Análisis estadístico

Los datos de ácidos grasos e índices de salud fueron analizados por ANOVA GLM considerando el sistema de producción, músculo y sexo como efectos principales. Cuando se obtuvo diferencias significativas en cada ANOVA ($p < 0,05$), *post hoc* se utilizó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). Las interacciones incluidas en cada análisis se mostraron cuando estas fueron significativas. Para el análisis de la composición de las pasturas, se resumió la composición de lípidos totales y ácidos grasos mediante estadística descriptiva. Además, se realizaron comparaciones entre sistemas para cada músculo y entre músculos para cada sistema mediante T-Test ($p < 0,05$). Se utilizó el software NCSS (2019; 329 North 1000 East Kaysville, Utah 84037 EE. UU.).

6.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.6.1 Contenido de ácidos grasos

De acuerdo con los resultados que se muestran en el cuadro 6, el contenido de lípidos totales (g/100 g de carne) es mayor en el músculo PM que en el LT (3,23 y 2,10 %, respectivamente) y no se observaron diferencias significativas entre sistemas ni sexo.

Cuadro 6. Contenido de lípidos (g/100 g de carne) y composición de ácidos grasos (g/100g del total de ácidos grasos) del *longissimus thoracis* (LT) y *psaos major* (PM) de cerdos Pampa Rocha criados en cama profunda (I) o al aire libre con pasturas (O).

	<i>longissimus thoracis</i>		<i>psaos major</i>		Sistema	Efectos principales Músculo
	O	I	O	I		
Lípidos, (%)	2,09 ± 0,23	2,12 ± 0,19	3,08 ± 0,24	3,39 ± 0,52	ns	$p < 0,001$ PM > LT
Ácidos grasos, (%)						
C12:0	0,06 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,06 ± 0,01	ns	ns
C14:0	1,22 ± 0,06	1,23 ± 0,05	1,22 ± 0,04	1,20 ± 0,11	ns	ns
C14:1	0,05 ± 0,00	0,04 ± 0,00	0,08 ± 0,01	0,06 ± 0,00	$p < 0,04$ O > I	$p < 0,0001$ PM > LT
C16:0	25,04 ± 0,52	25,35 ± 0,59	26,47 ± 0,31	25,95 ± 0,84	ns	ns
C16:1	2,91 ± 0,10	2,97 ± 0,12	2,49 ± 0,11	2,41 ± 0,10	ns	$p < 0,0001$ LT > PM
C17:0	0,32 ± 0,02	0,30 ± 0,02	0,40 ± 0,02	0,38 ± 0,01	ns	$p < 0,0001$ PM > LT
C17:1	0,19 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,19 ± 0,01	$p = 0,07$ O > I*	$p < 0,02$ PM > LT
C18:0	13,84 ± 0,98	13,26 ± 0,28	15,12 ± 0,34	14,52 ± 0,43	ns	$p < 0,001$ PM > LT
C18:1	42,46 ± 0,71	43,28 ± 0,87	41,20 ± 0,47	40,62 ± 0,97	ns	$p < 0,005$ LT > PM
C18:2n-6	10,38 ± 0,68	10,12 ± 0,50	10,07 ± 0,60	11,45 ± 0,89	ns	ns
C18:3n-3	1,16 ± 0,05 a	0,99 ± 0,05 b	1,13 ± 0,06	1,09 ± 0,07	ns	ns
C18:4n-3	0,35 ± 0,03	0,34 ± 0,02	0,36 ± 0,02	0,41 ± 0,04	ns	ns
C20:0	0,19 ± 0,02	0,17 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,21 ± 0,02	ns	ns
C20:1	0,03 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,02 ± 0,00	ns	ns
C20:3n-3	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,16 ± 0,02	0,21 ± 0,04	ns	$p < 0,004$ PM > LT
C20:4n-6	1,07 ± 0,24	1,09 ± 0,17	0,29 ± 0,05	0,61 ± 0,20	ns	$p < 0,0001$ LT > PM
C22:4n-6	0,16 ± 0,03	0,18 ± 0,02	0,06 ± 0,09	0,11 ± 0,03	ns	$p < 0,002$ LT > PM
Unidentified	0,54 ± 0,06	0,38 ± 0,05	0,43 ± 0,04	0,52 ± 0,07	ns	ns
∑ SFA	40,67 ± 0,66	40,38 ± 0,83	43,49 ± 0,54	42,31 ± 1,09	ns	$p < 0,003$ PM > LT
∑ MUFA	45,64 ± 0,75	46,49 ± 0,92	44,00 ± 0,55	43,31 ± 0,96	ns	$p < 0,001$ LT > PM
∑ PUFA	13,16 ± 3,38	12,76 ± 0,68	12,08 ± 0,72	13,87 ± 1,19	ns	ns

Los datos se presentan como la media ± SEM de n = 11 para I (6 m, 5 h) y n = 12 para O (8 m, 4 h). Los efectos principales se analizaron mediante ANOVA GLM para sistema, músculo, sexo (no mostrado) e interacciones (no mostrado) y *post hoc* test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). *hembras de O > machos de I ($p < 0,05$). ^{a,b}: diferencias significativas entre sistemas para el músculo LT según prueba T ($p < 0,05$). Ns = no significativo.

Cuando el contenido de lípidos totales se expresa en mg/100g de tejido, los valores hallados son 1985 y 1895 mg/100 g de tejido para LT en O e I, y en PM son 2712 y 3052 mg/100 g tejido O e I, respectivamente. Este mayor contenido de lípidos en PM podría explicar la mayor oxidación de lípidos y proteínas observada en la figura 5 para este músculo (capítulo 5.5.5) y una posible capacidad lipogénica mayor de esteen esta raza local (Poklukar et al., 2020). Los ácidos grasos oleico (C18:1, 42 %), palmítico (C16:0, 26 %), esteárico (C18:0, 14 %) y linoleico (C18:2n-6, 10 %) están presentes en mayor porcentaje en ambos músculos.

El oleico es un ácido graso monoinsaturado importante para reducir la incidencia de enfermedades cardiovasculares, mientras que el linoleico es un ácido graso esencial (López-Huertas, 2010). El contenido de ácido miristoleico (C14:1), ácido margárico (C17:0), ácido heptadecanoico (C17:1), ácido esteárico (C18:0) y ácido eicosatrienoico (C20:3n-3) fue mayor en PM, en tanto el contenido de los ácidos grasos palmitoleico (C16:1), oleico (C18:1), araquidónico (C20:4n-6) y docosatetraenoico (C22:4n-6) fue mayor en músculo LT.

Solo el contenido de ácido graso miristoleico fue diferente entre sistemas ($p < 0,05$), siendo mayor en animales criados en sistema de producción de al aire libre (O). El contenido de ácido alfa-linolénico (C18:3n-3) no fue significativamente diferente entre sistemas, músculos o sexo (cuadro 6). Para el LT, el contenido de este ácido es significativamente mayor en carne del sistema O que en la proveniente de I ($p < 0,03$). En PM, el contenido de C14:1 y C17:1 fue mayor en O, y el contenido de C18:2n-6, C20:4n-6 y C22:4n-6 fue mayor en I. No se detectó contenido de ácido docosahexaenoico (DHA) como tampoco de docosapentaenoico (DPA) en la grasa intramuscular de estos cerdos, y esto podría explicarse, probablemente, por alguna característica genética específica de esta raza local. Observaciones similares han sido reportadas por Poklukar et al. (2020).

Cuando se comparó entre músculos, se observaron diferencias en el contenido de SFA y MUFA (cuadro 6). El contenido de SFA fue mayor en PM y se explica por las diferencias entre los músculos para el sistema O. El contenido de MUFA fue mayor

en LT que en PM, y no se observaron diferencias entre los músculos para el contenido de PUFA. En cuanto al sistema de producción, se observaron diferencias para el contenido de PUFA solo en el músculo PM (I mayor que O).

Las razas locales tienen una mayor capacidad lipogénica, lo que resulta en una mayor capacidad para depositar grasa que las razas modernas. El contenido de ácidos grasos monoinsaturados y saturados también es mayor en razas locales (Poklucar et al., 2020). Este es un punto crucial porque muestra que en el metabolismo lipídico de los cerdos locales predominan los ácidos grasos monoinsaturados, lo que muestra una actividad más lipogénica que lipolítica y una mayor capacidad de desaturación (Poklucar et al., 2020).

Los resultados obtenidos en el presente estudio con respecto al perfil de ácidos grasos no son claros con respecto a las diferencias entre sistemas y concuerdan parcialmente con lo informado por varios autores (Dostálova et al., 2020, Parunovic et al., 2012). Es necesario considerar que tanto los cerdos criados en cama profunda como los criados al aire libre con pasturas consumieron cantidades importantes de alimento concentrado, con un contenido de ácidos grasos totales mayor que las pasturas (cuadro 7).

Cuadro 7. Lípidos totales (% de materia seca) y composición de ácidos grasos (g/100 g de ácidos grasos) de trébol rojo (*Trifolium pratense*) y achicoria (*Cichorium intybus*), raigrás (*Lolium multiflorum*) y del alimento concentrado.

Items	Trébol rojo	Achicoria	Raigrás	Concentrado
Lípidos totales (% ms)	0.56	0.88	0.95	3.35
Ácidos grasos (g/100g AG totales)				
C16:0	11,7 ± 0,62	11,6 ± 0,20	16,6 ± 0,33	15,9 ± 0,20
C16:1	1,40 ± 0,33	0,99 ± 0,01	1,59 ± 0,20	1,4 ± 0,38
C18:0	4,10 ± 0,29	4,52 ± 0,95	3,70 ± 0,65	4,11 ± 1,15
C18:1	1,84 ± 0,73	2,62 ± 0,46	5,09 ± 0,59	39,4 ± 2,95
C18:2n-6	21,9 ± 0,71	22,2 ± 0,96	14,7 ± 0,45	29,3 ± 0,40
C18:3n-3	46,7 ± 0,70	49,8 ± 1,97	45,6 ± 2,23	2,12 ± 0,22
Unidentified	12,3 ± 1,36	8,24 ± 0,57	12,6 ± 1,60	7,73 ± 1,38

Los valores se presentan como la media ± SEM de n = 3 muestras para cada especie vegetal y concentrado.

Si bien las pasturas tienen un porcentaje de C18:3n-3 superior al del concentrado, su menor consumo en relación a este y su menor digestibilidad (González et al., 2020) pueden ser limitantes para incrementar este ácido graso en la carne. Probablemente sería necesaria una inclusión mucho más temprana de alimentos ricos en ácidos grasos n-3 para aumentar los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga en esta raza local, ya que exhibe una maduración más temprana del tejido adiposo que las razas modernas (Vincent et al., 2012, Mourot et al., 1996).

Utilizando el factor de cálculo desarrollado por Weihrauch et al. (1977) y adaptado específicamente para cerdos por Anderson (1976) de 0,91, es posible estimar los ácidos grasos totales en 100 g de tejido fresco a partir de los datos expresados como g/100 g de ácido graso, determinados en la presente investigación por cromatografía de gases. Greenfield y Southgate (2003) y algunas bases de datos de alimentos como la Danish Food Database (2022) utilizan este enfoque para estimar los valores reales de ácidos

grasos por g de tejido. Así, es posible expresar el contenido total de ácidos grasos (g/100 g tejido fresco) a partir del porcentaje de lípidos totales (g/100 g tejido fresco) como se reporta en el cuadro 6. En efecto, en el presente trabajo es posible apreciar el aporte del contenido total de PUFA y 18:3n-3 a partir de los datos obtenidos de su composición expresada en % (g/ 100 g ácidos grasos). Esos valores oscilaron entre 12,1 y 13,9 g/100 g de ácidos grasos y 1,0 y 1,2 g/100 g de ácidos grasos para PUFA y 18:3n3, respectivamente, para los dos sistemas y músculos estudiados aquí. Se encontró una cantidad de 287 mg/100 g de tejido fresco y 324 mg/100 g de tejido fresco de PUFA para el sistema O e I, respectivamente, con una diferencia significativa ($p < 0,001$) debido al tipo de músculo, LT (241 mg/100 g tejido fresco) y PM (369 mg/100 g de tejido fresco).

Esta contribución es similar a la reportada por Dugan et al. (2015). En cuanto al ácido linolénico (18:3n-3), se encontraron valores de 26,9 y 26,7 mg/100 g de tejido fresco para el sistema O e I con diferencia significativa ($p < 0,006$) entre músculos (21,2 y 32,4 mg/100 g de tejido fresco) para LT y PM, respectivamente. Estos valores son similares en músculo LT y mayores para PM si se compara con los reportados para *longissimus* de razas comerciales (22,7 mg/100 g de tejido fresco) según Dugan et al. (2015) y estudios anteriores (Turner et al., 2014, Juárez et al., 2011). Esos datos pertenecen a animales utilizados como control, alimentados con harina de cebada/trigo/soja.

6.6.2 Índices lipídicos de salud

Considerando el punto de vista de la salud humana, en relación con la composición lipídica de la carne, ambos sistemas produjeron una carne con un perfil de ácidos grasos interesante y saludable. En cuanto a los índices de salud, los resultados se muestran en el cuadro 8.

Cuadro 8. Índices de salud lipídica calculados en carne de *longissimus thoracis* (LT) y *psoas major* (PM) de cerdo Pampa Rocha producido en cama profunda (I) o al aire libre con pasturas (O).

	<i>longissimus thoracis</i>		<i>psoas major</i>		Sistema	Músculo
	O	I	O	I		
P/S	0,33 ± 0,03	0,32 ± 0,03	0,28 ± 0,03b	0,34 ± 0,03a	ns	Ns
n-6	11,61 ± 0,93	11,39 ± 0,67	10,42 ± 0,64b	12,16 ± 0,08a	ns	Ns
n-3	1,54 ± 0,07	1,37 ± 0,06	1,65 ± 0,09	1,71 ± 0,13	ns	$p < 0,05$; PM > LT
n-6/n-3	7,51 ± 0,42	8,41 ± 0,44	6,30 ± 0,42b	7,18 ± 0,44a	$p < 0,05$; I > O	$p < 0,05$; LT > PM
AI	0,51 ± 0,02	0,51 ± 0,02	0,56 ± 0,02	0,54 ± 0,02	ns	Ns
IT	1,38 ± 0,05	1,37 ± 0,05	1,55 ± 0,05	1,49 ± 0,05	ns	$p < 0,003$; PM > LT
h/H	2,26 ± 0,08	2,25 ± 0,08	2,03 ± 0,08	2,14 ± 0,08	ns	Ns

Los datos se presentan como la media ± SEM de n = 11 para I (6 m, 5 h) y n = 12 para O (8 m, 4 h). Los efectos principales se analizaron mediante ANOVA GLM para sistema, músculo, sexo e interacciones (no mostrado) y *post hoc* test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). ^{a,b}: diferencias significativas entre sistemas para el músculo PM según prueba T ($p < 0,05$). Valores de machos y hembras se presentan juntos.

Se observó una mayor relación n-6/n-3 en el sistema I en comparación con el O. Las diferencias entre los sistemas de producción se observaron solo en el músculo PM. En este músculo, el contenido de n-6, las relaciones PUFA/SFA y n-6/n-3 fueron mayores en el sistema I que en el O. El mayor contenido de n-6 encontrado en este músculo de cerdos alimentados en I puede explicar la relación n-6/n-3 más alta, ya que el contenido de n-3 no fue diferente entre los sistemas. El sexo de los animales no afectó significativamente las variables estudiadas.

6.7 CONCLUSIONES

En cuanto a las propiedades de la carne de Pampa Rocha referidas a la salud, se encontraron niveles interesantes de ácidos grasos e índices de salud en la carne de ambos sistemas que están en línea con los requerimientos de la dieta humana. Además, el contenido de lípidos y la composición de ácidos grasos depende mucho más del tipo de músculo y del sexo que del sistema de crianza.

El sistema al aire libre con pasturas tiene una ligera mejora en el perfil de ácidos grasos en este cerdo local, particularmente con el ácido alfa-linolénico (C18:3n-3) en *longissimus thoracis*, y una menor relación n-6/n-3 en la carne de los cerdos criados al aire libre con pasturas. Sin embargo, sería necesario realizar más investigaciones sobre el momento de la alimentación con pasturas ricas en n-3, además de incluir fuentes accesibles ricas en PUFA para impactar el nivel de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga n-3 en este cerdo local.

7. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA CARNE DE CERDO PAMPA
ROCHA EN DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN: CONTENIDO DE
MINERALES

7.1 INTRODUCCIÓN

La carne de cerdo es una fuente tradicional y valiosa de proteínas y micronutrientes en muchos países de bajos ingresos, que contribuye con el desarrollo físico y cognitivo de niños y adolescentes. En este sentido, en América Latina, el consumo de carne de cerdo ha aumentado rápidamente en los últimos años, particularmente en Argentina, Brasil, México y Uruguay, siendo esta demanda impulsada por una mayor producción interna, mejoras en la calidad y precios relativos favorables (OECD-FAO, 2020, OPYPA-MGAP, 2020). Las tierras fértiles con abundantes pasturas representan una oportunidad para producir cerdos con atributos mejorados que pueden influir en la percepción del consumidor. A nivel mundial, las demandas de los consumidores están cambiando y los recientes brotes de enfermedades animales han planteado preocupaciones sobre la salud y la seguridad de los alimentos (Dang y Thanh-Tran, 2020).

Estudios previos han demostrado que los nutrientes, como el contenido mineral, pueden variar entre especies animales, dietas, tipos genéticos, músculos, edades y procesos (Babiczyk y Kasprzyk, 2019, Cheng et al., 2018, Palma-Granados et al., 2015, Ramos et al., 2012, Cabrera et al., 2010) y algunos minerales, particularmente el contenido de Fe, pueden mejorar en sistemas al aire libre y en las razas locales (Zhao y Shuming-Yang, 2016, Nicolik et al., 2015). La determinación precisa del contenido de nutrientes en un nuevo alimento de proteína animal es necesaria para conocer el valor nutricional de los diferentes cortes de carne en relación con su valor económico (Terevinto et al., 2020, Cabrera et al., 2010).

Las personas prefieren cada vez más productos cárnicos ecológicos u orgánicos que no contengan antibióticos y se produzcan de acuerdo con los estándares éticos y de bienestar animal (Garibaldi et al., 2018). La producción al aire libre representa una oportunidad para satisfacer estas nuevas demandas, y los sistemas futuros deberían incluir razas criollas locales y pasturas para agregar valor a los productos cárnicos. Por otro lado, el sistema de cama profunda está presente en Uruguay y en la región como

un sistema alternativo al clásico confinado. Como principales características se menciona el mejor bienestar animal debido a que la cama (materia vegetal seca) enriquece el ambiente, no se utiliza agua para la limpieza y no hay manejo de excretas. Se pueden utilizar instalaciones de bajo costo, lo que hace que este sistema sea viable en las explotaciones familiares (Cruz et al., 2009).

Si la carne de cerdo Pampa Rocha se valoriza y se convierte en un producto comercial, este recurso genético animal será protegido y preservado en su ambiente original para la próxima generación de productores. Este cerdo está lejos de estar al mismo nivel y estatus que el cerdo ibérico, pero la disponibilidad de información nutricional de este tipo de animal podría ayudar a que crezca como producto diferencial.

7.2 OBJETIVO GENERAL

El objetivo de esta investigación fue evaluar el valor nutricional, a partir de su contenido mineral, de la carne fresca obtenida a partir de cerdo Pampa Rocha producido en Uruguay en dos sistemas de producción alternativos al clásico confinado, al aire libre con pasturas y cama profunda, ambos posibles de ser adoptados por productores familiares.

7.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar el contenido de minerales traza y macro, hierro hemo y no hemo, zinc, cobre, manganeso, calcio, magnesio, sodio y potasio en los músculos *longissimus thoracis*, *psoas major* y músculos del jamón, *gluteus medius*, *semitendinosus*, *biceps femoral* y *quadriceps femoris*.

7.4 HIPÓTESIS

— Las pasturas, así como la actividad física de los animales en el sistema a campo, provocarán diferencias en el contenido mineral de la carne.

— A su vez, se esperan diferencias entre músculos en la calidad nutricional debido al contenido mineral de estos.

7.5 MATERIALES Y MÉTODOS

7.5.1 Condiciones experimentales y toma de muestras

Ver 5.5.1

Inmediato al sacrificio, los músculos *longissimus thoracis* (LT) entre la 10.^a y 12.^a costilla, el *psaos major* (PM), *gluteus medius* (GM), *semitendinosus* (ST), *biceps femoral* (BF) y *quadriceps femoris* (QF) se removieron de las carcasas (ver figura 3) y se trasladaron hasta el laboratorio en cajas refrigeradas (Rubbermaid Incorporated, Huntersville, EE. UU.).

7.5.2 Determinación del contenido de minerales

Para cada músculo, se utilizó una muestra de 5 gramos (g) libre de grasa visible y tejido conectivo. Las muestras se secaron en estufa de aire forzado (105 °C, Labotecgroup, BJPX-Julongissineau, Uruguay) hasta peso constante. Las muestras secas fueron luego incineradas en un horno de mufla digital (Thermolyne, Cimarec 3, USA), a 580 °C por 16 horas (h), utilizando crisoles de porcelana (SUP-68281) con tapas (SUP-68223), ambos de Marienfeld (Superior, Laboratory Glassware, Alemania), hasta obtener cenizas blanquecinas. Luego, las cenizas se solubilizaron con 2 mililitros (mL) de HCl 6 Molar (M) (HCl, Merck g.a., grado analítico) y 2 mL de HNO₃ 1 M ultrapuro (HNO₃ 65 %, Merck g.a. destilado por subebullición), sobre una placa caliente (< 80°C, Thermolyne, 48000 Furnace, EE. UU.).

Posteriormente, las muestras se filtraron usando papel de filtro sin cenizas Whatman, y se completaron hasta 25 mL con agua desionizada, 18 Mohms.centímetros (cm⁻¹) (Ramos et al. 2012). También se incluyó un blanco que contenía solo ácido. Los contenidos totales de Fe, Zn, Cu, Mn, Ca, Mg, Na y K se determinaron mediante espectrometría de absorción atómica (AAS, Perkin Elmer, Analyst 300, EE. UU.) con

llama o emisión. Para cada analito, se usaron soluciones estándar adecuadas de Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Cu y Mn que contenían 1000 microgramos ($\mu\text{g/mL}$) en HCl al 2 % (Perkin Elmer grado TruQTM, EE. UU.) y se incluyó un blanco para cada analito con HCl al 2 %.

El análisis de minerales se realizó mediante espectroscopia de absorción atómica (AAS, Perkin Elmer, Analyst 300, EE. UU.). Este sistema se equipó con una lámpara de cátodo hueco monoelemento (Lumina Hollow Cathode Lamp, Perkin Elmer, EE. UU.) para Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Cu y Mn. Para evitar interferencias en las mediciones de Ca y Na, se disolvieron y utilizaron soluciones de La_2O_3 y Al-Cs, respectivamente, en HCl al 2 %. Se utilizó una llama de aire-acetileno con una relación de 10-2,5 L/min. El límite de detección se calculó como 3 segundos/metro, donde la desviación estándar fue de 20 mediciones en blanco divididas por la pendiente de la curva de calibración (m). El límite de cuantificación se calculó como 10 s/m.

7.5.3 Determinación del contenido de hierro hemo y no hemo

Para la determinación del hierro hemo se siguió el procedimiento de Hornsey (1956) adaptado por Ramos et al. (2012). Se utilizaron muestras de carne fresca (2 g), que fueron finamente picadas y maceradas en 9 mL de acetona acidificada con HCl en tubos de ensayo de vidrio (Pyrex, n.º 9820, EE. UU.). Los pigmentos heme totales en muestras de carne se determinaron como hemina después de la extracción con solución de acetona acidificada. La hemina se cuantificó considerando su pico de absorción a 640 nanómetros en un espectrofotómetro (Thermo Corporation, California, EE. UU.). El contenido de hierro hemo se calculó con el factor 0,0882 μg de hierro/ μg de hematina. El hierro no hemo se determinó como la diferencia entre el hierro total y el contenido de hierro hemo.

7.5.4 Análisis estadístico

Los datos se presentan como media \pm SEM para cada sistema de producción, músculo y sexo estudiado (cuando se observaron diferencias por sexo). Los efectos principales del sistema, músculo y sexo se analizaron mediante un ANOVA con un procedimiento GLM y una prueba de comparación múltiple *post hoc* de Tukey-Kramer, con un nivel de significación establecido en $P < 0,05$. Los datos fueron analizados utilizando el software NCSS (NCSS, 329 North 1000 East, Kaysville, UT 84037, EE. UU., Version 2009).

7.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.6.1 Composición mineral en alimento concentrado y pasturas

La composición mineral del concentrado y de la pastura se muestra en el cuadro 9.

Cuadro 9. Contenido de elementos traza y macrominerales en el alimento concentrado y pastura ofrecida en el sistema al aire libre.

Pastura	Mes	Elementos traza				Composición botánica
		Fe	Zn	Cu	Mn	
		mg/kg peso seco				% materia seca
<i>Trifolium pratense</i>	Jul. 1	1101,8 ± 59,3	28,6 ± 2,8	6,6 ± 0,8	134,7 ± 2,6	15,4 ± 5,2
	Jul. 2	789,2 ± 31,1	24,8 ± 2,2	8,5 ± 1,5	129,5 ± 1,6	27,5 ± 3,4
	Sep. 1	608,7 ± 28,4	29,8 ± 4,9	14,9 ± 1,6	112,0 ± 3,7	50,6 ± 5,7
	Sep. 2	926,8 ± 55,3	15,7 ± 0,3	4,7 ± 0,5	128,7 ± 4,3	45,9 ± 8,6
<i>Cichorium intybus</i>	Jul. 1	738,1 ± 26,9	41,5 ± 5,3	8,6 ± 0,3	167,3 ± 4,7	65,7 ± 3,3
	Jul. 2	560,0 ± 36,8	35,0 ± 6,5	8,1 ± 0,8	145,0 ± 10,5	53,9 ± 6,8
	Sep. 1	577,7 ± 94,2	28,2 ± 2,5	12,4 ± 1,6	117,3 ± 8,7	36,3 ± 3,5
	Sep. 2	728,0 ± 238,0	28,5 ± 1,1	12,9 ± 0,4	151,9 ± 19,7	38,8 ± 7,7
<i>Lolium multiflorum</i>	Jul. 1	508,1 ± 48,7	10,1 ± 0,1	4,9 ± 0,4	111,8 ± 14,9	16,8 ± 3,3
	Jul. 2	351,4 ± 52,5	8,2 ± 1,2	4,7 ± 0,6	88,8 ± 6,0	13,7 ± 3,3
	Sep. 1	404,5 ± 67,7	10,9 ± 1,4	4,3 ± 0,8	72,3 ± 4,5	9,9 ± 1,8
	Sep. 2	656,1 ± 207,5	8,7 ± 0,9	3,6 ± 0,7	72,4 ± 6,7	8,8 ± 2,9
Concentrate		188,5 ± 10,7	250,3 ± 17,8	38,2 ± 4,5	74,1 ± 3,5	
		Macro minerales				Composición botánica
		Ca	Mg	Na	K	
		g/100 g peso seco				% materia seca
<i>Trifolium pratense</i>	Jul. 1	0,61 ± 0,01	0,25 ± 0,01	0,17 ± 0,01	2,45 ± 0,02	15,4 ± 5,2
	Jul. 2	0,74 ± 0,04	0,27 ± 0,02	0,10 ± 0,01	2,44 ± 0,08	27,5 ± 3,4
	Sep. 1	0,85 ± 0,01	0,26 ± 0,01	0,45 ± 0,01	2,43 ± 0,06	50,6 ± 5,7
	Sep. 2	1,01 ± 0,01	0,30 ± 0,01	0,35 ± 0,01	1,58 ± 0,08	45,9 ± 8,6
<i>Cichorium intybus</i>	Jul. 1	0,72 ± 0,03	0,24 ± 0,01	0,30 ± 0,02	4,12 ± 0,23	65,7 ± 3,3
	Jul. 2	0,63 ± 0,07	0,21 ± 0,02	0,24 ± 0,02	4,18 ± 0,30	53,9 ± 6,8
	Sep. 1	0,90 ± 0,06	0,25 ± 0,02	0,56 ± 0,02	2,28 ± 0,09	36,3 ± 3,5
	Sep. 2	0,97 ± 0,02	0,29 ± 0,00	0,99 ± 0,11	2,43 ± 0,26	38,8 ± 7,7
<i>Lolium multiflorum</i>	Jul. 1	0,40 ± 0,01	0,19 ± 0,01	0,29 ± 0,01	2,92 ± 0,09	16,8 ± 3,3
	Jul. 2	0,41 ± 0,01	0,18 ± 0,01	0,27 ± 0,01	2,74 ± 0,10	13,7 ± 3,3
	Sep. 1	0,44 ± 0,01	0,19 ± 0,01	0,30 ± 0,01	2,85 ± 0,09	9,9 ± 1,8
	Sep. 2	0,44 ± 0,02	0,21 ± 0,02	0,48 ± 0,03	2,51 ± 0,15	8,8 ± 2,9
Concentrate		0,92 ± 0,08	0,62 ± 0,01	0,41 ± 0,02	1,37 ± 0,10	

Los datos representan la media ± SEM de n = 3 para cada fecha de muestreo y para el concentrado. Julio y septiembre representan las fechas inicial y final para los muestreos durante el período de engorde de animales en el sistema O.

La composición botánica y el contenido mineral de las diferentes especies vegetales variaron con la fecha de muestreo. Según los resultados, se destaca el alto aporte de Fe y Mn (mg/kg MS) de la pastura en comparación con el concentrado. Por otro lado, el

concentrado presentó altos niveles de Cu, Zn y Mg en comparación con las tres especies vegetales que componían la mezcla. En general, el raigrás presentó menores contenidos de Fe, Mn, Cu y Zn.

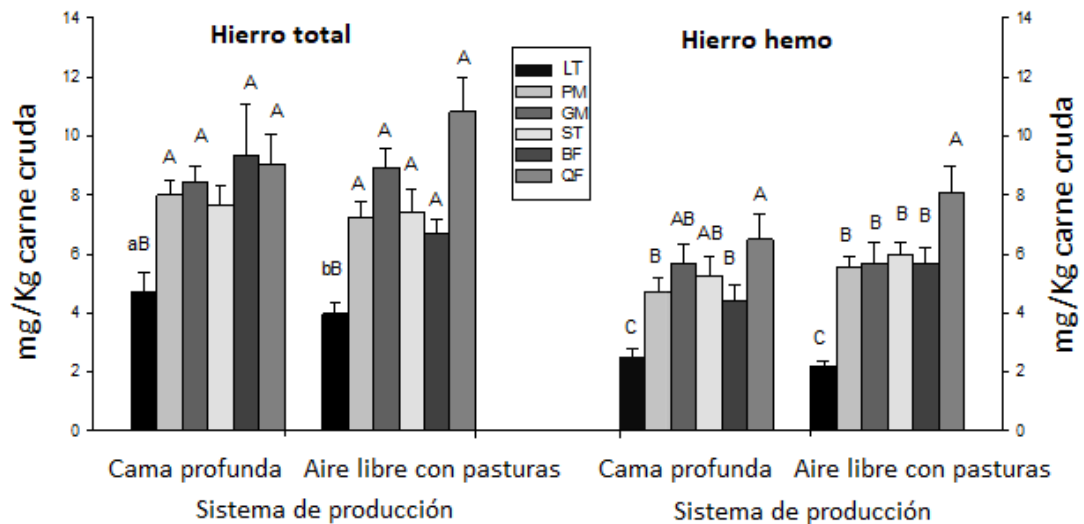
El aporte de Fe del *Trifolium pratense* fue importante con respecto a las demás especies vegetales, así como al concentrado. Ramos et al. (2007) informaron una mayor bioaccesibilidad de Fe en *Trifolium pratense* que en *Medicago sativa* y *Lotus corniculatus*. Respecto a la composición botánica, *Cichorium intybus* se observó en mayor porcentaje en peso (base seca). Esta especie vegetal tiene una gran aceptación por los cerdos y una mayor preferencia frente a las otras dos (Carballo, 2009).

El consumo de pasturas (MS) representó 1,6 % del PV de los animales en el sistema O durante el período de finalización. Rivero et al. (2019), en un trabajo de revisión, reportan niveles muy diferentes de consumo de pasturas dependiendo del tipo de especie vegetal, el nivel de suministro de concentrado, la raza del cerdo y el peso de los animales. La raza Pampa Rocha, generalmente, presenta un alto consumo de pasturas en relación con su peso.

7.6.2 Formas de hierro

El sistema de producción impactó sobre el contenido de hierro, particularmente el contenido de hierro biodisponible, el hierro hemo y la relación hierro hemo/hierro total, como se muestra en las figuras 6 y 7, pero sin efecto sobre el hierro total y el hierro no hemo. De hecho, se observó un mayor contenido de hierro hemo en la carne proviene del sistema O respecto a la proveniente del sistema I ($P < 0,04$). Los contenidos de hierro no se vieron afectados por el sexo de los cerdos.

Figura 6. Contenido de hierro total y hierro hemo en los músculos *longissimus thoracis* (LT), *psoas major* (PM), *gluteus medius* (GM), *semitendinosus* (ST), *biceps femoral* (BF) y *quadriceps femoris* (QF) de cerdos Pampa Rocha (hembras y machos) criados en I o O.



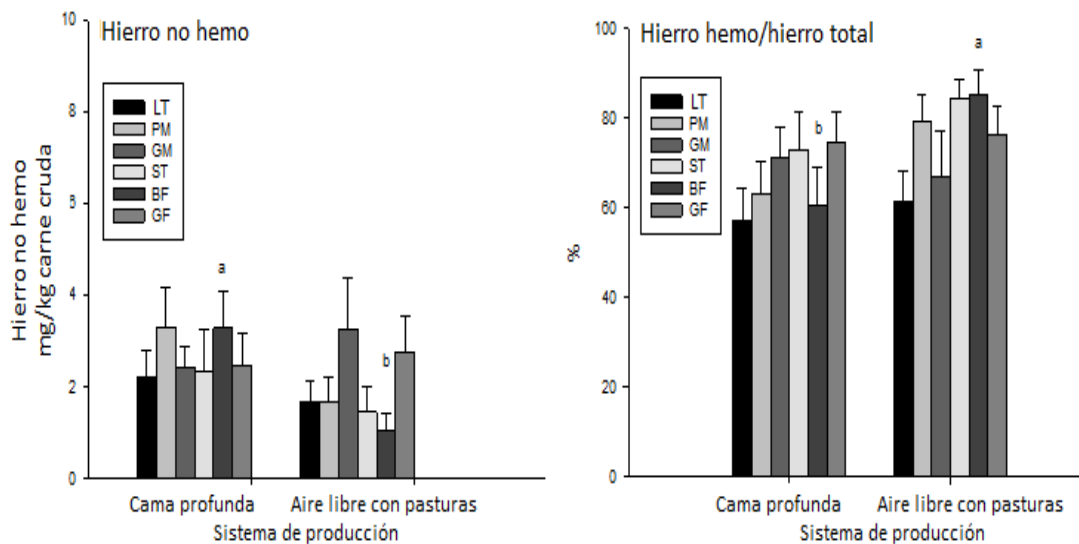
Los datos representan la media \pm SEM de n = 11-12. Los valores seguidos de letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre los sistemas de producción para cada músculo. Los valores seguidos de letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre músculos para cada sistema de producción.

Se observó un contenido de hierro total diferente cuando se estudiaron todos los músculos. El músculo LT mostró menor contenido de hierro total ($P < 0,001$) en relación con los otros músculos estudiados y también un menor contenido de hierro hemo ($P < 0,001$; 2,50 y 2,07 mg/kg carne cruda en O e I, respectivamente). Además, el contenido de hierro del LT fue mayor en los cerdos criados en I que en O (4,71 vs. 3,97 mg/kg de carne cruda, respectivamente). El músculo QF mostró los valores más altos de hierro hemo en ambos sistemas (8,08 y 6,50 mg/kg de carne cruda en O e I, respectivamente).

No se observaron diferencias entre sistemas, músculos o sexos para el contenido de hierro no hemo (figura 7). El contenido de hierro no hemo difirió solo en el músculo

BF y fue mayor en la carne de cerdo I que en la carne de cerdo O (3,64 frente a 1,27 mg/kg de carne cruda). Los valores promedio para el contenido de hierro no hemo fueron 2,05, 2,47 y 2,53 mg/kg de carne cruda para LT, PM y músculos de jamón, respectivamente. Finalmente, la relación Fe Hemo/Fe Total fue mayor en los cerdos O ($P < 0,02$) y no se observaron diferencias entre músculos ni sexos para esta relación (figura 7).

Figura 7. Contenido de hierro no hemo y % de hierro hemo/hierro total en *longissimus thoracis* (LT), *psaos major* (PM), *gluteus medius* (GM), *semitendinosus* (ST), *biceps femoral* (BF) y *quadriceps femoris* (QF) de cerdos Pampa Rocha criados en I o O.



Los datos representan la media \pm SEM de $n = 11-12$. Los valores seguidos de letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre los sistemas de producción para cada músculo.

El contenido de formas de hierro en la carne, como el hierro total y el hierro hemo, dependen de muchos factores como la raza, el tipo de músculo y la edad al momento del sacrificio (Cabrera et al., 2010). Trabajos previos (Lawrie y Ledward, 2006) han demostrado que la cantidad y la forma química de la mioglobina, el principal pigmento hemo, podría influir en las diferencias en la cantidad de hierro hemo en los músculos.

Los músculos más oxidativos, como PM, QF y los demás músculos del jamón estudiados en el presente trabajo, tienen un alto contenido de hierro relacionado a un alto contenido de mioglobina, que se maximiza con la actividad física de los animales (Ramos et al., 2012, Cabrera et al., 2017). El sistema al aire libre con pasturas (O) permite el movimiento libre de los animales y, por lo tanto, garantiza una mayor actividad física (figuras 6 y 7).

Comparando carne de diferentes especies, la carne de cerdo es más baja en hierro total y hemo en relación con la carne de res, por lo que este mayor contenido de hierro hemo observado en la carne proveniente de O es un valor agregado para esta raza local si se contemplan, además, los requerimientos de los niños. La carne Pampa Rocha aporta alrededor de 0,4-1,0 mg de Fe total en una porción de 100 g, contribuyendo con un 5-15 % de los valores dietéticos de referencia para niños (Hurrell y Egli, 2010). Cuando se trata de adultos, la carne de cerdo es la más indicada por un menor contenido de hierro, lo que evita, así, efectos negativos asociados con el alto contenido de hierro (Hsu et al., 2020).

Los datos sobre el contenido de formas de hierro informados por otros autores varían mucho en razas locales y comerciales (Tomović et al., 2019, Cheng et al., 2018, Palma-Granados et al., 2015, Zhao y Shuming, 2016). Los factores genéticos y las condiciones experimentales (sistema, dieta) y los músculos estudiados podrían explicar estas diferencias (Tomović et al., 2019, Ramos et al., 2012, Cabrera et al., 2010).

7.6.3 Macrominerales: Ca, Mg, Na y K

Para los músculos LT y PM, no se observaron diferencias entre ellos o entre sistemas en los contenidos de Ca, Mg, K (cuadro 10). El contenido de Na fue similar en ambos sistemas y fue diferente entre los músculos LT y PM, siendo mayor en este último (212,7 vs. 253,3 mg/kg de carne cruda). El contenido de Ca fue similar en ambos músculos y se situó en 42,36 mg/kg de carne cruda. Por otro lado, el contenido de Mg

fue de 257,8 mg/kg, en promedio, para LT y PM, con un mayor contenido de este mineral en hembras ($P < 0,05$). El contenido promedio de K fue de 3527 mg/kg de carne cruda en estos músculos. En trabajos previos (Cheng et al., 2018), informaron altos contenidos de Mg en el músculo LT, pero no proporcionaron detalles sobre el sexo.

Cuadro 10. Contenido de elementos traza y macro minerales en *longissimus thoracis* (LT) y *psoas major* (PM) de cerdos Pampa Rocha criados en cama profunda (I) o al aire libre con pasturas (O).

mg/kg carne cruda	Sistema de producción				Sis.	Mús.	Sex
	I		O				
	Músculo						
LT	PM	LT	PM				
Zn	11,78 ± 0,82	20,38 ± 2,13	10,68 ± 0,33	20,49 ± 1,79	ns	P=0,001 PM>LT	ns
Cu	1,59 ± 0,13	1,79 ± 0,12	1,43 ± 0,18	1,58 ± 0,21	ns	ns	ns
Mn	1,57 ± 0,27	1,37 ± 0,15	0,94 ± 0,31	1,12 ± 0,11	ns	ns	ns
Ca	44,83 ± 4,60	43,13 ± 4,91	44,24 ± 2,20	44,02 ± 2,41	ns	ns	ns
Mg	267,56 ± 14,98	254,26 ± 5,92	258,09 ± 7,43	250,96 ± 4,02	ns	ns	P=0,026 (h>m)
Na	225,47 ± 13,08	255,79 ± 15,17	199,90 ± 8,51	250,86 ± 10,25	ns	P=0,002 PM>LT	ns
K	3642 ± 238	3432 ± 96	3573 ± 108	3466 ± 81	ns	ns	ns

Los datos representan la media ± SEM de n = 11-12. Los efectos principales se analizaron mediante ANOVA GLM y prueba de Tukey-Kramer para los efectos del sistema, músculos y sexo (P < 0,05).

Para los músculos del jamón (cuadro 11), no se observaron diferencias entre sistemas o músculos para el contenido de macrominerales. El contenido promedio fue de 41,38, 219,28, 283,74 y 3724 mg/kg carne cruda, para Ca, Mg, Na y K, respectivamente. Es necesario considerar que estos músculos se industrializan juntos para su consumo.

Cuadro 11. Contenido de elementos traza y macro minerales en *gluteus medius* (GM), *semitendinosus* (ST), *biceps femoral* (BF) y *quadriceps femoris* (QF) de cerdos Pampa Rocha criados en cama profunda (I) o al aire libre con pasturas (O).

mg/kg carne cruda	I			
	Músculo			
	GM	ST	BF	QF
Zn	25,54 ± 2,86	25,71 ± 1,94	21,09 ± 3,15	24,16 ± 3,09
Cu	0,95 ± 0,10	0,96 ± 0,07	0,96 ± 0,08	0,99 ± 0,11
Mn*	0,035 ± 0,005	0,030 ± 0,003	0,031 ± 0,004	0,031 ± 0,004
Ca	41,16 ± 1,71	46,79 ± 4,62	43,52 ± 6,23	42,47 ± 3,89
Mg	198,44 ± 19,66	228,99 ± 14,94	202,19 ± 21,18	237,32 ± 12,49
Na	294,61 ± 30,08	331,60 ± 28,10	256,96 ± 13,58	294,58 ± 20,20
K	2939 ± 345	4137 ± 471	3083 ± 383	4031 ± 392
O				
	Músculo			
	GM	ST	BF	QF
Zn	28,79 ± 1,84	20,97 ± 2,50	20,46 ± 2,73	32,62 ± 4,95
Cu	1,21 ± 0,10	1,00 ± 0,09	0,96 ± 0,11	1,21 ± 0,11
Mn*	0,039 ± 0,003	0,029 ± 0,002	0,034 ± 0,003	0,039 ± 0,004
Ca	42,23 ± 5,28	37,72 ± 4,02	39,03 ± 2,57	39,14 ± 3,90
Mg	222,12 ± 16,82	211,42 ± 12,24	216,69 ± 10,31	230,44 ± 9,90
Na	335,39 ± 22,93	249,93 ± 15,38	265,29 ± 19,87	268,05 ± 20,39
K	3718 ± 368	3945 ± 310	3545 ± 305	4071 ± 300

Efectos principales: Sistema de producción ns; Músculo ns; Sex: * Mn: p = 0,042; m > h; Interacciones ns.

Los datos representan la media ± SEM de n = 11-12. Los efectos principales fueron analizados por ANOVA con procedimiento GLM y la prueba de Tukey-Kramer para sistema de producción, tipo de músculo y sexo (P < 0,05).

7.6.4 Minerales traza: Zn, Cu y Mn

Para el contenido de Zn, Cu y Mn, no se observó efecto de sistema o sexo (cuadro 10), pero la diferencia entre los músculos PM y LT para contenido de Zn fue significativa (P < 0,05), con valores de 20,43 y 11,23 mg/kg carne cruda, respectivamente. Para

estos músculos, el contenido promedio de Mn fue de 0,062 mg/kg de carne fresca. Varios autores han informado valores más altos para el contenido de Mn en la carne de cerdo en razas comerciales de cerdos criados en sistema intensivo (Untea et al., 2017) y para carne de cerdo disponible en mercados (Bilandžić et al., 2020). Para los músculos que componían el jamón, no se observaron diferencias entre sistemas de producción en el contenido de oligoelementos. Solo el contenido de Mn fue diferente entre machos y hembras (0,036 frente a 0,030 mg/kg de carne cruda, respectivamente). Nicolik et al. (2015) observaron contenidos de Zn de 15,8 y 15,2 mg/kg en jamón y lomo, respectivamente, de cerdos comerciales.

En cuanto al Cu, el contenido promedio fue de 1,51, 1,68 y 1,03 mg/kg de carne de LT, PM y músculos de jamón, respectivamente. Este contenido es alto en comparación con las cifras reportadas en otros trabajos (Bilandžić et al., 2020, Untea et al., 2017, Nicolik et al., 2015). Nicolik et al. (2015) informaron un contenido de Cu más bajo, y eso representa alrededor del 30-40 % del observado en este experimento. Por otro lado, el contenido de Cu fue similar al reportado en cerdos ibéricos en músculos LT y BF (Palma-Granados et al., 2015).

Chen et al. (2018) evaluaron el contenido de minerales en músculo LT en razas comerciales y su estudio reporta contenidos más bajos de Zn y Cu y más altos de Mn que el músculo GM de cerdos Pampa Rocha. La importancia de la carne Pampa Rocha es apreciable por la contribución de esta carne con las demandas de la nutrición humana. De hecho, 100 g de esta carne podrían aportar cantidades importantes de minerales: 1,1-3,3 mg Zn, 0,1-0,2 mg Cu, 4,0-4,5 mg Ca, 19,8-26,8 mg Mg, 20,0-33,5 mg Na, 343-414 mg K, y 0,4 a 1,1 mg de Fe. Teniendo en cuenta las necesidades de los niños de 1 a 3 años, 100 g de carne Pampa Rocha representan, aproximadamente, el 100 % del Zn y el 20 % del Cu, Mg y K requeridos. La falta de micronutrientes como oligoelementos, hierro y zinc es frecuente en muchos países (Martínez-Villegas y Baptista-González et al., 2019) y este conocimiento contribuye a apoyar las estrategias basadas en alimentos para eliminar la anemia que afecta a los niños en edad preescolar.

Es difícil hacer una comparación correcta y generalizar respecto al contenido de minerales entre el Pampa Rocha y otras razas porque, aunque hay muchos reportes, el ambiente, la alimentación, las razas, la edad y el manejo son diferentes. Considerando todos los elementos minerales determinados en este estudio, la carne de cerdo Pampa Rocha producida en sistemas I y O mostró niveles interesantes de aporte mineral a la nutrición humana. Para el hierro, ofrece un interés particular la cría en O y esto agrega un valor particular a esta proteína animal producida en un sistema amigable, que contempla exigencias de los nuevos consumidores. En un estudio realizado por diversas instituciones sobre el aporte nutricional de la carne de pollo (*Gallus gallus domesticus*) y cerdo producida en Uruguay, se determinó el contenido de algunos minerales en diferentes músculos provenientes de diversas industrias (Capra et al., 2017). Los contenidos (mg/100 g) de Fe, Zn, Na, Mg y K encontrados fueron los siguientes: < 0,75, 1,45, 39, 25 y 398 en LT; 1.08, 1.88, 47, 26 y 410 en PM; y 0,89, 1,86, 45, 25 y 390 en jamón.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, la carne de cerdo Pampa Rocha, producida en dos sistemas alternativos al intensivo, O e I en cama profunda, presenta un contenido de minerales similar a la carne que se ofrece en el mercado nacional de razas comerciales. En cuanto al efecto del consumo de pastura sobre el contenido de minerales, este no se observó, pero el efecto de la actividad física podría explicar el mayor Fe hemo en la carne producida en el sistema O.

La carne producida en O con pasturas es más saludable, ya que la relación FeHemo/FeTotal es mayor, siendo una buena forma de promover y agregar valor nutricional a esta raza local, considerando su importancia para prevenir la anemia ferropénica. Las consecuencias de esta anemia, especialmente en niños menores de 5 años, incluyen una función inmunológica y una respuesta a la vacunación deficientes, y la anemia moderada se asocia con un neurodesarrollo deprimido y un rendimiento cognitivo y académico deteriorado (Chourraqui, 2022). Además, los ácidos mirístico, palmítico y araquidónico, con efectos aterogénicos, están presentes en porcentajes significativamente más bajos en la carne (Mernies et al., 2012). Estas características,

sumadas al adecuado contenido de sodio y potasio en esta carne, particularmente en el músculo LT, son muy importantes para prevenir enfermedades cardiovasculares e hipertensión arterial (Nelson y Raskin, 2019).

7.7 CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos, es posible producir carne de cerdos Pampa Rocha con interesantes contenidos minerales, en dos sistemas alternativos al confinamiento clásico. Este cerdo, por sus características de raza local, está más adaptado al sistema O, en el que produce una carne más sana, mejorando además la eficiencia de conversión del concentrado. En el sistema de cama profunda se logró obtener animales para sacrificio en menor tiempo sin afectar las características de la canal, por ejemplo, el espesor de la grasa dorsal (ver apartado resultados productivos).

Podría ser interesante explotar algunas diferencias encontradas entre los músculos, que normalmente se consumen como carne fresca. Particularmente, el PM que presentó mayores contenidos de Zn y Na. Estos resultados muestran que las características del contenido mineral en los músculos de Pampa Rocha se adaptan a las diferentes demandas de la nutrición humana y, además, la cria en sistemas O que incluyan pasturas es una buena forma de promover y agregar valor nutricional a esta raza local, junto a otras características de esta carne.

8. CONSIDERACIONES FINALES

El análisis productivo arrojó resultados esperados, una menor ganancia diaria, mejor eficiencia de conversión del concentrado en animales criados sobre pasturas, sin afectar el rendimiento. La menor actividad física de los animales en cama profunda permitió llegar antes al peso de faena.

Si bien se obtuvo un descenso normal del pH en carne proveniente de ambos sistemas, los valores de pH fueron significativamente más altos en animales de cama profunda.

Los niveles de glucógeno, mayores en carne de pasturas, podrían explicar estos resultados. Se podría asociar mayores niveles de glucógeno al menor estrés de los cerdos durante la etapa de terminación. Las diferencias en valores de pH entre sistema desaparecen cuando se analiza el pH último (24 h *post mortem*). El músculo LT mostró valores de pH más altos, lo cual es esperable considerando las diferencias musculares. La maduración durante 7 días en condiciones refrigeradas no afectó los valores de pH.

En cuanto a la pérdida de agua, animales provenientes del sistema sobre pasturas y el músculo LT mostraron mayores porcentajes de pérdida por goteo. Para esta variable se observó además efecto del sexo, siendo mayor para las hembras. El efecto de la maduración para la pérdida de agua se observó solamente en animales provenientes del sistema en pasturas.

A las 24 h *post mortem*, la carne de pasturas fue más oscura y el PM fue más oscuro y rojo que el LT. La maduración provocó una carne más roja y amarilla. Comparando con datos nacionales, la carne de cerdo Pampa Rocha es más oscura y roja.

El contenido de glucógeno y lactato no se vio afectado por el sistema de producción, el tipo de músculo o el sexo de los animales. A medida que transcurrió el tiempo de medición, el glucógeno disminuyó y el lactato aumentó, entre los 60 min y 24 h *post mortem*.

Los niveles de oxidación lipídica y proteica no se diferenciaron entre los sistemas de producción, pero sí entre músculos, siendo mayor para el PM.

En cuanto al estudio de ácidos grasos, el músculo PM mostró un mayor contenido total que el LT, sin diferencias entre sistemas. Respecto al perfil, solamente se diferenciaron (los sistemas) en el contenido de ácido miristoleico, mayor en carne de cerdos sobre pasturas. El músculo LT mostró un mayor contenido de MUFA.

La relación n6/n3 fue mayor en la carne proveniente del sistema confinado en cama profunda, diferencia explicada por el músculo PM. El sistema al aire libre con pasturas tiene una ligera mejora en el perfil de ácidos grasos en este cerdo local, particularmente con el ácido alfa-linolénico (C18:3n-3) en *longissimus thoracis*, y una menor relación n-6/n-3 en la carne de los cerdos criados al aire libre con pasturas.

La composición botánica y el contenido mineral de las diferentes especies vegetales variaron con la fecha de muestreo. Según los resultados, se destaca el alto aporte de Fe y Mn (mg/kg MS) de la pastura en comparación con el concentrado. Por otro lado, el concentrado presentó altos niveles de Cu, Zn y Mg en comparación con las tres especies vegetales que componían la mezcla. En general, el raigrás presentó menores contenidos de Fe, Mn, Cu y Zn.

El sistema de producción impactó sobre el contenido de hierro, particularmente el contenido de hierro biodisponible, siendo mayor el hierro hemo y la relación hierro hemo/hierro total en carne producida sobre pasturas. El contenido de hierro total fue diferente según el músculo.

Considerando todos los elementos minerales determinados en este estudio, la carne de cerdo Pampa Rocha producida en ambos sistemas mostró niveles interesantes de aporte mineral a la nutrición humana. Para el hierro, ofrece un interés particular la cría sobre pasturas y esto agrega un valor particular a esta proteína animal producida en un sistema amigable, que contempla exigencias de los nuevos consumidores. En cuanto al efecto del consumo de pastura sobre el contenido de minerales, este no se observó, pero el efecto de la actividad física podría explicar el mayor Fe hemo en la carne producida en el sistema a campo.

9. CONCLUSIONES GENERALES

Respecto a los parámetros productivos, si bien la ganancia de peso y peso final de los cerdos fue menor en el sistema al aire libre, la inclusión de pasturas junto a una

restricción en el concentrado permitió mejorar la eficiencia de conversión del mismo. En ambos sistemas, la carne fue adecuada en cuanto a parámetros tecnológicos (pH, pérdida por goteo, color), estando más influenciados estos parámetros por el tipo de músculo. En este sentido, la cría al aire libre provocó mayores pérdidas de agua por goteo, parámetro que, además, mostró diferencias entre sexos, siendo mayor en hembras. Cuando se comparan los músculos LT y PM, se observan diferencias en el pH, pérdida por goteo, color, contenido de glucógeno y oxidación de lípidos, cuyo comportamiento también varía durante la maduración dependiendo del músculo.

El perfil de ácidos grasos tanto en el músculo LT como en el PM es adecuado para el consumo humano e interesante por sus índices de salud y la proporción de los diferentes ácidos grasos que se encuentran presentes en cada uno de los músculos. El sistema de producción afectó en menor proporción el perfil lipídico, dependiendo más del tipo de músculo. El sistema al aire libre con pasturas mejora el contenido de ácido alfa-linolénico (C18:3n-3) en *longissimus thoracis* y mantiene una menor relación n-6/n-3, siendo favorable desde el punto de vista de la salud humana.

Respecto al contenido mineral, se podría profundizar el estudio respecto a minerales de interés, considerando, además, las diferencias entre músculos. En este sentido, el PM presentó mayores contenidos de Zn y Na.

Los resultados muestran que las características de la carne de cerdo Pampa Rocha producida en ambos sistemas se adaptan a las diferentes demandas de la nutrición humana. Por otro lado, la cría en sistemas que incluyan pasturas es una buena forma de promover y agregar valor nutricional a esta raza local, junto a otras características de esta carne.

10. PERSPECTIVAS E IMPLICANCIAS DEL TRABAJO

Este trabajo aporta información novedosa respecto a la carne de cerdo Pampa Rocha, que podría ser de interés para productores e industriales, así como también para consumidores, en principio locales.

Por otro lado, la demanda de carne de cerdo en el mundo continúa en aumento, por lo que Uruguay podría ser, en algún momento, país exportador. Esta situación podría abrir nuevos nichos de mercado, pensando en consumidores más exigentes desde el punto de vista de la inocuidad de los alimentos y los sistemas que los producen.

Los sistemas utilizados en este trabajo son alternativos al sistema intensivo en confinamiento, que provee un porcentaje muy importante de carne en el mundo, pero que tiene también sus cuestionamientos. Las normativas internacionales (productivas y comerciales) ponen bajo la lupa de forma cada vez más importante el impacto que tienen estos sistemas intensivos sobre la salud humana por el elevado uso de antibióticos que es necesario utilizar debido a la alta carga animal y a la intensificación. A esto se suman los cuestionamientos de los consumidores, que valoran cada vez más el tipo de sistema en el cual fue mantenido el animal que produce carne.

La información respecto a un producto genera un valor potencial que se convierte en un valor agregado cuando llega a toda la cadena, desde el productor hasta el consumidor. Valorizar los productos provenientes de recursos criollos es la principal herramienta para evitar su desaparición.

Por último, pero no menos importante, este trabajo permitió continuar formando investigadores, ajustando técnicas y generando lazos interdisciplinarios e interinstitucionales, lo cual demuestra que el trabajo en conjunto es lo que permite avanzar en la generación de información.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abeledo C, Santana I, Pérez I, Brache F. 2004. Rasgos de comportamiento y canal de cerdos criollo y CC21 alimentados con palmiche como única fuente de energía. [En línea]. Revista Computadorizada de Producción Porcina, 11: 96-104. Consultado 20 de noviembre de 2020. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/1930/193060591006/193060591006.pdf>.
- Adzitey F, Nurul H. 2010. Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: causes and measures to reduce these incidences – a mini review. International Food Research Journal. 18: 11-20.
- Amaya S, Aguilar E. 2012. Saberes locales; tradición e innovación: el caso del jamón ibérico de bellota. Revista Nuevas Tendencias en Antropología. 3: 109 - 136.
- Anderson BA. 1976. Comprehensive evaluation of fatty acids in foods. VII. Pork products. Journal of the American Dietetic Association. 69(1): 44-4.
- Apple JK, Maxwell CV, Galloway DL, Hutchison S, Hamilt CR. 2009. Interactive effects of dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine: I. Growth performance and longissimus muscle fatty acid composition. [En línea]. Journal of Animal Science 87(4): 1407-1422. doi:10.2527/jas.2008-1453.
- Araújo JP, Cerqueira JL, Pires P, Amorin I, Carneiro M, Santos Silva J, Domínguez R, Bermúdez R, Lorenzo JM. 2018. Influencia del sistema de producción en la calidad de la canal de cerdos de raza Bísara. Archivos de Zootecnia. 67(260): 554-559.
- Auqui SM, Egea M, Peñaranda I, Garrido MD, Linares MB. 2019. Rustic Chato Murciano pig breed: Effect of the weight on carcass and meat quality. [En línea]. Meat Science. 156: 105-110. doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.05.022.
- Babicz M, Kasprzyk A. 2019. Comparative analysis of the mineral composition in the meat of wild boar and domestic pig. [En línea]. Italian Journal of Animal Science. 18(1): 1013-1020. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2019.1610337>.
- Barana C, Tomomi H, Kyu-Ho Han, Hiroshi I, Tomoko O, Shinichi S, Michihiro F, Mitsuo S, Ken-ichiro S. 2011. Utilization of adzuki bean extract as a natural

- antioxidant in cured and uncured cooked pork sausages. *Meat Science*. 89: 150-153.
- Barlocco N, Carballo C, Vadell A. 2007. Rasgos de comportamiento productivo y características de canal de tres biotipos de cerdos en condiciones de producción a campo. *Agrociencia*. Volumen Especial, IX Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos: 35-39.
- Bava L, Zucali M, Sandrucci A, Tamburini, A. 2017. Environmental impact of the typical heavy pig production in Italy. [En línea]. *Journal of Cleaner Production*. 140: 685-691. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.029>.
- Bergmeyer HV, Bernt E. 1974. Amylo -1.6-glycosidase for the determination of glycogen. In: Bergmeyer, H.V., Ed., *Methods of Enzymatic Analysis*, Vol. 3, Academic Press, New York, London, 1127.
- Bidner TD, Schupp AR, Mohamad AB, Rumore NC, Montgomery RE, Bagley CP. 1986. Acceptability of beef from Angus-Hereford or Angus-Hereford-Brahman steers finished on all-forage or a high energy diet. *Journal of Animal Science*. 63: 381-387.
- Bilandžić N, Sedak M, Čalopek B, Đokić M, Varenina, I, Solomun-Kolanović B, Božić-Luburić D, Varga I, Roncarati A. 2020. Evaluation of element concentrations in beef and pork meat cuts available to the population in the Croatian capital. [En línea]. *Foods*. 9(12): 1861. <https://doi.org/10.3390/foods9121861>.
- Blumetto OR, Calvet S, Estellés F, Villagrà A. 2013. Comparision of extensive and intensive pig production system in Uruguay in terms of ethologic, physiologic and meat quality parameters. [En línea]. *Revista Brasileira de Zootecnia* 42(7): 521-529. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982013000700009>.
- Boakye K. 1993. Changes in pH and water holding properties of Longissimus dorsi muscle during beef ageing. *Meat Science*. 34: 335-349.
- Boff S. 2008. A fibra muscular e fatores que interferem no seu fenotipo. [En línea]. *Acta Fisiatría*. 15(2): 111-116. doi: 10.11606/issn.2317-0190.v15i2a102923.

- Boler D, Gabriel S, Yang H, Balsbaugh R, Mahan D, Brewer M, Mc Keith F, Killefer J. 2009. Effect of different dietary levels of natural-source vitamin E in grow-finish pigs on pork quality and shelf life. *Meat Science*. 83: 723-730.
- Borosky JC, Rocha MA, Oba A, Pinheiro JW, Bridi AM, Silva CA. 2010. Características das fibras musculares do L. dorsi e qualidade da carne de suínos de quatro linhagens. *Archivos de Zootecnia*. 59(226): 277-286.
- Brewe MS. 2014. Chemical and physical characteristics of meat. I Water-Holding Capacity Reference Module in Food Science. *Encyclopedia of Meat Sciences* (second edition). pp. 274-282.
- Buckley D, Morrissey P, Gray I. 1995. Influence of dietary vitamin E on the oxidative stability and quality of pig meat. *Journal of Animal Science*. 73: 3122-3130.
- Bučko O, Křížová Z, Lehotayová A, Vavrišínová K, Juhás P. 2016. The effect of added organic selenium on nutritional value, chemical and technological quality characteristics of pork. [En línea]. *Journal of Central European Agriculture*. 17(3): 585-597. doi: 10.5513/JCEA01/17.3.31747.
- Burgos-Serrano C, Llambí S, Hidalgo J, Montenegro M, Arruga V, López-Buesa P. 2019. Marcadores de selección en cerdos Pampa Rocha: comparación con razas autóctonas de España y Portugal. [En línea]. *Revista MVZ Córdoba*. 24(2): 7198-7202. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1642>.
- Cabana J. 2010. Importancia del bienestar animal en la decisión de compra de carne fresca de cerdo. [En línea]. 10 de setiembre de 2011. 63 pp. <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9615/1/memoria.pdf>
- Cabrera MC, Terevinto A, Zaccari F, Felice A, Saadoun A. 2017 Micronutrients of beef meat from pasture and concentrated based production systems. *Proceeding 63 International Congress of Meat Science and Technology*. Cork, 08/13-18-17, Ireland. Pp. 301-302. 2017.
- Cabrera MC, 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. [En línea]. *Meat Science*. 84(3): 518-528. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.10.007>.

- Cabrera MC, 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 cruza en un sistema en base a pastura. *Agrociencia. Volumen Especial IX Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos*: 105-108.
- Calvo L, Toldrá F, Rodríguez AI, López-Bote C, Rey A. 2017. Effect of dietary selenium source (organic vs. mineral) and muscle pH on meat quality characteristics of pigs. [En línea]. *Food Science and Nutrition*. 5(1): 94-102. doi: 10.1002/fsn3.368.
- Camacho C, Arechavaleta M, Braña D, Ramírez F. 2013. Factores genéticos que influyen en la calidad de la carne de cerdo. *Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. Folleto técnico. N.º 32*. 31 pp.
- Capra G, Salle L, Martínez R, Cozzano S, Márquez R, Luzardo S, Costas G, Brito G, De Souza G, Nardo D. 2017. Valor nutritivo de las carnes de cerdo y pollo producidas en Uruguay. [En línea]. Universidad Católica del Uruguay (UCU), Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Instituto Nacional de Carnes (INAC), Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU). <https://www.inac.uy/innovaportal/file/15152/1/resumen-cerdo-y-avo.pdf>. Último acceso. 02/02/2022.
- Capra G, Repiso L, Fradiletti F, Martínez R, Cozzano S, Márquez R. 2013. Valor nutritivo de la carne de cerdo. *INIA*. 32: 20-23.
- Carballo C, Terevinto A, Barlocco N, Saadoun A, Cabrera, MC. 2017. pH, drip loss, color, lipids and protein oxidation of meat from Pampa-Rocha and crossbreed pigs produced outdoor in Uruguay. [En línea]. *Journal of Food and Nutrition Research*. 5(5): 342-346. doi:10.12691/jfnr-5-5-9.
- Carballo C. 2013. Oxidación lipídica y proteica de la carne de cerdos Pampa Rocha producidos sobre pasturas. Tesis de maestría. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. 51 p.
- Carballo C. 2009. Evaluación de tres biotipos de cerdos en la etapa de posdestete-recría en un sistema pastoril. Universidad de la República (Uruguay). Facultad

- de Agronomía. Tesis de grado. 49 pp. 2009.
https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/23853/1/TTS_CarballoS%c3%a1nchezCeciliaSoledad.pdf.
- Carpenter R, O'Grady M, O'Callaghan Y, O'Brien N, Kerry J. 2007. Evaluation of the antioxidant potential of grape seed and bearberry extracts in raw and cooked pork. *Meat Science*. 76: 604-610.
- Carpinetti B, Di Guirolamo G, Delgado JV, Martínez RD. 2016. El Cerdo Criollo Costero: valioso recurso zoogenético local de la provincia de Buenos Aires, Argentina. [En línea]. *Archivos de Zootecnia*. 65(251): 403-407.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49549092018>.
- Cervieri V, Rovira F, Castro L. 2010. Bienestar Animal. Su rol en la producción de carne de calidad. En: Instituto Nacional de Carnes (INAC). Serie Técnica n.º 47. Montevideo, Uruguay. 136 p.
- Cheng YF, Chen YP, Du MF, Wen C, Zhou YM. 2018. Evaluation of dietary symbiotic supplementation on growth performance, muscle antioxidant ability and mineral accumulations, and meat quality in late-finishing pigs. [En línea]. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi*. 24(5): 673-679.
https://vetdergikafkas.org/uploads/pdf/pdf_KVFD_2393.pdf. Último acceso. 10/10/2022.
- Choe J, Jang A, Lee E, Choi J, Choi Y, Han D, Kim H, Lee M, Shim S, Kim C. 2011. Oxidative and color stability of cooked ground pork containing lotus leaf (*Nelumbo nucifera*) and barley leaf (*Hordeum vulgare*) powder during refrigerated storage. *Meat Science*. 87: 12-18.
- Chourraqui JP. 2022. Dietary approaches to iron deficiency prevention in childhood - A Critical public health issue. [En línea]. *Nutrition*. 14: 1604.
<https://doi.org/10.3390/nu14081604>.
- Chowdhury R, Warnakula S, Kunutsor S, Crowe F, Ward HA, Johnson L, Franco OH, Butterworth AS, Forouhi NG, Thompson SG. 2014. Association of dietary, circulating, and supplement fatty acids with coronary risk: a systematic review and meta-analysis. [En línea]. *Annals of Internal Medicine*. 160(6): 398-406.
<https://doi.org/10.7326/M13-1788>.

- Clark B, Stewart G, Panzone L, Kyriazakis I, Frewer L 2017. Citizens, consumers and farm animal welfare: A meta-analysis of willingness-to-pay studies. [En línea]. Food Policy. 68: 112-127. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.01.006>.
- Cobanovic N, Karabasil N, Stajkovic S, Ilic N, Suvajdzic B, Petrovic M, Teodorovic V. 2016. The influence of pre-mortem conditions on pale, soft and exudative (PSE) and dark, firm and dry (DFD) pork meat. [En línea]. Acta Veterinaria. 66(2): 172-186. doi: 10.1515/acve-2016-0015.
- Cruz E, Almaguel RE, Mederos CM, González-Araujo C. 2009. Sistema de cama profunda en la producción porcina a pequeña escala. Revista Científica FCV-LUZ. XIX(5): 495-499.
- Da Silva, A. 2022. Enriquecimiento de la carne de ave con ácidos grasos poliinsaturados de la serie n-3 utilizando ingeniería nutricional. Tesis de maestría. Montevideo, Uruguay. Facultad de Ciencias. Universidad de la República. 71 p.
- Dang HD, Thanh-Tran G. 2020. Explaining consumers' intention for traceable pork regarding animal disease: The role of food safety concern, risk perception, trust and habit. [En línea]. International Journal of Food Science. 2020:e8831356. <https://doi.org/10.1155/2020/8831356>.
- Danish Food Informatics. Danish Food Composition Database. Último acceso: 3 de enero de 2022. [En línea] Disponible en: http://toolbox.foodcomp.info/ToolBox_FattyAcids.asp.
- Dawkins MS. 2017. Animal welfare and efficient farming: is conflict inevitable? Animal Production Science. 57(2): 201-208.
- Daza A, Rey AI, Olivares A, Cordero G, Toldrá F, López-Bote CJ. 2009. Physical activity-induced alterations on tissue lipid composition and lipid metabolism in fattening pigs. Meat Science. 81: 641-646.
- Del Puerto M, Gigante S, Terevinto A, Cabrera MC, Saadoun A. 2021. Oxidative, antioxidant, selenium status, and consumers' acceptability of poultry meat enriched with selenium by dietary supplementation. Archivos de Zootecnia. 70(271): 292-302.

- Del Puerto M, Cabrera MC, Saadoun A. 2017. A note on fatty acids profile of meat from broiler chickens supplemented with inorganic or organic selenium. [En línea]. *International Journal of Food Science*. Article ID 7613069, 8 pp. <https://doi.org/10.1155/2017/7613069>.
- Descalzo A, Sancho A. 2008. A review of natural antioxidants and their effects on oxidative status, odor and quality of fresh beef produced in Argentina. *Meat Science*. 79: 423-436.
- De Oliveira E, Dall' Olio S, Tassone F, Arduini A, Costa L. 2018. The effect of stress immediately prior to stunning on proglycogen, macroglycogen, lactate and meat quality traits in different pig breeds. *Italian Journal of Animal Science*. 17(4): 879-883.
- Depres E, Naves M, Tamisier F, Xande A, Rinaldo, D. 1994. Growth performance and meat quality of large white and local pigs reared in the tropics. *Livestock Research for Rural Development*. 6, np.
- Dostálova A, Svitáková A, Bures D, Valis L, Volek Z. 2020. Effect of an outdoor access system on the growth performance, carcass characteristics, and Longissimus lumborum muscle meat quality of the Prestice Black-Pied pig breed. [En línea]. *Animals*. 10(8): 1244. doi:10.3390/ani10081244.
- D'Souza DN, Pethick DW, Dunshea FR, Suster D, Pluske JR, Mullan BP. 2004. The pattern of fat and lean muscle tissue deposition differs in the different pork primal cuts of female pigs during the finisher growth phase. *Livestock Production Science*. 91: 1-8.
- Dugan MER, Vahmani P, Turner TD, Mapiye C, Juárez M, Prieto N, Beaulieu AD, Zijlstra RT, Patience JF, Aalhus J. 2015. Pork as a source of omega-3 (n-3) fatty acids. [En línea]. *Journal of Clinical Medicine*. 4: 1999-2011. doi:10.3390/jcm4121956.
- Dunne PG, Monahan FJ, O'Mara FP, Moloney AP. 2009. Colour of bovine subcutaneous adipose tissue: A review of contributory factors, associations with carcass and meat quality and its potential utility in authentication of dietary history. [En línea]. *Meat Science*. 81(1): 28-45. doi: 10.1016/j.meatsci.2008.06.013.

- Echenique A, Repiso L, Capra G. 2009. Composición química y calidad sensorial de jamones curados provenientes de cerdos alimentados con una dieta rica en ácido oleico y pasturas. *Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay*. 4: 28-32.
- Echenique A, Capra G. 2007. Caracterización de los requerimientos de calidad de carne de cerdo por parte de las Industrias Cárnicas Porcinas del Uruguay. INIA, Serie FPTA (Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria) n.º 220, 36 p.
- Echenique A, Capra, G. 2006. Diagnóstico de situación de la calidad de carne porcina para consumo fresco en el Uruguay. Serie Técnica INIA, vol. 160, pp. 1-38.
- Eder K. 1995. Gas chromatographic analysis of fatty acid methyl esters. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*. 671(1-2): 113-131.
- Enfalt AC, Lundstrom K, Hansson NL, Nystrom PE. 1997. Effect of outdoor rearing and sire breed (Duroc or Yorkshie) on carcass composition and sensory and Technological meat quality. [En línea]. *Meat Science*. 45(1): 1-15. doi.org/10.1016/S0309-1740(96)00101-5.
- England EM, Matarneh SK, Oliver EM, Apaoblaza A, Scheffler TL, Shi H, Gerrard DE. 2016. Excess glycogen does not resolve high ultimate pH of oxidative muscle. [En línea]. *Meat Science*. 114: 95-102. doi: 10.1016/j.meatsci.2015.10.010.
- Enser M, Richardson R, Wood J, Gill B, Sheard P. 2000. Feeding linseed to increase the n-3 PUFA of pork: fatty acid composition of muscle, adipose tissue, liver and sausages. *Meat Science*. 55: 201-212.
- Espino N. 2022. Implicancia del selenio, orgánico e inorgánico, en la composición de los ácidos grasos y en la resistencia a la oxidación del músculo Longissimus dorsi del cerdo Pampa Rocha. Tesis de maestría. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. 81 p.
- Estévez M, Morcuende D, Cava R. 2003. Physico-chemical characteristics of M. Longissimus dorsi from three lines of free-range reared Iberian pigs slaughtered at 90kg live-weight and comercial pigs: a comparative study. *Meat Science*. 64: 499-506.

- Faucitano L, Ielo MC, Ster C, Lo Fiego DP, Methot S, Saucier L. 2010. Shelf life of pork from five different quality classes. [En línea]. *Meat Science*. 84(3): 466 - 469. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.09.017>.
- Figueroa-Velasco JL, Cervantes Ramírez M, Cuca García JM, Méndez López M. 2004. Respuesta de cerdos en crecimiento y finalización a dietas con baja proteína y energía. *Agrociencia*. 38(4): 383-394.
- Folch J, Lees M, Sloane-Stanley GH. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipid from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*. 226(1): 497-509.
- Font-i-Furnols M, Brun A, Gispert M. 2019. Intramuscular fat content in different muscles, locations, weights and genotype-sexes and its prediction in live pigs with computed tomography. *Animal*. 13(3): 666-674.
- Fruet A, De Mello A, Trombetta F, Stefanello FS, Speroni CS, De Vargas DP, De Souza AN, Rosado Junior AG, Tonetto CJ, Nomberg JL. 2018. Oxidative stability of beef from steers finished exclusively with concentrate, supplemented, or on legume-grass pasture. *Meat Science*. Accepted Manuscript. doi: 10.1016/j.meatsci.2018.06.015.
- Gan M, Shen L, Chen L, Jiang D, Jiang Y, Li Q, Chen Y, Ge G, Liu Y, Xu X, Li X, Zhang S, Zhu L. 2020. Meat quality, amino acid, and fatty acid composition of Liangshan pigs at different weights. [En línea]. *Animals*. 10(5): 822. doi: 10.3390/ani10050822.
- Garibaldi L, Anderson G, Fernández-Ferrari C, Pérez-Méndez N. 2018. Seguridad alimentaria, medio ambiente y nuestros hábitos de consumo. *Ecología Austral*. 28(3): 572-580.
- Gatellier P, Mercier Y, Rennerre, M. 2004. Effect of diet finishing mode (pasture or mixed diet) on antioxidant status of Charolais bovine meat. *Meat Science*. 67(3): 385-394.
- Gentry JG, McGlone JJ, Miller MF, Blanton, JR. 2004. Environmental effects on pig performance, meat quality, and muscle characteristics. [En línea]. *Journal of Animal Science*. 82(1): 209-217. <https://doi.org/10.2527/2004.821209x>.

- González A, Figueroa V, Batista C, Casal A, Álvarez A, Saadoun A, Astigarraga L. 2020. Inclusión de forrajes con distinta relación de fibra soluble e insoluble en la dieta de cerdos. [En línea]. Archivos de Zootecnia. 69(268): 424-431. doi: <https://doi.org/10.21071/az.v69i268.5390>.
- González J, Jaume J, Fábrega E, Gispert M, Gil M, Oliver A, Llonch P, Guardia MD, Realini CE, Arnau J, Tibau J. 2013. Majorcan Black Pig as a traditional pork production system: Improvements in slaughterhouse procedures and elaboration of pork carpaccio as an alternative product. Meat Science. 95(3): 727-732.
- Graziotti G, Rodríguez Menéndez J, Ríos CM, Salinas M, Bosco A, Paltenghi Ceschel A, Affricano NO, Basso L. 2007. Impacto de la arquitectura muscular en la toma de muestras para evaluar la calidad de carne. Agrociencia. Volumen Especial, IX Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos: 115-119.
- Graziotti G, Ríos C, Basso L. 2000. Skeletal muscle fibres and pork production. Revista Argentina de Producción Animal. 20(2): 145-159.
- Greenfield H, Southgate DA. 2003. Food composition data: production; management; and use. Food & Agriculture Organization. 2003. 288 p. ISBN: 9251049491. [En línea] Disponible en: <https://www.fao.org/3/y4705e/y4705E22.htm>. Último acceso. 09/10/22.
- Grompone M, Irigaray B, Gil M. 2006. Estudio del exudado de aceite en salamines en función de las propiedades de la grasa utilizada. Revista Aceites y Grasas. Tomo XVI. 62(1).
- Guerrero A, Sañudo C, Albertí P, Ripoll G, Campo MM, Olleta JL, Panea B, Khliji S, Santolaria P. 2013. Effect of production system before the finishing period on carcass, meat and fat qualities of beef. Animal. 7(12): 2063-2072.
- Hajji H, Joy M, Ripoll G, Smeti S, Mekki I, Molino Gahete F, Mahouachi M. 2016. Meat physicochemical properties, fatty acid profile, lipid oxidation and sensory characteristics from three North African lamb breeds, as influenced by concentrate or pasture finishing diets. [En línea]. Journal of Food composition and Analysis. 48: 102-110. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2016.02.011>.

- Hernández J, Ríos F. 2010. ¿Calidad de carne o carne de calidad? *Nacameh*. 4(1): 1-10.
- Hernández P, Zomeño L, Ariño B, Blasco A. 2004. Antioxidant, lipolytic and proteolytic enzyme activities in pork meat from different genotypes. *Meat Science*. 66: 525-529.
- Herold P, Roessler R, Willam A, Momm H, Valle Zárata A. 2010. Breeding and supply chain systems incorporating local pig breeds form small-scale pig producers in Northwest Vietnam. *Livestock Science*. 129(1-3): 63-72. doi:10.1016/j.livsci.2010.01.004.
- Hoffman DM. 1994. What is Quality? Definitions, measurement and evaluation of meat quality. *Meat Focus International*. 3: 73-82.
- Honeyman MS. 2005. Extensive bedded indoor and outdoor pig production systems in USA: current trends and effects on animal care and product quality. *Livestock Production Science*. 94(1-2): 15-24.
- Honikel K. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics. *Meat Science*. 49(4): 447-457.
- Hornsey H. 1956. The colour of cooked cured pork. I. - Estimation of the Nitric oxide-Haem Pigments. *Journal of Science Food and Agriculture*. 7(8): 534-540.
- Houben JH, Eikelenboom G, Hoving-Bolink AH. 1998. Effect of the dietary supplementation with vitamin E on colour stability and lipid oxidation in packaged, minced pork. *Meat Science*. 48(3-4): 265-273.
- Howe P, Meyer B, Record S, Baghurst K. 2005. Dietary intake of long-chain ω -3 polyunsaturated fatty acids: contribution of meat sources. *Nutrition*. 22: 47-53.
- Hsu MY, Mina E, Roetto A, Porporato PE. 2020. Iron: an essential element of cancer metabolism. *Cells*. 9(12): 2591.
- Hurrell R, Egli I. 2010. Iron bioavailability and dietary reference values. *American Journal of Clinical Nutrition*. 91(5):e1461S-1467S. 2010.
- Ichihara K, Yamaguchi C, Araya Y, Sakamoto A, Yoneda K. 2010. Preparation of fatty acid methyl esters by selective methanolysis of polar glycerolipids. *Lipids*. 45(4): 367-374.

- Ighodaro OM, Akinloye OA. 2018. First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. *Alexandria Journal of Medicine*. 54(4): 287-293.
- Instituto Nacional de Carnes (INAC). 2021. Consumo de carnes en Uruguay. [En línea]. Informe 2021. 6 p.
- Jayawardana BC, Hirano T, Han KH, Ishii H, Okada T, Shibayama S, Fukushima M, Sekikawa M, Shimada KI. 2011. Utilization of adzuki bean extract as a natural antioxidant in cured and uncured cooked pork sausages. [En línea]. *Meat Science*. 89(2): 150-153. doi:10.1016/j.meatsci.2011.04.005.
- Jarmey C, Sharkey J. 2017. Atlas conciso de los músculos. 2.^a edición. Editorial Paidotribo. Barcelona. ISBN: 978-84-9910-604-5. 308 pp.
- Josell A, von Seth G, Tornberg E. 2003. Sensory quality and the incidence of PSE of pork in relation to crossbreed and RN phenotype. *Meat Science*. 65: 651-660.
- Juárez M, Dugan MER, Aldai N, Aalhus JL, Patience JF, Zijlstra RT, Beaulieu AD. 2011. Increasing omega-3 levels through dietary co-extruded flaxseed supplementation negatively affects pork palatability. [En línea]. *Food Chemistry*. 126(4): 1716-1723 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.065>.
- Kallas Z, Varela E, Candek-Potokar M, Pugliese C, Carjak M, Tomazin U, Karolyi D, Aquilani C, Vitale M, Gil JM. 2019. Can innovations in traditional pork products help thriving EU untapped pig breed? A non-hypothetical discrete choice experiment with hedonic evaluation. *Meat Science*. (154): 75-85.
- Kapel CM. 2005. Changes in the EU legislation on *Trichinella* inspection – New challenges in the epidemiology. [En línea]. *Veterinary parasitology*. 132(1-2): 189-194 doi:10.1016/j.vetpar.2005.05.055.
- Kambashi B, Boudry C, Picron P, Bindelle J. 2014. Forage plants as an alternative feed resource for sustainable pig production in the tropics: a review. *Animal*. 8(8): 1298-1311.
- Keambou TC, Manjeli Y, Hako B, Meutchieye F, Awono JC. 2010. Effets comparés d'un aliment concentré et de l'aliment traditionnel des éleveurs sur les performances de croissance et économique des porcelets de race locale au Nord

- Cameroun. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*. 63(3-4): 77-82.
- Koomkroong N, Gongruttananun N, Boonkaewwan C, Noosud J, Theerawatanasirikul S, Kayan A. 2017. Fiber characteristics of pork muscle exhibiting different levels of drip loss. [En línea]. *Animal Science Journal*. 88(12): 2044-2049 doi:101111/asj12859.
- Kristensen L, Purslow PP. 2001. The Effect of Ageing on the Water-Holding Capacity of Pork: Role of Cytoskeletal Proteins. *Meat Science*. 58(1): 17-23.
- Krystallis A, Dutra de Barcellos M, Kugler J, Verbeke W, Grunert K. 2009. Attitudes of European citizens towards pig production systems. *Livestock Science*. 126: 46-56.
- Lara M, Gutierrez J, Timón M, Andrés A. 2011. Evaluation of two natural extracts (*Rosmarinus officinalis* L. and *Melissa officinalis* L.) as antioxidants in cooked pork patties packed in MAP. *Meat Science*. 88: 481-488.
- Larick DK, Turner BE, Schoenherr WD, Coffey MT, Pilkington DH. 1992. Volatile compound content and fatty acid composition of pork as influenced by linoleic acid content of the diet. *Journal of Animal Science*. 70(5): 1397-403.
- Lawrie RA, Ledward DA. 2006. The conversion of muscle to meat. In: *Lawrie's Meat Sci*. 7th Ed. Lawrie, R.A. (Ed.). Woodhead Publishing: Cambridge, UK. Pp. 128-156. 2006.
- Lebret B, Ecolan P, Bonhomme N, Méteau K, Prunier A. 2015. Influence of production system in local and conventional pig breeds on stress indicators at slaughter, muscle and meat traits and pork eating quality. *Animal*. 9(8): 1404-1413
- Lebret, B. 2008. Effects of feeding and rearing systems on growth, carcass composition and meat quality in pigs. [En línea]. *Animal*. 2(10): 1548-1558 doi:101017/S1751731108002796.
- Lee M, Choi J, Choi Y, Han D, Kim H, Shim S, Chung H, Kim C. 2010. The antioxidative properties of mustard leaf (*Brassica juncea*) kimchi extracts on refrigerated raw ground pork meat against lipid oxidation. *Meat Science*. 84: 498-504.

- Len NT, Lindberg JE, Ogle B. 2008. Effect of dietary fiber level on the performance and carcass traits of Mon Cai F1 Crossbred (Mon Cai x Yorkshire) and Landrace x Yorkshire pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 21(2): 245-251.
- López-Huertas E. 2010. Health effects of oleic acid and long chain omega-3 fatty acids (EPA and DHA) enriched milks. A review of intervention studies. [En línea]. *Pharmacological Research*. 61(3): 200-207. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2009.10.007>.
- Lynch S, Frei B. 1993. Mechanisms of copper- and iron-dependent oxidative modification of human low-density lipoprotein. *Journal of Lipid Research*. 34: 1745-1751.
- Madzimure J, Chimonyo M, Zander K, Dzama K. 2012. Potential for using indigenous pigs in subsistence-oriented and market-oriented small-scale farming systems of Southern Africa. *Tropical Animal Health Production*. 45: 135-142.
- Marchev J, Doneva RK, Dimitrova D. 2018. East Balkan swine – autochthonous Bulgarian pig breed. *Archivos de Zootecnia*. In: PROCEEDINGS IX Simposio Internacional sobre el Cerdo Mediterráneo. (1): 61-65.
- Martins JM, Silva D, Albuquerque A, Neves J, Charneca R, Freitas A. 2021. Physical Activity Effects on Blood Parameters, Growth, Carcass, and Meat and Fat Composition of Portuguese Alentejano Pigs. [En línea]. *Animals*. 11: 156. <https://doi.org/ani11010156>.
- Martínez-Villegas O, Baptista-González HA. 2019. Anemia por deficiencia de hierro en niños: un problema de salud nacional. *Revista Hematología*. 20(2): 96-105. 2019.
- Mercier Y, Gatellier P, Renner M. 2004. Lipid and protein oxidation in vitro, and antioxidant potential in meat from Charolais cows finished on pasture or mixed diet. *Meat Science*. 66: 467-473.
- Mernies B, Carballo C, Cabrera C, Barlocco N, Saadoun A. 2012. Ácidos grasos del músculo Longissimus dorsi de cerdos Pampa Rocha y cruza con razas Duroc y Large White. *Veterinaria*. Vol. Especial. IV Congreso Asociación Uruguay de Producción Animal. 123 p.

- Mernies B. 2016. II Seminario «Conservación de Porcinos Criollos en Colombia y Uruguay». 12 de abril de 2016. Libertad.
- Mkwanazi M, Ncobela C, Kanengoni A, Chimonyo M. 2019. Effects of environmental enrichment on behaviour, physiology and performance of pigs — A review. *Asian-Australasian journal of animal sciences*. Vol. 32, no 1, pp. 1 DOI: <https://doi.org/105713/ajas170138>.
- Moliterno E. 1997. Estimación visual de la disponibilidad de forraje en pasturas. (I) Principios y usos de un método de doble muestreo. Nota técnica. *Revista Cangüé*. 9: 32-36.
- Montenegro M, Carballo C, González Barrios P, Castro G, Barlocco N, Llambí S. 2019. Inclusion of rice bran in diets for post-weaning piglets: effect on the productive behavior and carcass traits. *Agrociencia Uruguay*. 23(1): e67-e67.
- Montenegro M, Carballo C, Mernies B, Franco J, Saadoun A, González Barrios P, Barlocco N, Castro G, Llambí S. 2018. Calidad de carne en cerdos Pampa Rocha de Uruguay alimentados con dietas con y sin afrechillo de arroz en su composición. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 26(1-2): 25-34.
- Montenegro M. 2012. Caracterización genética de los cerdos Pampa Rocha de Uruguay. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. PEDECIBA. Facultad de Veterinaria, Udelar. 118 p.
- Montenegro M, Castro G, Barlocco N, Llambí S. 2010. Frecuencia alélica del Síndrome de Estrés Porcino en Uruguay (Análisis por PCR-RFLP). *Veterinaria*. 46 (177-178-179-180): 23-26.
- Monteverde S, Vadell A, Urioste J. 2002. Producción de leche en cerdas Pampa-Rocha. III Simposio Iberoamericano sobre la conservación de los recursos zogenéticos locales y el desarrollo rural sostenible. Montevideo, Uruguay, 2002.
- Morlein D, Link G, Werner C, Wicke M. 2007. Suitability of three commercially produced pig breeds in Germany for a meat quality program with emphasis on drip loss and eating quality. [En línea]. *Meat Science*. 77(4): 504-511 doi:101016/j.meatsci200704030.

- Moreno I, Lipova P, Ladero L, Fernández-García JL, Cava R. 2020. Glycogen and lactate contents, pH and meat quality and gene expression in muscle Longissimus dorsi from Iberian pigs under different rearing conditions. [En línea]. *Livestock Science*. 240: 104167. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104167>.
- Morrissey PA, Kerry JP. 2004. Lipid oxidation and the shelf-life of muscle foods. *Understanding and Measuring the Shelf-Life of Food*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. pp. 357-395.
- Mourot J, Kouba M, Bonneau M. 1996. Comparative study of in vitro lipogenesis in various adipose tissues in the growing Meishan pig: Comparison with the Large White pig (*Sus domesticus*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*. 115(3): 383-388.
- Muth P, Markemann A, Huyen L, Valle Zárate A. 2017. Discriminating the quality of local pork from crossbred pork from extensive production of ethnic minorities in mountainous northern Vietnam. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*. 118(1): 45-57.
- Naya P. 2012. Comportamiento digestivo de cerdos Pampa Rocha en la etapa de crecimiento-terminación. Tesis de grado. Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Udelar. Uruguay. 279 pp.
- Nelson JR, Raskin S. 2019. The eicosapentaenoic acid:arachidonic acid ratio and its clinical utility in cardiovascular disease. *Postgraduated Medical Journal*. 131(4): 268-277.
- Nevrkla P, Kapelański W, Václavková E, Hadaš Z, Cebulska A, Horký P. 2017. Meat quality and fatty acid profile of pork and backfat from an indigenous breed and a commercial hybrid of pigs. *Annals of Animal Science*. 17(4): 1215-1227.
- Ngapo T, Dransfield E, Martin J, Magnusson M, Bredahl L, Nute L. 2003. Consumer perceptions: pork and pig production. Insights from France, England, Sweden and Denmark. *Meat Science*. 66: 125-134.
- Nicolik D, Djinovic-Stojanovica J, Jankovica S, Stefanovica S, Radicevica T, Petrovica Z, Lausevicb M. 2015. Comparison of essential metals in different pork meat cuts from the Serbian market. *Procedia Food Science*. 5: 211-214.

- Nielsen J, Ortenblad N. 2013. Physiological aspects of the subcellular localization of glycogen in skeletal muscle. *Applied physiology nutrition, and metabolism*. 38(2): 91-99.
- Nissen L, Byrne D, Bertelsen G, Skibsted L. 2004. The antioxidative activity of plants extracts in cooked pork patties as evaluated by descriptive sensory profiling and chemical analysis. *Meat Science*. 68: 485-495.
- Núñez M, Boleman R, Miller R, Keeton R, Rhee K. 2008. Antioxidant properties of dried plum ingredients in raw and precooked pork sausage. *Journal of Food Science*. 73(5): 63-71.
- Núñez-Domínguez R, Ramírez-Valverde R, Saavedra-Jiménez LA, García-Muñiz JG. 2016. La adaptabilidad de los recursos zoogenéticos Criollos, base para enfrentar los desafíos de la producción animal. *Archivos de Zootecnia*. 65(251): 461-468.
- Ocampo ID, Bermúdez FM, Díaz H. 2009. Effect of storage time, muscle type, and animal genotype on drip loss in raw pork. *Acta Agronómica*. 58(3): 180-188.
- Oficina de Programación y Política Agropecuaria-Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (OPYPA-MGAP). 2020. Anuario 2019. Montevideo, Uruguay.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2010. La situación de los recursos zoogenéticos mundiales para la alimentación y la agricultura. Comisión de recursos genéticos para la alimentación y la agricultura. Roma. 2010. 555 p.
- Organisation for Economic Co-Operation and Development-Food and Agriculture Organization of the United Nations (OECD-FAO). 2020. [En línea] <https://doi:10.1787/1112c23ben>. *Agricultural Outlook 2020-2029*. OECD. Paris, France; Rome, Italy. 04/01/2022.
- Palma-Granados P, Haro A, Nieto R, Lara L, Aguilera JF, Seiquer I. 2015. Diferencias en el contenido muscular de hierro, cobre y cinc entre dos genotipos porcinos: Ibérico y Landrace x Large White. *AIDA XVI Jornadas sobre Producción Animal*; Zaragoza, 05/19-20, Spain. Pp 323-325.

- Parunovic N, Petrovic M, Matekalo-Sverak V, Trbovic D, Mijatovic M, Rarovic C. 2012. Fatty acid profile and cholesterol content of m longissimus of free-range and conventionally reared Mangalitsa pigs. *South African Journal of Animal Science*. 42(2): 101-113.
- Pieszka M, Paściak P, Janik A, Barowicz T, Wojtysiak D, Migdał W. 2006. The effect of sex and dietary antioxidants β -carotene, vitamins C and E in a CLA-enriched diet on the lipid profile and oxidative stability of pork meat. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 15: 37-45.
- Pirotti F. 2020. Estatus antioxidante de carne bovina uruguaya. Influencia del Sistema de producción, tipo de músculo y tiempo de maduración. Tesis de Maestría en Ciencias Nutricionales. Facultad de Agronomía, Udelar. 119 pp.
- Poklukar K, Candek-Potokar M, Batorek Lukac N, Tomazin U, Skrlep M. 2020. Lipid deposition and metabolism in local and modern pig breeds: a review. [En línea]. *Animals*. 10(3): 424. doi: 103390/ani10030424.
- Popova T, Marinova P. 2013. Protein oxidation in M longissimus dorsi and M semimembranosus lambs reared indoors and on pasture. *Iranian Journal of Applied Animal Science*. 3(4): 673-677.
- Pugliese C, Madonia G, Chiofalo V, Margiotta S, Acciaioli A, Gandini G. 2003. Comparison of the performances of Nero Siciliano pigs reared indoors and outdoors 1. Growth and carcass composition. [En línea]. *Meat Science*. 65(2): 825-831 [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00287-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00287-5).
- Purslow P. 2017. Introduction. En: Purslow PP. (Ed.). *New aspects of meat quality: From genes to ethics*. Duxford: Woodhead Publishing. (Series in Food Science, Technology and Nutrition). 1-9.
- Radovic C, Petrovic M, Parunovic N, Radojkovic D, Savic R, Stanisic N, Gogic M. 2017. Carcass and pork quality traits of indigenous pure breeds (Mangalitsa, Moravka) and their crossbreeds. *Indian Journal of Animal Research*. 51(2): 371-376.
- Ramos A, Cabrera MC, Saadoun A. 2012. Bioaccessibility of Se, Cu, Zn, Mn and Fe, and hem iron content in unaged and aged meat of Hereford and Braford steers fed pasture. *Meat Science*. 91(2): 116-124.

- Ramos A, Cabrera MC, Astigarraga L, Saadoun A. 2007. Variaciones estacionales del contenido de Ca, P, Mg, S, Fe, Zn y Cu de Alfalfa, Trébol rojo y Lotus y de su bioaccesibilidad por un método rápido in vitro. XX Reunión Asociación Latinoamérica de Producción Animal. Cusco, 10/22-25, Perú. Pp. 1-6..
- Resconi V, Campo M, Richardson R. 2007. Relación entre el contenido de vitamina E y la oxidación lipídica en carne de vacuno de diferentes sistemas de producción. ITEA. Producción Animal. Extra (28): 789-791.
- Rivero MJ, Rodriguez-Estevez V, Pietrosevoli S, Carballo C, Cooke AS, Kongsted AG. 2019. Forage consumption and its effects on performance of growing swine – discussed in relation to European wild boar (*Sus scrofa* L.) in semi-extensive systems: A review. *Animals*. 9(7): 457. <https://doi.org/10.3390/ani9070457>.
- Robinson TP, Wint GRW, Conchedda G, Van Boeckel TP, Ercoli V, Palamara E, Cinardi G, D'Aiotti L, Hay SI, Gilbert M. 2014. Mapping the Global Distribution of Livestock. *PLoS ONE*. 9(5): e96084.
- Rosenvold K, Laerke HN, Jensen SK, Karlsson AH, Lundstrom K, Andersen HJ. 2002. Manipulation of critical quality indicators and attributes in pork through vitamin E supplementation, muscle glycogen reducing finishing feeding and pre-slaughter stress. *Meat Science*. 62(4): 485-496.
- Ruusunen M. 1996. Composition and cross sectional area of muscle fibre types in relation to daily gain and fat content of carcass in Landrace and Yorkshire pigs. *Agricultural and Food Science in Finland*. 5: 593-600.
- Schleenbecker R, Hamm U. 2013. Consumers' perception of organic product characteristics. A review. *Appetite*. 71: 420-429.
- Siphambili S, Moloney AP, O'Riordan EG, McGee M, Monahan FJ. 2020. The effects of graded levels of concentrate supplementation on color and lipid stability of beef from pasture finished late-maturing bulls. [En línea]. *Animal*. 14(3): 656-666. <https://doi.org/10.1017/S1751731119002313>.
- Soni-Guillermo E, Figueroa-Velasco J, Sánchez-Torres M, Martínez-Aispuro J, Cordero-Mora J, Hernández-Cázares A, Copado-Bueno J. 2017. Semilla de

- linaza (*Linum usitatissimum*) en dietas de cerdos para modificar la composición lipídica de la carne. *Agrociencia*. 51: 709-724.
- Stoscheck CM. 1990. Quantification of protein. *Methods Enzymology*. 182: 50 - 68
- Straadt IK, Rasmussen M, Andersen HJ, Bertram HC. 2007. Aging-Induced Changes in Microstructure and Water Distribution in Fresh and Cooked Pork in Relation to Water-Holding Capacity and Cooking Loss - A Combined Confocal Laser Scanning Microscopy (Clsm) and Low-Field Nuclear Magnetic Resonance Relaxation Study. *Meat Science*. 75(4): 687-695.
- Switonski M, Stachowiak M, Cieslak J, Bartz M, Grzes M. 2010. Genetics of fat tissue accumulation in pigs: a comparative approach. [En línea]. *Journal of Applied Genetics*. 51(2): 153-168. <https://doi.org/10.1007/BF03195724>.
- Talbott C, See T, Ahmedna M, Fennell H, Gunthorp G, Willis P. 2004. Potential for small-scale farmers to produce niche market pork using alternative diets, breeds and rearing environments: Observations from North Carolina. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 19(3): 135-140.
- Tarricone S, Colonna MA, Giannico F, Ragni M, Lestingi A, Facciolongo AM. 2019. Effect of an extruded linseed diet on meat quality traits in Nero Lucano pigs. [En línea]. *South African Journal of Animal Science*. 49(6): 1093-1103. <http://dxdoi.org/104314/sajasv49i613>.
- Taylor RG. 2004. Muscle fibre types and meat quality. *Encyclopedia of Meat Sciences*. 876-882 p.
- Terevinto A, Saadoun A, Cabrera MC. 2020. From the fatty acid content perspective, is it healthier to eat a hindquarter or a forequarter cut? Angus steers in pasture or concentrate systems. [En línea]. *CyTA Journal of Food*. 18(1): 698-703. <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1843543>.
- Terevinto A, Cabrera MC, Saadoun A. 2019. Oxidative stability, fatty acid composition and health lipid indices of Longissimus dorsi muscle from Aberdeen Angus steers produced in different feeding systems. *Ciencia Rural*. 49(12): e20190537.

- Terevinto A. 2017. La estabilidad oxidativa de la carne fresca, madurada y refrigerada de novillos Aberdeen Angus producidos en Uruguay. Tesis Doctoral. Facultad de Agronomía, Montevideo. 148 pp.
- Terevinto A, Ramos A, Castroman G, Cabrera MC, Saadoun A. 2010. Oxidative status in vitro iron induced lipid oxidation and superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in Rhea meat. *Meat Science*. 84(4): 706-710.
- Tibaoui S, Smeti S, Essid I, Bertolín JR, Joy M. 2020. Physicochemical Characteristics, Fatty Acid Profile, Alpha-Tocopherol Content, and Lipid Oxidation of Meat from Ewes Fed Different Levels of Distilled Myrtle Residues. [En línea]. *Molecules*. 25: 4975. doi:10.3390/molecules25214975.
- Tomazin U, Batorek-Lukac N, Skrlep M, Prevolnik-Povse M, Candek-Potokar M. 2019. Meat and fat quality of Krskopolje pigs reared in conventional and organic production systems. *Animal*. 13: 1103-1110.
- Tomović V, Jokanovic R, Petrovic S, Tomović M, Tasic A, Ikonic M, Sumic Z, Sojic V, Skaljic B, Soso M. 2013. Sensory, physical and chemical characteristics of cooked ham manufactured from rapidly chilled and earlier deboned *M. semimembranosus*. *Meat Science*. 93(1): 46-52.
- Turner TD, Mapiye C, Aalhus JL, Beaulieu AD, Patience JF, Zijlstra RT, Dugan MER. 2014. Flaxseed fed pork: n-3 fatty acid enrichment and contribution to dietary recommendations. *Meat Science*. 96(1): 541-547.
- Untea AE, Panaite TD, Saracila M, Soica C. 2017. Effects of dietary symbiotics and organic zinc on trace minerals composition of pork. *Scientific Papers, series D, Animal Science*. 60: 118-122.
- Vadell A, Barlocco N, Carballo C. 2010. Prolificidad y longevidad productiva de cerdas Pampa Rocha en un sistema de producción al aire libre. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*. 17(2): 149-153.
- Vadell A. 2008. Una reseña corta sobre la raza criolla de cerdos Pampa Rocha y su utilización en Uruguay. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*. 15(2): 105-112.
- Vadell A, Barlocco N, Franco J, Monteverde S. 1999. Evaluación de una dieta restringida en gestación en cerdas de raza Pampa sobre pastoreo permanente.

- Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Central de Venezuela. 40(3): 157-163.
- Verbeke W, Pérez-Cueto FJA, de Barcellos M, Krystallis A, Grunet, K. 2010. European citizen and consumer attitudes and preferences regarding beef and pork. *Meat Science*. 84(2): 284-292.
- Vermeulen L, Van de Perre V, Permentier L, De Bie S, Verbeke G, Geers R. 2015. Pre-slaughter handling and pork quality. *Meat Science*. 100: 118-123.
- Vincent A, Louveau I, Gondret F, Lebret B, Damon M. 2012. Mitochondrial function, fatty acid metabolism, and immune system are relevant features of pig adipose tissue development. *Physiological Genomics*. 44(22): 1116-1124.
- Vodanovich A. 2022. Selenio orgánico e inorgánico en la dieta de cerdos Pampa Rocha en un sistema pastoril: calidad de carne, estatus oxidativo y nutricional de los músculos frescos, conservados y en jamón cocido. Tesis de Maestría en Ciencia Animal. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía, Udelar. 89 p.
- Warris PD, Brown S. 1985. The physiological responses to fighting in pigs and the consequences for meat quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 36(2): 87-92.
- Warris PD, Kestin SC, Robinson JM. 1983. A note on the influence of rearing environment on meat quality in pigs. *Meat Science*. 9(4): 271-279.
- Weihrauch, JL, Posati, LP, Anderson BA, Exler J. 1977. Lipid conversion factors for calculating fatty acid contents of foods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 54(1): 36-40
- Weiler U, Appell HJ, Kermser M, Hofacker S, Claus R. 1995. Consequences of selection on muscle composition. A comparative study on Gracilis muscle in wild and domestic pigs. *Anatomy Histology and Embryology*. 24: 77.
- Wood J, Enser M, Fisher A, Nute G, Sheard P, Richardson R, Hughes S, Whittington F. 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality. *Meat Science*. 78(4): 343-358.
- Yu Q, Cooper B, Sobreira T, Kim YHB. 2021. Utilizing Pork Exudate Metabolomics to Reveal the Impact of Aging on Meat Quality. [En línea]. *Foods*. 10(3): 668. <https://doi.org/103390/foods10030668>.

- Zhang W, Xiao S, Ahn DU. 2013. Protein oxidation: basic principles and implications for meat quality. *Critical reviews in food science and nutrition*. 53(11): 1191-1201.
- Zhao Y, Shuming-Yang D. 2016. Effect of organic and conventional rearing system on the mineral content of pork. *Meat Science*. 118: 103-107.
- Zorrilla-García A. 2002. El envejecimiento y el estrés oxidativo. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*. 21(3): 178-85.
- Zybert A, Tarczynski K, Sieczkowska H, Krzecio-Nieczyporuk E, Antosik K. 2020. Relationship of glycogen and lactate concentrations as a pork quality indicator. [En línea]. *South African Journal of Animal Science*. 50(1): 26-37. doi: 104314/sajasv50i14.

12. ANEXOS

ANEXO 1. LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

CUADROS	Página
Cuadro 1. Composición nutricional del concentrado (base seca)....	26
Cuadro 2. Parámetros productivos y características de canal de cerdos Pampa Rocha criados en sistemas de producción en cama profunda (I) o aire libre con pasturas (O).....	32
Cuadro 3. Cinética de pH <i>post mortem</i> en carne fresca y madurada de músculos <i>longissimus thoracis</i> (LT) y <i>psoas major</i> (PM) de cerdos Pampa Rocha criados en sistema de cama profunda (I) o al aire libre con pasturas (O).....	34
Cuadro 4. Pérdida por goteo (%) a 60 minutos y 24 horas <i>post mortem</i> (24 h) y luego de maduración en <i>longissimus thoracis</i> (LT) y <i>psoas major</i> (PM) de cerdos Pampa Rocha en dos sistemas productivos.....	37
Cuadro 5. Valores de L*, a* y b* en carne fresca (24 h) y madurada en los músculos <i>longissimus thoracis</i> (LT) and <i>psoas major</i> (PM) de cerdos Pampa Rocha en dos sistemas de producción.....	41
Cuadro 6. Contenido de lípidos (g/100 g de carne) y composición de ácidos grasos (g/100g del total de ácidos grasos) del <i>longissimus thoracis</i> (LT) y <i>psoas major</i> (PM) de cerdos Pampa Rocha criados en cama profunda (I) o al aire libre con pasturas (O).....	55

Cuadro 7. Lípidos totales (% de materia seca) y composición de ácidos grasos (g/100 g de ácidos grasos) de trébol rojo (*Trifolium pratense*) y achicoria (*Cichorium intybus*), raigrás (*Lolium multiflorum*) y del alimento concentrado..... 58

Cuadro 8. Índices de salud lipídica calculados en carne de *longissimus thoracis* (LT) y *psaos major* (PM) de cerdo Pampa Rocha producido en cama profunda (I) o al aire libre con pasturas (O)..... 60

Cuadro 9. Contenido de elementos traza y macrominerales en el alimento concentrado y pastura ofrecida en el sistema al aire libre. 68

Cuadro 10. Contenido de elementos traza y macro minerales en *longissimus thoracis* (LT) y *psaos major* (PM) de cerdos Pampa Rocha criados en cama profunda (I) o al aire libre con pasturas (O)..... 74

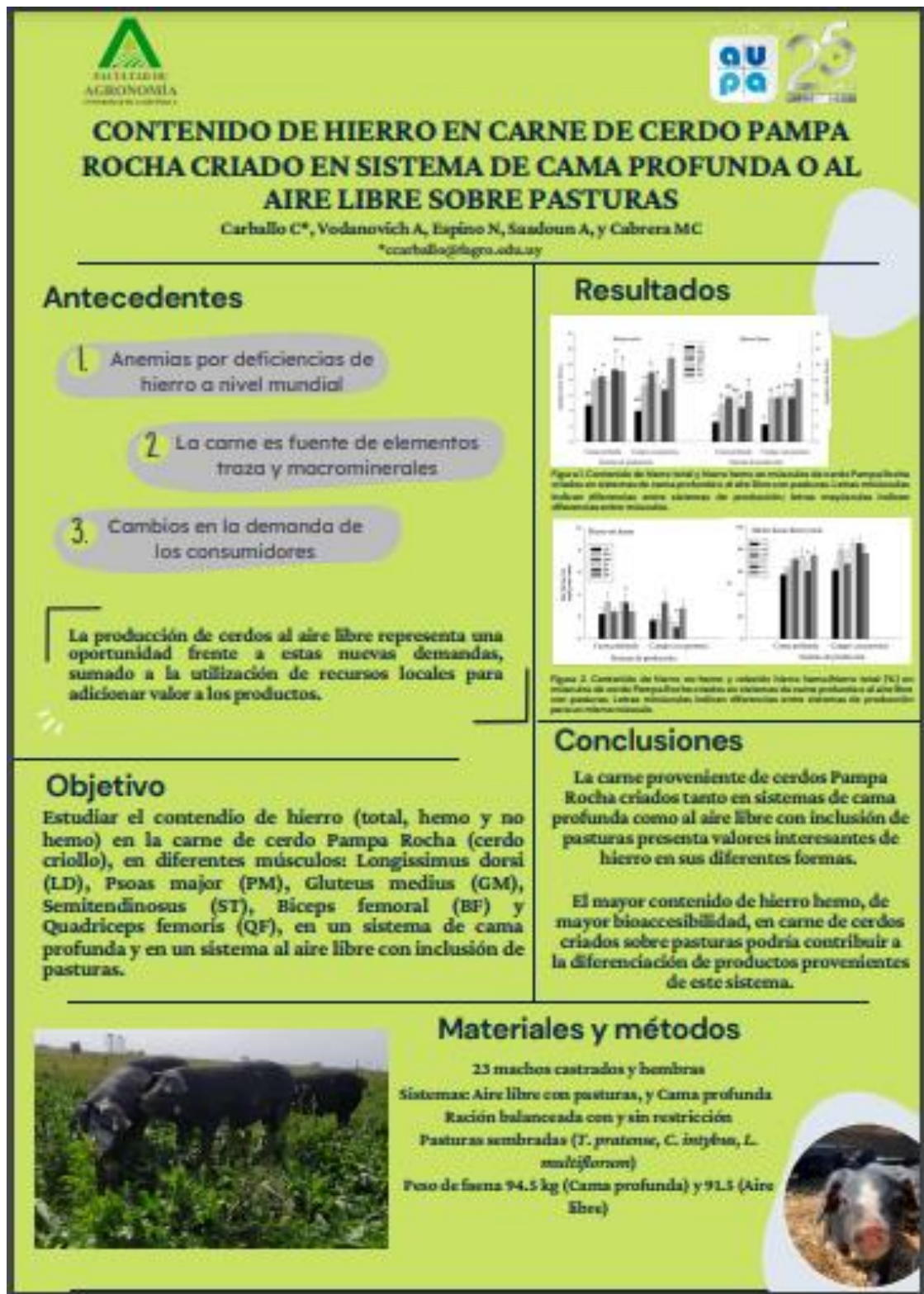
Cuadro 11. Contenido de elementos traza y macro minerales en *gluteus medius* (GM), *semitendinosus* (ST), *biceps femoral* (BF), and *quadriceps femoris* (QF) de cerdos Pampa Rocha criados en cama profunda (I) o al aire libre con pasturas (O)..... 75

FIGURAS Página

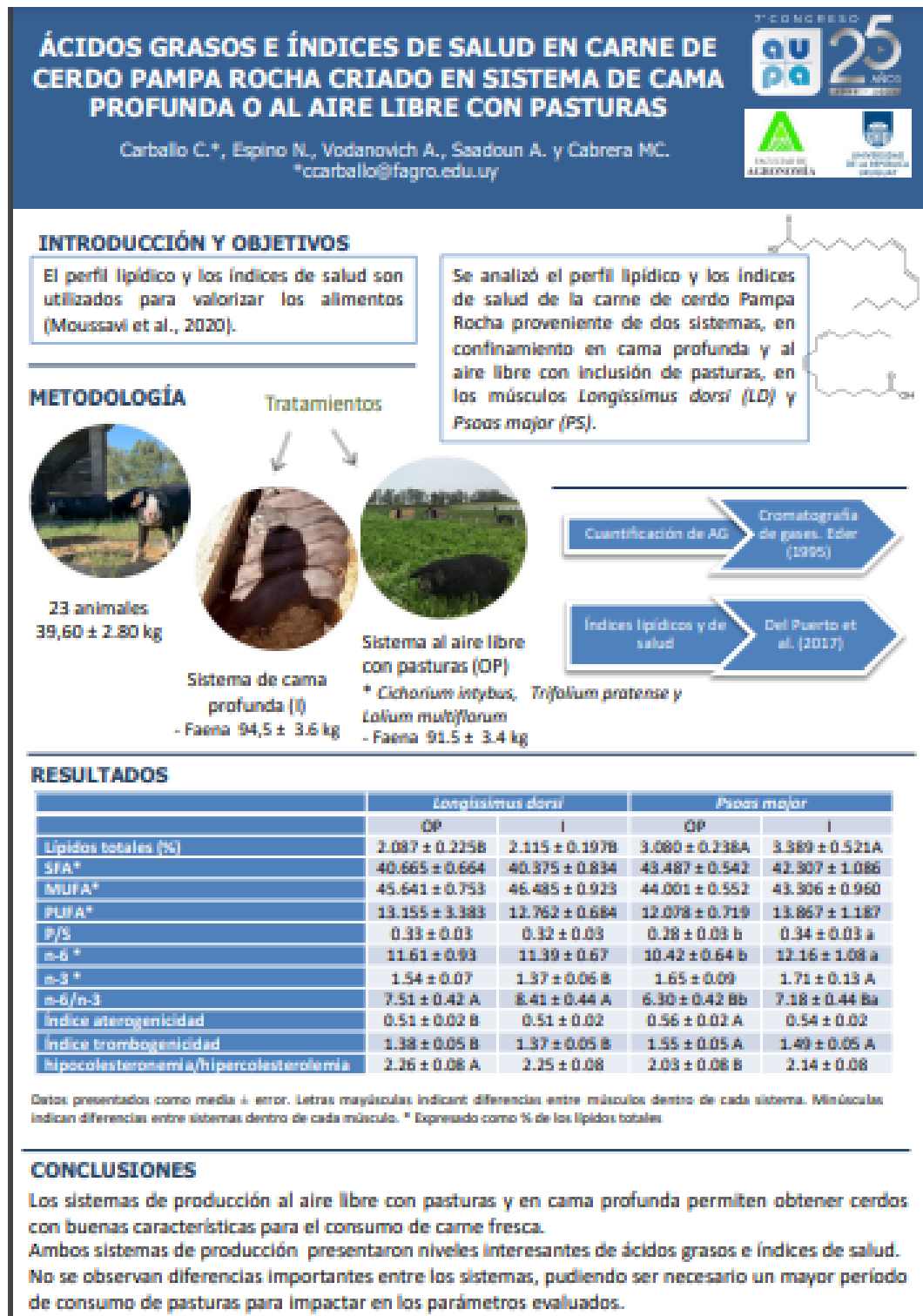
FIG. 1 Ejemplar adulto hembra de la raza Pampa Rocha con lechones al pie..... 5

FIG. 2 Ejemplares de la raza Pampa Rocha en pastoreo durante la etapa de recría 8

FIG. 3. Ubicación de los músculos utilizados en los análisis.....	27
FIG. 4. Cinética de glucógeno (a,b; $\mu\text{mol.g}^{-1}$) y lactato (c,d; $\mu\text{mol.g}^{-1}$) a 60 min, 90 min, 6 horas y 24 horas <i>post mortem</i> en carne de <i>longissimus thoracis</i> (LT) y <i>psoas major</i> (PM) de cerdos Pampa Rocha criados en dos sistemas.....	44
FIG. 5. Oxidación de lípidos (a ; mg MDA/kg carne) y proteína (b ; nmol DNPH/mg proteína) en carne de <i>longissimus thoracis</i> (LT) y <i>psoas major</i> (PM), fresca (<i>Fresh</i>) y madurada (<i>Aged</i>) de cerdos Pampa Rocha criados en I o en O.....	47
FIG. 6. Contenido de hierro total y hierro hemo en los músculos <i>longissimus thoracis</i> (LT), <i>psoas major</i> (PM), <i>gluteus medius</i> (GM), <i>semitendinosus</i> (ST), <i>biceps femoral</i> (BF) y <i>quadriceps femoris</i> (QF) de cerdos Pampa Rocha (hembras y machos) criados en I o O.....	70
FIG. 7. Contenido de hierro no hemo y % de hierro hemo/hierro total en <i>longissimus thoracis</i> (LT), <i>psoas major</i> (PM), <i>gluteus medius</i> (GM), <i>semitendinosus</i> (ST), <i>biceps femoral</i> (BF) y <i>quadriceps femoris</i> (QF) de cerdos Pampa Rocha criados en I o O.....	71



ANEXO 3. PÓSTER ENVIADO A AUPA 2021



ANEXO 4. PRIMER ARTÍCULO. Aceptado 7 setiembre 2022. s/p

- Artículo/Article
- Nota corta/Short note
- Revisión/Revisión
- Carta al Editor/Letter to the Editor
- In Memoriam



Área de calidad de los productos/Area of products quality.

Quality parameters in *L. thoracis*, and *P. major* from Pampa Rocha pig reared in indoor or outdoor

Quality parameters in Pampa Rocha pig in two production systems

Carballo, C.^{1@}; Saadoun, A.^{1,2}; Terevinto, A.¹; del Puerto, M.¹ and Cabrera, M.C.^{1,2}

^{1@}Departamento de Producción Animal y Pasturas. GD Nutrición y Calidad de Alimentos y Productos. Laboratorio Calidad de Alimentos & Productos, Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. ccarballo@fagro.edu.uy. Tel.: +598 2354 3460.

² Fisiología & Nutrición, Instituto de Biología, Facultad de Ciencias, Montevideo, Uruguay.

Pig meat.
Meat quality.
Local breed.
Lipid and protein oxidation.
Alternative system.

Summary

Local pig breeds have excellent characteristics of adaptation to the local environment. These qualities are exploited in outdoor production systems (O), with lower-cost facilities and the use of alternative foods to expensive concentrates. Fresh and aged *Longissimus thoracis* (LT) and *Psoas major* (PM) muscles from Pampa Rocha pig (local breed from Uruguay), reared indoors (I) with straw litter, or O with pastures, were studied. The *post mortem* pH kinetic was higher in meat from I than in the O system, and in LT than in PM. This difference remains in meat aged with an inverse effect on muscles. Drip loss was greater in the O system in fresh and aged meat. Lipid and protein oxidation and glycogen and lactate kinetics were not affected by the production system, but PM muscle showed more oxidation than LT. Fresh meat from O pigs was darker and the n6/n3 ratio was better than in the I system. The fatty acid profile is adequate for human nutrition in this local pork meat, independently of the production system, however, the type of muscle marked significant differences for fatty acids and health indices. This meat presents quality attributes for human health and technological purposes.

Resumen

Las razas locales de cerdos tienen excelentes características de adaptación al ambiente local, las que son aprovechadas en sistemas de producción al aire libre (O), que incluyen instalaciones de bajo costo y uso de alimentos alternativos a los costosos concentrados comerciales. Se estudiaron los músculos *Longissimus thoracis* (LT) y *Psoas major* (PM), frescos y madurados, de cerdos Pampa Rocha (raza local de Uruguay), criados en sistema de confinado de cama profunda (I) o al aire libre con pasturas (O). El pH *post mortem* medido como cinética, fue mayor en carne del sistema I que de O, y mayor en el LT que en PM. Estas diferencias se mantienen en carne madurada con un efecto inverso de los músculos. La pérdida por goteo fue mayor en O en carne fresca como en madurada. La oxidación lipídica y proteica, así como la cinética de glucógeno y lactato no fueron afectadas por el sistema de producción. El músculo PM mostró mayor oxidación que el LT. La carne fresca producida en O fue más oscura, y la relación n6/n3 fue mejor en carne producida en I. El perfil de ácidos grasos de la carne de este cerdo local es adecuado para la nutrición humana, independientemente del sistema. Sin embargo, el tipo de músculo marca diferencias tanto en el contenido de ácidos grasos como en los índices de salud. Esta carne presenta atributos deseables tanto para la salud humana como también condiciones para su procesamiento tecnológico.

Introduction

Global pig meat consumption is projected to increase over the next ten years and account for 28% of the total increase in meat consumption (OECD-FAO 2020). Growth rates are sustained in most of Latin America, where per capita pig meat consumption has grown rapidly, backed by favourable relative prices that have positioned pork as one of the favourite meats (OECD-FAO 2020). Even in many developing countries, whose per capita consumption of pig meat is half of that of developed countries, an increase over the next years is expected (OECD-FAO 2020).

Pork contributes to the protein balance in children, gestating and lactating women, and elders (Dugan et al. 2015) and it is one of the highest sources of functional compounds such as taurine (Wójcik et al. 2010). This meat is a valuable source of amino acids, lipids, minerals, and vitamins and fits the requirements of most people (Dugan et al. 2015). However, changes in the composition of the population influence the preference for healthy diets and pig meat is sometimes perceived as a less healthy food mainly due to a lack of knowledge on the fat composition and the possibility to improve it by feed manipulation (Wood et al. 2008). Although the new recommendations for fat animal intake and the impact on the cardio vascular diseases are available (Chowdhury et al. 2014), it is not always perceived by the common population. In addition to the health concerns, consumers in demanding markets pay for attributes of quality, differentiation, and brands, assuming that they are safe for consumption (Schleenbecker and Hamm 2013). It is increasing around the world, in young people, and in this scenario, animal well-being, environment, nutritional and functional characteristics of meat concerns (Bava et al. 2017, Clark et al. 2017, Verbeke et al. 2010, Honeyman 2005).

The high demand for pig meat is mainly supplied by the conventional intensive pig production systems (Robinson et al. 2014), however, alternative systems including pastures or hoop structures including bedded straw for small or middle-scale farms are increasing around the world. This is not only because of the reduced cost but also driven by the preference of consumers in eating animal protein coming from friendly systems, for animal well-being and

with a less negative impact on the environment (Honeyman 2005). Small farmers around the world, who cannot afford the costs of intensive systems, find in these consumers a niche market to supply through alternative production systems (Dawkins 2017, Kapel 2005). Some countries promote conservation policies of these traditional systems, associating them in addition to conservation of adapted local genetic resources (Kallas et al. 2019). These last challenges are positive for pig production and could contribute to the sustainability of the family in the small and middle-scale system and also with sustainable nutrition. Local pig breeds are generally characterized by having a pigmented coat, with greater fatness, lower weight gain, worse conversion efficiency, and lower prolificacy than the genetic types currently used in commercial pig production systems (Gan et al 2020). However, these have excellent characteristics of adaptation to the local environment due to the natural selection process they have gone through (González et al. 2013, Keambou et al. 2010). These qualities are exploited in outdoor production systems, with lower cost facilities and the use of alternative foods to expensive concentrates (Kambashi et al. 2014), associated with the possibility for these small-scale producers to sell the production mostly in the local market (Herold et al. 2010). There are examples in which this genotype-environment association has resulted in a high-value product that has managed to access a different commercial circuit, Iberian ham is mentioned as a well-known example worldwide (Amaya and Aguilar 2012). A particular characteristic of local pig breeds is that they are more highly adapted to their local environment conditions, like shortages in food availability and repetitive seasonal cycles of fasting. After a period of food shortages, they can accumulate large amounts of body fat when food is more readily available (Switonski et al. 2010). Research conducted by Apple et al. (2009) and Tarricone et al. (2019) show a polyunsaturated fatty acid/saturated fatty acid (PUFA/SFA) ratio of 0.21 and 0.29, respectively, in the *Longissimus dorsi* of pigs finished with a diet based on corn, soybean meal, and barley. When foods rich in PUFA were included, such as soybean oil, this relationship improved in both studies, 0.36 and 0.70, respectively (Tarricone et al. 2019, Apple et al. 2009). The n3 content in meat is also modified when extruded flaxseed is included in the diet of finished pigs, and the n-6/n-3 ratio improves. These authors report an n-6/n-3 ratio of 9.35 and 3.55 in diets without and with extruded flaxseed in *Longissimus dorsi* of Nero Lucano pigs (Tarricone et al. 2019).

Outdoor systems including pastures are an opportunity for countries accounting for available surface (Lebret 2008) and small and middle-scale farmers, with poor development facilities (Durán et al. 2020), and could satisfy the new demands with a valued product. Concerning the local breed, previous studies have shown genetic aspects (Burgos-Serrano et al. 2019), and technological and nutritional characteristics in the meat of the Pampa Rocha pig breed (Montenegro et al. 2019, Carballo et al. 2017, Mernies et al. 2012) associated with an enriched environment with pasture in an outdoor system. This breed is conserved in the facilities of the University and in some schools of agricultural technicians of the country to avoid a decrease in the population. Generating useful knowledge about meat quality and nutritional composition concerning fatty acids, of these local pigs reared on pastures, might generate strategies for the sustainability of this genetic resource.

The aim of this study was to evaluate the Pampa Rocha pig meat through technological traits, glycogen and lactate kinetics, oxidative status, fatty acid profile, and lipid health indices, utilizing animals reared in two different production systems, indoor and outdoor.

Material and Methods

Animals and experimental conditions

The experiment was conducted with the approval of the animal ethical committee of the Faculty of Agronomy (CEUA, protocol N° 317, file N° 021130-001003-16) depending on the Honorary Commission of Animal Experimentation (CHEA-Udelar, Uruguay). The experimental research, including the birth, rearing, and finishing of pigs was carried out in the facilities of South Regional Center (CRS, Faculty of Agronomy, UDELAR), Canelones (Uruguay). Twenty-three castrated male (n=13) and female (n=10) pigs from the Pampa Rocha breed, born in an outdoor system with pastures, were used in the study. The piglets were weaned at 45 days of age (14.5 ± 3.5 kg LW). Post-weaning, all piglets were housed for rearing in a bedded indoor with wheat straw litter and received a commercial piglet diet of up to 22.78 ± 1.58 kg of live weight. Then, gradually for one week fattening ration was incorporated at a rate of 100% of the maximum voluntary intake (MVI). At 39.60 ± 2.80 kg of live weight, pigs were assigned randomly to two experimental treatments for finishing: a) continue on the bedded indoors with wheat straw litter (Indoor, I; 6 males and 5 females), an alternative no conventional confined system, on a surface of 50 cm of wheat straw (1.5 m^2 per animal), or b) on an outdoor system with access to pasture (Outdoor, O; 8 males and 4 females). In this free-range type system, pigs were reared outdoors, in field facilities, with permanent access to pastures. Pasture consisted of a mixture of *Cichorium intybus* (48.6 %, dry matter basis), *Trifolium pratense* (34.9 %, dry matter basis), *Lolium multiflorum* (12.3 %, dry matter basis), and other herbs (4.2 %, dry matter basis). The available grazing area was 300 m^2 per animal, with feeders, and automatic drinkers. In each system, pigs were slaughtered in two sessions to facilitate the transport conditions of the abattoir taking into account the welfare of animals in transporting (CHEA, Udelar). Animals, in both treatments, received a concentrate based on rice bran, defatted and whole, sorghum grain, corn grain, wheat grain, soybean meal, minerals, vitamins, and additives (Table 1). The amount of feed offered was calculated according to live weight, at a rate of 100% of the maximum voluntary intake (MVI) I (Lebret, 2008). In the O system, a restriction of 15 % of MVI was implemented up to 67.50 ± 12.79 kg of live weight and subsequently a restriction of 25 % up the slaughter weight, as a way to encourage pasture consumption. The day before the slaughter, the pigs were weighed (final live weight, kg) and loaded into conditioned transport using loading facilities, and transported to a commercially agreed slaughterhouse at 10 km of distance from the Experimental Station of Faculty. Once there, pigs were laired for 8 hours with water *ad libitum*, and no food. The muscles LT (between the 10th and 12th ribs) and PM, which were chosen because they are commonly consumed as fresh meat, were removed from the carcasses immediately after sacrifice and transported in refrigerated isothermal boxes to the laboratory. Each refrigerated muscle ($1-2^\circ\text{C}$) was immediately sampled for the different determinations. A sample of each one muscle was immediately frozen at -20°C (fresh). Another sample was packaged in a vacuum and stored at $1-2^\circ\text{C}$ for seven days (aged) and subsequently stored at -20°C until analysis. In the remaining whole muscle, depending on the parameters studied, measurements were carried out at 60 min, 90 min, 6 h, and 24 h *post mortem*.

TABLE I

Productive and carcass parameters

Individual live weight (kg) was registered every 14 days to calculate body gain (g/day) and to adjust the ration offered. Concentrate intake was estimated daily considering the residual amount of the previous day measured. At the slaughtering process, carcasses were individually identified and weighed, and yield was calculated and expressed in %. The average of the dorsal fat thickness was calculated by measuring three points of each LT sample with a caliber and expressed as mm. Concentrate intake/ live weight gain ratio (kg/kg) was calculated.

pH, drip loss, and color measurement

The pH was determined in LT and PM at 60 min, 90 min, 6 h, and 24 h *post mortem*, and in LT and PM muscles aged for seven days. A Lutron pHmeter (Lutron Electronic Enterprise, Taiwan) was used equipped with a spear tip pH electrode (PE04HD). Before use, the pHmeter was calibrated with pH 4.0 and 7.0 standards (Lutron), and then its probe was inserted deeply into the muscle tissue. Three readings were carried out for each sample. The drip loss was measured in LT and PM at 60 min and 24 h *post mortem* and in aged meat, following the method of Honikel (1998), based on the difference of weight between initial and final weight registered during a period of 24 hours. The color was expressed according to the Commission International de l'Eclairage system and reported as CIE L* (lightness), CIE a* (redness), and CIE b* (yellowness). Measures were taken at 24 hours *post mortem* and in aged LT and PM using a Konica Minolta CR-10 (Japan) colorimeter with D65 standard illuminant and observer angle of 8°. The L*, a*, and b* values were determined with successive three readings on the surface of each muscle.

Glycogen and lactate determination

Glycogen and lactate contents were determined in LT and PM, at 60 min, 90 min, 6 h, and 24 h *post mortem*. Briefly, a 3 g meat sample, obtained from three parts of the muscle to avoid the heterogeneity of glycogen distribution in the muscle (Nielsen and Ortenblad 2013) was homogenized and extracted with 6 ml of HCl 4M, for 2 hours at 100° C in sealed glass tubes. After cooling, it was filtered twice (cellulose filter, Macherey-Nagel, Germany), and neutralized by adding NaOH 4N. Glycogen was determined as glucose total equivalents following Bergmeyer and Bernt (1974) using colorimetric diagnostic kits (1001201, Spinreact, Spain) based on glucose-peroxidase enzymes measured in a Genesys-6 spectrophotometer (Thermo Scientific Inc. USA). Glycogen concentration was expressed as $\mu\text{mol/g}$ of fresh meat. Lactate was assayed in the same hydrolyzed slurry using commercially available enzymatic colorimetric diagnostic kits (LO-PD; 1001330; Spinreact, Spain) and expressed as μmol lactate/g of fresh meat.

Lipid and protein oxidation determination

In fresh and aged LT and PM, the lipid oxidation was determined using the method of TBARS (Thiobarbituric acid reactive species) according to Gatellier et al. (2004) and Lynch and Frei (1993). Samples of 5 g frozen meat were homogenized in a Waring-Blender (Fisher Inc. USA) with 100 ml of an extraction buffer (0.15 M KCl, 0.02 M EDTA, and 0.30 M BHT) at 12,000 rpm for 1 minute. Part of this homogenate was frozen for protein oxidation assays and 5 ml of the homogenate were centrifuged at 2000 g at 4 °C for 10 minutes (Thermo Scientific Inc. USA) and 1 ml of the supernatant was incubated for 30 min with 1 ml of a 2-thiobarbituric acid (TBA) and trichloroacetic acid (TCA) solution (35 mM TBA and 10 % TCA in 125 mM HCl). After cooling in ice for 5 min and kept at room temperature for 45 min, 2 ml of n-butanol were added, and phase separation was done by centrifugation at 3000 g for 10 min (Sorvall ST16-R, USA). The absorbance was measured at 535 nm in a Genesys-6 spectrophotometer (Thermo Scientific Inc. USA) and the concentration of malondialdehyde (MDA) was calculated using the molar extinction coefficient of the MDA (156,000 M⁻¹ cm⁻¹). Results were expressed as mg MDA/kg of meat.

The protein oxidation level was determined by the carbonyl protein assay (Mercier et al. 2004). The homogenate samples frozen on the day before were thawed at room temperature and 4 ml were extracted and put in two tubes for sample (2 ml of homogenate sample/tube). Then were centrifuged at 2000 g for 10 min (Sorvall ST16-R, USA). 2 ml of HCl 2 M were added to one of the two tubes (blank) and 2 ml of a solution of DNPH (2,4-dinitrophenylhydrazine) 20 mM dissolved in HCl 2 M, on the other tube, both incubated for one hour at room temperature with

regular stirring. Then 2 ml of TCA 20 % were added and left at room temperature for 15 min with regular stirring. The tubes were centrifuged at 2000 g for 10 min (Sorvall ST16-R, USA) and the supernatant was eliminated. Pellet was washed three times with 4 ml of ethanol:ethyl acetate (1:1), centrifuging each time, to eliminate traces of DNPH. The pellets were dissolved in 6 ml of 6 M guanidine HCl with 20 mM KH₂PO₄ (pH 6.5) and incubated at room temperature for 15 min with regular stirring. Finally, were centrifuged at 2400 g for 10 min, and the absorbance of the supernatant was measured at 370 nm in a Genesys-6 spectrophotometer (Thermo Scientific Inc. USA) and the concentration of DNPH was calculated using the DNPH molar extinction coefficient (22,000 M⁻¹ cm⁻¹). Results were expressed as nmoles of DNPH/mg of protein. Protein content was determined according to Stoscheck (1990) and adapted by Terevinto et al. (2010).

Lipid content and fatty acid profile

In fresh meat, intramuscular lipid extraction was performed following the Folch et al. method (1957). Briefly, meat samples were homogenized using a Virtis at 35000 rpm, with chloroform:methanol (2:1) for 1 min, then filtered to a separating funnel and evaporated. Evaporated to dryness lipids. These were weighed and total intramuscular fat content was expressed as grams per 100 g of muscle. Then, lipids were dissolved in hexane and submitted to methylation with methanolic KOH (Ichihara et al. 2010). The fatty acid analysis of fresh LT and PM was performed by gas chromatography following the Eder (1995) procedure. A Clarus 500 (Perkin Elmer Instruments, USA) split/splitless chromatograph with a fused-silica CPSIL-88 of 100 m capillary column, FID detector, and CPG grade hydrogen as carrier gas (rate: 1 ml/min) was used. A temperature of 250 °C was established for the injector and FID detector. Fatty acid methylated esters (FAMES) were determined by comparing the retention time to fatty acid standards (Sigma Corp., USA) and individual FAME were quantified as a percentage of total detected FAMES. Total lipids content and fatty acid composition of pastures and concentrate were measured following lipid extraction by Soxhlet procedure, methylation, and further quantification by Gas Chromatography, as detailed in 2.6 item. Fatty acids expressed as mg of fatty acids / 100 g of tissue were estimated based on the parameters developed by Weihrauch et al. (1977) and improved by Anderson (1976) specifically for pork tissues.

Lipid health indices

In each muscle, LT, and PM, index of Atherogenicity (AI), Thrombogenicity (TI), and Hypocholesterolemic/Hypercholesterolemic (h/H) ratio were calculated according to del Puerto et al. (2017) from fatty acids previously quantified.

Statistical analysis

Data are presented as mean ± standard error of the mean for 11 (I) and 12 (O) pigs. When the difference between males and females was relevant, the mean for each one was presented separately, for I (6 males, 5 females) and O (8 males, 4 females). Performance response variables were analyzed by ANOVA GLM procedure with system and sex as fixed effects. Considering that pigs of each system were slaughtered in two sessions, it was included as a covariate in each analysis done to eliminate this effect. The main effects of the production system, muscle, sex, and time *post mortem*, on pH, drip loss, and glycogen, and lactate contents were analyzed using repeated measures ANOVA. The main effect of the production system, muscle, sex, on pH, drip loss, and color at 24 h *post mortem* or in aged meat were performed by ANOVA GLM. The main effect of the production system, muscle, sex, and ageing (24 hours vs aged) for pH, drip loss, color, and lipid and protein oxidation was analyzed by the

GLM procedure. Data of fatty acids and health indices were analyzed by ANOVA GLM for production system, muscle, and sex effects. When significance in each ANOVA was obtained (at $p < 0.05$), *post hoc* Tukey-Kramer test multiple comparisons were used ($p < 0.05$). Interactions included in each analysis done were shown when significance was obtained. At last, for pastures composition, total lipids and fatty acids composition were summarized using descriptive statistics. Also, comparisons between systems for each muscle or between muscles for each system were carried out by T-Test ($p < 0.05$). NCSS software (2019; 329 North 1000 East Kaysville, Utah 84037 USA) was used.

Results and discussion

Productive parameters and carcass characteristics

Data obtained for performance and carcass characteristics are presented in Table 2. As expected, differences in age at slaughter and live weight daily gain were observed, being live weight gain significantly lower and age of slaughter significantly higher in pigs in the O system with pastures compared with pigs in the I system.

TABLE II

In the O system, pigs needed 12 days more to obtain the same slaughter weight that in the I system. The restriction for concentrate applied to pigs and the physical activity provoked lower growth in pigs reared in O, as shown by previous authors (Lebret et al. 2015, Pugliese et al. 2003). The intake of high fiber feeds, in the O, provoked in pigs a greater development and weight of the gastrointestinal tract, and a lower performance expressed as weight gain (Len et al. 2008). In spite of the fact that the I pigs consume more concentrate, in the present work, no significant differences in dorsal fat thickness between systems were observed (Table 2). Local breeds have, frequently, a high dorsal fat thickness (29-63mm) although this feature can be modified through the feed, and the production system, and the rearing season (Araújo et al. 2018, Abeledo et al. 2004, Pugliese et al. 2003). Pasture intake with a restricted concentrated diet improved the ratio of concentrated intake: live weight gain. This is important for little and medium-scale farmers who search for lower production costs.

pH, drip loss, and color

A normal pH kinetic was observed in the pH in this trial in meat from both muscles and systems (Table 3).

TABLE 3

A correct decrease in pH is essential to achieve a good shelf life of meat (Cobanovic et al. 2016) and is a tool to detect technological problems in meat, such as the presence of Pale Soft Exudative (PSE), and Dark Firm Dry (DFD) meats, an important problem for the industry (Faucitano et al. 2010). Handling of pigs on farms, during transport and previous slaughter handling, influences the appearance of this type of unwanted meat (Cobanovic et al. 2016, Vermeulen et al. 2015). The pH decline in fresh meat was normal, but meat from the I system presented significantly higher pH values than from the O. This could be explained by differences in glycogen reserves (Rosenvold et al. 2002), obtained during the *post mortem* kinetic (Fig. 1), particularly for LT O which is higher than LT from pigs in the I system. The mentioned above also explains pH differences found between LT and PM. For LT, higher pH values were observed than for PM in fresh meat.

When only the pH at 24 h *post mortem* was analyzed, no differences were observed between I and O rearing, being this value the most important, agreeing with those observed by other authors, when comparing pigs reared in O and I systems (Dostálova et al. 2020, Blumetto et al. 2013). The average value for pH₂₄ was 5.76. In pigs, like other animals, the composition of muscle fibers varies according to muscle and physical exercise, becoming less glycolytic when movement is not restricted (Graziotti et al. 2000). This agrees with Carballo et al. (2017)

in a previous work, where a local breed was also studied, and the pH kinetic was adequate, whatever the production system used, which may preserve meat quality. The pH values obtained in the present work were similar to those reported in *Longissimus dorsi* of creole breed at 45 min and 24 h *post mortem* (Depres et al. 1994) and in a previous work comparing Pampa Rocha pigs with commercial genetic breeds (Carballo et al. 2017) and slightly higher in East Balkans local pork (6.11 initial and 5.58 at 24 h) with a similar live weight (Marchev et al. 2018). The pH of the aged meat during seven days was similar to pH at 24 hours *post mortem* in the fresh meat (Table 3). However, when a comparison was made for each muscle and each production system, a significant slightly higher value is observed in PM aged from I versus 24 h *post mortem*. Recent works (Yu et al. 2021) found in *Longissimus lumborum*, a slightly increased pH value in Landrace x Large White meat during aging after 9 days of aging probably due to the changes in the charge caused by proteolytic enzymes during *post mortem* aging but this effect was not observed in the LL of this local breed.

In fresh meat, when the production system, muscle, time *post mortem*, and sex were analyzed as the main effects, meat from the O system showed higher drip loss than meat from the I system (Table 4), and the LT showed higher drip loss than the PM. Also, females lost significantly more water than males. In Table 4, significant differences were observed between 60 min and 24 hours *post mortem*.

TABLE IV

Also, at 24 h, a significantly higher loss of water is observed in meat coming from the O system and for LT. Besides, it was observed a higher drip loss in meat from female pigs than from male pigs ($1.78 \% \pm 0.28$ males vs. $2.74 \% \pm 0.34$ females, at 24 h). On the other hand, meat, whether LT or PM, aged for 7 days in a vacuum at 1-2 °C, lost significantly more water than at 24 h *post mortem* when coming from O systems (Table 4). However, drip loss in aged meat from the I system did not change significantly in comparison to 24 h. No differences due to sex were observed. Previous research from Warris et al. (1985,1983), Talbott et al. (2004), and Mkwanzazi et al. (2019) with pigs in O rearing systems reported a higher drip loss in fresh meat. Contrarily, Lebret et al. (2015) observed a drip loss of 0.55 % in fresh meat from Basque pig reared in an extensive system, 0.85 % in a conventional system, and 1.11 % in an alternative system that included indoor bedding and free outdoor access. Dostálova et al. (2020) did not observe differences in fresh meat from Prestice Black-Pie pigs reared I or O housing, and reported values near 3.02 and 3.01 % of drip loss. These controversial findings related to the drip loss in local breeds, for O versus I rearing systems, could be due to factors such as the type of local breed, fiber type percentage (Taylor 2004), muscle type, or intramuscular fat (Mkwanzazi et al. 2019) of muscles. Concerning sex, in the present work, females lost more water in the fresh meat than males, independently of the system, O or I. A high drip loss is related, among other factors, to a rapid *post mortem* glycolysis, that is observed mainly in pigs with stress susceptibility (Brewer 2014), or with increased lipid oxidation (Morrissey and Kerry 2004) or less intramuscular fat (Talbott et al. 2004) or with a lower pH₂₄ (Koomkrong et al. 2017). Since no effect was found for sex in glycogen kinetic (Fig. 1), lipid oxidation (Figure 2), intramuscular fat (Table 6), or pH₂₄ (Table 3), a relation between these three factors and the drip loss observed in this work cannot be established. Considering that drip loss is one of the main attributes of meat affecting the texture during processing, the loss of weight, and acceptability by consumers (Ocampo et al. 2009), a comparison was done with other values obtained in the country or elsewhere. Echenique and Capra (2006) reported values of around 3.82 % for drip loss in fresh meat of commercial hybrids from the intensive system. Morlein et al. (2007), reported that values of drip loss higher than 7 % are related to an incidence of PSE meat of about 35.3 %. In the present work,

at 24 hours *post mortem* values obtained are lower than values reported except for LT of females in the O system, not related to PSE. In previous work, Carballo et al. (2017) found that drip loss in *Psoas major* from Pampa Rocha pig was lower than crossbreed Pampa X Large White or Pampa X Duroc. There are scarce reports about drip loss when local meat pig is conserved for 7 days in a vacuum bag under refrigerated conditions (aged) related to production systems. In this work, meat from the O system (male or female) has a higher drip loss and this continues during the aging process. Earlier works (Enfalt et al. 1997) reported that *Longissimus lumborum* from Duroc pigs from the O system has higher moisture, ash, and protein content, and low level of intramuscular fat, higher drip loss in fresh and stored meat, also high glycolytic potential and lower pH₂₄ compared with pigs I. A combination of breed, muscle type, sex, and O conditions could be influencing drip loss observed in this research. Nevertheless, in I conditions drip loss follows a dynamic that matches that of Straadt et al. (2007) who reported that high drip loss occurs on the first days *post mortem* after which it diminishes until 14 days *post mortem*. In beef Kristensen and Purslow (2001) hypothesized that increased water holding capacity with aging can be due to the degradation in the cytoskeleton during aging removing the linkage between the rigor-induced lateral shrinkage of myofibrils and the shrinkage of whole muscle giving to myofibrils the capacity to hold more water. Also, a possible purge loss could be increased during the aging in the vacuum bag (Yu et al. 2021) and this could explain a lesser volume as drip loss.

According to values shown in Table 5, when the analysis includes results obtained at 24 h *post mortem* and in aged meat, no differences between systems were found for the L*, a*, and b* values. LT muscles showed an L* value higher than PM, and a* and b* values lower than PM. Aging did not affect the L* value, but a lower a* and b* is observed. At 24 h meat was redder, and more yellow than aged meat. A relevant difference between muscles showed that PM was darker, redder, and more yellow than LT at 24 h, and in aged meat. In general, no effect was observed for sex. Significant interactions between system and aging were found. Indeed, data were analyzed in meat at 24 *post mortem* and in aged meat separately.

TABLE V

At 24 hours *post mortem*, meat from the O system was darker than from the I one, with an L* value significantly lower. This is consistent with several authors who refer to physical activity in the O system to explain this result in other productive species (Terevinto et al. 2017, Guerrero et al. 2013). Gentry et al. (2004) reported that pigs reared outdoors have more IIA fibers and fewer IIB/X fibers than pigs reared indoors. For a* value, no system effect was observed at 24 h in meat. The PM was darker and redder than LT. Cabrera et al. (2007) observed similar results in muscles from Pampa Rocha pigs. A possible explanation is the higher oxygenation due to mobility, in consequence, more hemoglobin and higher content of heme iron in the more oxidative PM studied here (Carballo et al. 2022, Cabrera et al. 2007). This result is an indicator of high nutritional value for high demands of iron in the heme form. Comparing the present data and the results obtained by Echenique and Capra (2006), the meat of Pampa Rocha pigs is darker and redder than the national average with a predominance of hybrid lines. Several authors, evaluating local pigs, observed similar values for L* and a* in *Longissimus dorsi* (Auqui et al. 2019, Radovic et al. 2017) however, Tomazin et al. (2019) did not find differences in colour muscles when pigs were reared in outdoor conditions. In aged muscles, meat from the I system was darker with a lower L* value, but no significance was found for a* and b*. Also, PM was darker and redder than LT. In aged meat, biochemical degradation takes place, particularly in this work, in LT muscle from the O, and these modifications could affect the L* possibly due to a more tendency to oxidation of heme pigments. However, LT muscle showed significantly less oxidation for lipid and protein than PM (Fig. 2). Considering the significant interactions between system and muscle, and system

and process (aging) and also a higher L^* in females at 24 h, but not in aged meat, it is likely that the expression of colour as L^* or a^* to characterize a system O or I for a local breed, is not always the same, and it shall depend on how is affected by one or many of them. In this study, two muscles were included in fresh and aged meat, and sex, and the results are not conclusive.

Yellowness (b^*) did not show differences among systems, but in PM was higher than in LT, and in fresh meat was higher than in aged meat. When the comparison was made at 24 h the PM muscle showed a more yellow colour than the LT (Table 5) and no difference among muscles was observed in aged meat. Also, a^* and b^* values were lower in aged meat compared with meat at 24 h. These results show that aging in this local breed could reduce the stability of colour, particularly a^* and b^* in LT. Yu et al. (2021) report also, lower stability at the display of L^* , a^* , and b^* with ageing the in *Longissimus lumborum* of Landrace x Large White for 16 days in a vacuum. Finally, interesting results were obtained in meat from the O with pastures, showing that colour parameters, L^* , a^* , and b^* , were more stable in PM muscles than in LT. This result could indicate that the O system is a more adequate system to preserve a high-valued cut as PM of this local breed follows an aging process.

Glycogen and lactate content

Glycogen and lactate contents were not affected by the production system, the type of muscle, and the sex of the pigs, as observed through mean effects analysis (Fig.1).

FIG 1.

Main effects analysis showed no effect of production system and muscle on glycogen and lactate content, and the time *post mortem* was significant in both, $p < 0.024$; 60 min > 24 h for glycogen, and $p < 0.019$; 24 h > 60 min for lactate. During time *post mortem* glycogen content significantly decreased as expected, obtaining higher values at 60 min than at 24 h (Fig. 1 a, b). The values found for glycogen content were 22.59 ± 1.01 and 25.7 ± 1.02 $\mu\text{mol/g}$ of meat in pigs from the I and O systems, respectively. When muscles were compared in each system, differences in glycogen content were observed in I only and PM showed higher glycogen levels than LT (28.3 vs. 26.5 $\mu\text{mol/g}$). On the other hand, when the analysis was made into each muscle, glycogen in LT from pigs O was higher than from I (25.5 vs. 20.2 $\mu\text{mol/g}$) and this difference was significant at 6 and 24 h *post mortem* (Fig. 1). In PM, glycogen from the I system was similar to that from the O (25.6 vs. 25.8 $\mu\text{mol/g}$), but a significant difference was observed between systems at 60 min *post mortem*, where the O system had more glycogen (29.3 $\mu\text{mol/g}$) than the I (25.3 $\mu\text{mol/g}$) (Fig. 1). This initial difference was missing at 6 and 24 h *post mortem*.

No differences were observed in lactate content within systems, muscles, or sex and when time *post mortem* was considered, lactate content was significantly higher at 24 h (32.5 $\mu\text{mol/g}$) than at 60 min (25.0 $\mu\text{mol/g}$; Fig. 1c,d). Values observed for lactate content were 27.4 ± 1.8 and 29.7 ± 1.8 $\mu\text{mol/g}$ of meat from the I and the O system, respectively. In LT from O at 90 min and 6 h *post mortem* a significantly higher lactate content than in the I system was observed. Zybert et al. (2020) associated the higher glycogen and lactate values (higher than obtained in the present work), with low glycolytic potential, and mentioned that this explained the 42 % of the variation in ultimate pH. Concerning this, no differences in pH₂₄ were observed in this experiment. Production system effects were observed only during *post mortem* and that could affect other parameters such as drip loss or colour. The different responses of each muscle, LT and PM, less or more oxidative, could be explained by the glycogen reserves *ante mortem*, affecting the resulting high pH_u (England et al. 2016). Besides, glycogen and lactate contents are affected by other several factors such as breed, muscle fiber, diet, environmental factors, and others (Moreno et al. 2020, de Oliveira et al. 2018, Lebret et al.

2015, Gentry et al. 2004). In this work, differences between systems were found during the degradation of the glycogen or the accumulation of lactate at some time points during the pH drop (Fig. 1), and this impacts the pH differences observed during *post mortem* decline of pH for both systems ($\text{pH I} > \text{pH O}$), however, it did not impact the final pH at 24 hours. Perhaps other parameters not measured here could be affected and this could be the subject of another study considering these aspects.

Lipid and protein oxidation

Lipid oxidation and protein oxidation were not affected by the production system, sex, or ageing of meat. The main effect due to muscle was observed, in both I and O rearing, resulting in higher oxidation of lipids and protein in PM than in LT (Fig. 2).

FIG 2.

Average values in LT were 0.45 and 0.37 mg MDA/kg meat and 0.12 and 0.13 nmoles DNPH/mg protein, for I and O respectively. In PM 0.50 and 0.52 mg MDA/kg meat and 0.14 and 0.13 nmoles DNPH/mg protein, for I and O respectively. In fresh and aged meat, differences between systems were observed in LT, where lipid oxidation was lower (0.38 and 0.36) in O than in I (0.44 and 0.46) respectively (Fig. 2). No differences were observed for lipid oxidation and carbonyl content between fresh and aged meat, in each muscle studied. But lipid and protein oxidation in PM are higher than in LT muscle. Important concentrations of antioxidant molecules in green herbage (Choe et al. 2011, Jayawardana et al. 2011, Lara et al. 2011) and adaptation of Pampa Rocha pigs to pasture consumption could explain lower oxidation in the O system in LT muscle than in the same muscle from I. Similar results were found in a previous report (Carballo et al. 2017). Other studies have reported positive effects of forage-feeding on oxidation levels in meat from different species (Siphambili et al. 2020, Hajji et al. 2016, Popova and Marinova 2013). Considering that oxidation is responsible for meat deterioration and loss of nutritional and commercial value (Zhang et al. 2013), is relevant to obtain acceptable levels of protein oxidation in this local pig meat in both rearing systems. Considering a particular muscle, such as LT, O is an opportunity to improve the stability of both, fresh and aged meat. Differences between muscles, LT more stable than PM, also may select the adequate muscle to minimize the oxidation process.

Fatty acid content and Lipids health indices

According to the results shown in Table 6, total lipid content as intramuscular fat (IMF) is higher in PM than in LT (3.23 and 2.10 % respectively) and no significant differences were observed between systems or sex.

TABLE VI

When the total lipids content is expressed as mg/100g tissue, the values are 1985 and 1895 mg/100 g tissue for LT in O and I, and in the PM are 2712 and 3052 mg/100 g tissue O and I, respectively. This higher content of lipids in PM could explain the higher lipid and protein oxidation observed in Figure 2 and a possible more lipogenic capacity for this muscle in this local breed (Poklukar et al. 2020). Oleic (C18:1, 42 %), palmitic (C16:0, 26 %), stearic (C18:0, 14 %), and linoleic (C18:2n-6, 10 %) fatty acids are present in a higher percentage in both muscles. Oleic is a monounsaturated fatty acid important to reduce cardiovascular diseases and linoleic is an essential fatty acid (López-Huertas 2010). Miristoleic acid (C14:1), margaric acid (C17:0), heptadecanoic acid (C17:1), stearic acid (C18:0), and eicosatrienoic acid (C20:3n-3) content were higher in PM, and palmitoleic acid (C16:1), oleic acid (C18:1),

arachidonic acid (C20:4n-6) and docosatetraenoic acid (C22:4n-6) content were higher in LT. Only the content of miristoleic fatty acid was different between systems ($p < 0.05$), and was higher in animals raised in the O production system. Alfa-linolenic acid (C18:3n-3) content was not significantly different between systems, muscles, or sex (Table 5). In LT, the content of alfa-linolenic acid is significantly higher in the O system than in the I ($p < 0.03$). In PM, C14:1 and C17:1 content were higher in O, and C18:2n-6, C20:4n-6, and C22:4n-6 content were higher in I. Docosahexaenoic acid (DHA) and docosapentaenoic acid (DPA) were not detected in the IMF of these pigs, and this could be explained likely by a specific genetic characteristic and biotype of our local breed, Pampa Rocha. Similar observations have been reported by Poklucar et al. (2020).

Differences between muscles in SFA and MUFA content were observed (Table 6). SFA content was higher in PM and explained by O system differences between muscles. MUFA content was higher in LT than in PM, and no differences between muscles were observed for PUFA content. Regarding the production system, differences were observed for PUFA content only in PM (I higher than O). Local breeds have higher lipogenic capacity resulting in a higher capacity to deposit fat than modern breeds and the content of monounsaturated and saturated fatty acids is also higher than in modern breeds (Poklucar et al. 2020). This is a crucial point because shows that in the lipid metabolism of local pigs predominates the monounsaturated fatty acids, showing a more lipogenic than lipolytic activity, and a higher capacity for desaturation (Poklucar et al. 2020). Results obtained in the present study concerning fatty acids profile are not clear with respect to differences between systems and partially agree with those reported by several authors (Dostálova et al. 2020, Parunovic et al. 2012). It is necessary to consider that I or O pigs studied here intake concentrate that contains more total fatty acid than pastures (Table 7).

TABLE VII

Although pastures have a percentage of C18:3n-3 higher than concentrate, the total intake and the lower digestibility (González et al. 2020) are probably limiting to increase this fatty acid in the meat. A much earlier inclusion of feeds rich in fatty acids n-3 would be likely necessary to increase long-chain polyunsaturated fatty acids in this local breed because it exhibits an early maturation of adipose tissue than modern breeds (Vincent et al. 2012; Mourot et al. 1996).

Using the calculation factor of 0.91 developed by Weihrauch et al. (1977) and specifically adapted for pork by Anderson (1976), it is possible to estimate the total fatty acids in 100 g of fresh tissue from the data in g/ 100 g of fatty acid, determined in the present investigation by gas chromatography (Table 5). Greenfield and Southgate (2003) and some Food Databases, such as the Danish Food Database (2022) used this approach to estimate actual fatty acid values in g of tissue. Thus, it is possible to express the total content of fatty acids (g/ 100 g fresh tissue) starting from the percentage of total lipids (g/100 g fresh tissue) as reported in Table 5. Indeed, in the present work, it was possible to appreciate the contribution of the total content of PUFA and 18:3n-3 from data obtained from their composition expressed in % (g/ 100 g fatty acids). Those values ranged between 12.1 - 13.9 g/100 g fatty acids and 1.0 – 1.2 g/100 g fatty acids for PUFA and 18:3n3, respectively, for the two systems and muscles studied here. A quantity of 287 mg/100 g fresh tissue and 324 mg/100 g fresh tissue of PUFA for O and I system, respectively was found with a significant difference ($p < 0.001$) due to muscle type, LT (241 mg/100 g fresh tissue) and PM (369 mg/100 g fresh tissue). This contribution is of the same order as those found by Dugan et al. (2015). Concerning the linolenic acid (18:3n-3), we found 26.9 and 26.7 mg/100 g of fresh tissue for the O and I systems with a significant difference ($p < 0.006$) between muscles (21.2 and 32.4 mg/100 g fresh tissue for LT and PM,

respectively). This contribution is similar for LT and higher for PM in comparison to those reported for modern pigs in *Longissimus* (22.7 mg/100 g fresh tissue) by Dugan et al. (2015), and from earlier studies (Turner et al. 2014, Juárez et al. 2011). Those data are from animals used as control fed barley/wheat/soybean meal.

From another point of view, in this work, both systems produced meat with an interesting and healthy fatty acids profile. Regarding health indices, results are shown in Table 8.

TABLE VIII

A higher n-6/n-3 ratio was observed in the I system compared to the O. Differences between production systems were observed only in the PM muscle. In this muscle, the n-6 content, the PUFA/SFA and n-6/n-3 ratios were higher in the I system than in the O. The higher n-6 content found in this muscle from pigs fed I can explain the higher n-6/n-3 ratio, as n-3 content was not different between systems. The sex of the animals did not significantly affect the variables studied.

Conclusions

Fresh and aged Pampa Rocha pig meat, a local breed of Uruguay, reared in O or I systems, was studied through technological parameters, oxidative state and fatty acid composition. Although less weight gain and final weight were obtained from pigs raised O compared to the I system, the meat presented similarity in technological parameters, oxidative state and fatty acid composition. However, muscle type, and gender affect pH, drip loss, color, glycogen, lipid oxidation, and fatty acid composition. A particular aspect in O meat, related to higher drip loss than I, at 24 h *post mortem*, and in aged meat, requires further investigation. Furthermore, an interesting attribute in LT is the lipid antioxidant capacity when stored under vacuum for seven days, showing the potential of this muscle for processing purposes. Pampa Rocha meat presents interesting levels of fatty acids and health indices that contribute to the requirements of the human diet, slightly improved by the use of pastures, particularly alpha-linolenic acid (C18:3n-3), which could probably increase with feeding time. Considering the high quality of this meat, further research is needed on the O system to improve meat through increased n-3 PUFA and decreased drip loss.

Acknowledgments

This research was a part of the doctoral thesis, into Doctoral Program in Agricultural Sciences of the Agronomy Faculty. Experiments were carried out in South Regional Center and Food and Product Quality Laboratory (Faculty of Agronomy), and Physiology Laboratory (Faculty of Sciences). These institutions made their facilities available for this research and personal too. We are grateful to the National Agency for the Research and Innovation (ANII), and Graduate Academic Commission (CAP) for the support to carry out this research with granting a grant to Cecilia Carballo, for the development of the doctoral thesis project.

Bibliography

Abeledo, C, Santana, I, Pérez, I & Brache, F 2004, 'Rasgos de comportamiento y canal de cerdos criollo y CC21 alimentados con palmiche como única fuente de energía', *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, vol. 11, pp. 96-104. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/1930/193060591006/193060591006.pdf>.

Amaya, S, & Aguilar, E 2012, 'Saberes locales; tradición e innovación: el caso del jamón ibérico de bellota', *Revista Nuevas Tendencias en Antropología*, vol. 3, pp. 109-136.

Anderson, BA 1976, 'Comprehensive evaluation of fatty acids in foods. VII. Pork products', *Journal of the American Dietetic Association*, vol. 69, no. 1, pp. 44-4.

Apple, JK, Maxwell, CV, Galloway, DL, Hutchison, S & Hamilt, CR 2009, 'Interactive effects of dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine: I. Growth performance and *longissimus* muscle fatty acid composition', *Journal of Animal Science*, vol. 87, no. 4, pp. 1407-1422. doi:10.2527/jas.2008-1453.

Araújo, JP, Cerqueira, JL, Pires, P, Amorin, I, Carneiro, M, Santos Silva, J, Domínguez, R, Bermúdez, R & Lorenzo, JM 2018, 'Influencia del sistema de producción en la calidad de la canal de cerdos de raza Bísara', *Archivos de Zootecnia*, vol. 67, no. 260, pp. 554-559.

Auqui, SM, Egea, M, Peñaranda, I, Garrido, MD & Linares, MB 2019, 'Rustic Chato Murciano pig breed: Effect of the weight on carcass and meat quality', *Meat Science*, vol. 156, pp. 105-110. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.05.022>.

Bava, L, Zucali, M, Sandrucci, A & Tamburini, A 2017, 'Environmental impact of the typical heavy pig production in Italy', *Journal of cleaner Production*, vol. 140, pp. 685-691. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.029>.

Bergmeyer, HV & Bernt, E 1974, 'Amylo -1.6-glycosidase for the determination of glycogen', *Methods of enzymatic analysis*, vol. 3.

Blumetto, OR, Calvet, S, Estellés, F & Villagrà, A 2013, 'Comparision of extensive and intensive pig production system in Uruguay in terms of ethologic, physiologic and meat quality parameters', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 42, no. 7, pp. 521-529. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982013000700009>.

Brewe, MS 2014, 'Chemical and physical characteristics of meat. I Water-Holding Capacity Reference Module in Food Science', *Encyclopedia of Meat Sciences (Second Edition)*, pp. 274-282.

Burgos-Serrano, C, Llambí, S, Hidalgo, J, Montenegro, M, Arruga, V & López-Buesa, P, 2019, 'Marcadores de selección en cerdos Pampa Rocha: comparación con razas autóctonas de España y Portugal', *Revista MVZ Córdoba*, vol. 24, no. 2, pp. 7198-7202. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1642>.

Cabrera, MC, 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 cruza en un sistema en base a pastura', *Agrociencia Uruguay*, Vol.Esp. IX Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos, 105-108. <http://www.fagro.edu.uy/agrociencia/index.php/directorio/article/view/228/165>.

Carballo, C, Espino, N, Vodanovich, AL, Ferrando, M, Saadoun, A & Cabrera, MC 2022, 'Trace elements, macro minerals, and iron forms content, in meat of Pampa Rocha pig reared indoor and outdoor with pasture', *Revista de Ciencias Veterinarias*, Accepted.

Carballo, C, Terevinto, A, Barlocco, N, Saadoun, A & Cabrera, MC 2017, 'pH, drip loss, color, lipids and protein oxidation of meat from Pampa-Rocha and crossbreed pigs produced outdoor in Uruguay', *Journal of Food and Nutrition Research*, vol. 5, no. 5, pp. 342-346. doi:10.12691/jfnr-5-5-9.

Choe, JH, Jang, A, Lee, ES, Choi, JH, Choi, YS, Han, DJ, Kim, HY, Lee, MA, Shim, SY & Kim, CJ 2011, 'Oxidative and color stability of cooked ground pork containing lotus leaf (*Nelumbo nucifera*) and barley leaf (*Hordeum vulgare*) powder during refrigerated storage', *Meat science*, vol. 87, no. 1, pp. 12-18. doi:10.1016/j.meatsci.2010.08.011.

Chowdhury, R, Warnakula, S, Kunutsor, S, Crowe, F, Ward, HA, Johnson, L, Franco, OH, Butterworth, AS, Forouhi, NG & Thompson, SG 2014, 'Association of dietary, circulating, and supplement fatty acids with coronary risk: a systematic review and meta-analysis', *Annals of internal medicine*, vol. 160, no. 6, pp. 398-406. <https://doi.org/10.7326/M13-1788>.

Clark, B, Stewart, G, Panzone, L, Kyriazakis, I & Frewer, L 2017, 'Citizens, consumers and farm animal welfare: A meta-analysis of willingness-to-pay studies', *Food Policy*, vol. 68, pp. 112-127. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.01.006>.

Cobanovic, N, Karabasil, N, Stajkovic, S, Ilic, N, Suvajdzic, B, Petrovic, M & Teodorovic, V 2016, 'The influence of *pre-mortem* conditions on pale, soft and exudative (PSE) and dark, firm and dry (DFD) pork meat', *Acta Veterinaria*, vol. 66, no. 2, pp. 172-186. doi: 10.1515/acve-2016-0015.

Danish Food Composition Database. Accessed January 3; 2022. Available in: http://toolbox.foodcomp.info/ToolBox_FattyAcids.asp.

Dawkins, MS 2017, 'Animal welfare and efficient farming: is conflict inevitable?', *Animal Production Science*, vol. 57, no. 2, pp. 201-208. <http://dx.doi.org/10.1071/AN15383>.

del Puerto, M, Cabrera, MC & Saadoun, A 2017, 'A note on fatty acids profile of meat from broiler chickens supplemented with inorganic or organic selenium', *International Journal of Food Science*, vol. 8. <https://doi.org.10.1155/2017/7613069>.

de Oliveira, E, Dall' Olio, S, Tassone, F, Arduini, A Nanni & Costa, L 2018, 'The effect of stress immediately prior to stunning on proglycogen, macroglycogen, lactate and meat quality traits in different pig breeds', *Italian Journal of Animal Science*, vol. 17, no. 4, pp. 879-883. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1449672>.

Depres, E, Naves, M, Tamisier, F, Xande, A & Rinaldo, D 1994, 'Growth performance and meat quality of large white and local pigs reared in the tropics', *Livestock Research for Rural Development*, vol. 6, np.

Dostálova, A, Svitáková, A, Bures, D, Valis, L & Volek, Z 2020, 'Effect of an outdoor access system on the growth performance, carcass characteristics, and *Longissimus lumborum* muscle meat quality of the Prestice Black-Pied pig breed', *Animals*, vol. 10, no. 8, pp. 1244. doi:10.3390/ani10081244.

Dugan, MER, Vahmani, P, Turner, TD, Mapiye, C, Juárez, M, Prieto, N, Beaulieu, AD, Zijlstra, RT, Patience, JF & Aalhus, J 2015, 'Pork as a source of omega-3 (n-3) fatty acids', *Journal of Clinical Medicine*, vol. 4, pp. 1999-2011. doi:10.3390/jcm4121956.

Durán, V, Hernández, E, Aguirre, E & Gorga, L 2020, 'Problemas y oportunidades de la cadena de carne porcina en Uruguay', *Anuario OPYPA 2019*. pp. 94-98.

Echenique, A & Capra, G 2006, 'Diagnóstico de situación de la calidad de carne porcina para consumo fresco en el Uruguay', *Serie Técnica INIA*, vol. 160, pp. 1-38.

Eder, K 1995, 'Gas chromatographic analysis of fatty acid methyl esters', *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, vol. 671, no. 1-2, pp. 113-131. [https://doi.org/10.1016/0378-4347\(95\)00142-6](https://doi.org/10.1016/0378-4347(95)00142-6).

Enfalt, AC, Lundstrom, K, Hansson, NL & Nystrom, PE 1997, 'Effect of outdoor rearing and sire breed (Duroc or Yorkshire) on carcass composition and sensory and Technological meat quality', *Meat Science*, vol. 45, no. 1, pp. 1-15. doi.org/10.1016/S0309-1740(96)00101-5.

England, EM, Matarneh, SK, Oliver, EM, Apaoblaza, A, Scheffler, TL, Shi, H & Gerrard, DE 2016, 'Excess glycogen does not resolve high ultimate pH of oxidative muscle', *Meat Science*, vol. 114, pp. 95-102. doi: 10.1016/j.meatsci.2015.10.010.

Faucitano, L, Ielo, MC, Ster, C, Lo Fiego, DP, Methot, S & Saucier, L 2010, 'Shelf life of pork from five different quality classes', *Meat Science*, vol. 84, no. 3, pp. 466-469. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.09.017>.

Folch, J, Lees, M & Sloane-Stanley, GH 1957, 'A simple method for the isolation and purification of total lipid from animal tissues', *Journal of Biological Chemistry*, vol. 226, no. 1, pp. 497-509. [https://www.jbc.org/article/S0021-9258\(18\)64849-5/pdf](https://www.jbc.org/article/S0021-9258(18)64849-5/pdf).

Gan, M, Shen, L, Chen, L, Jiang, D, Jiang, Y, Li, Q, Chen, Y, Ge, G, Liu, Y, Xu, X, Li, X, Zhang, S & Zhu, L 2020 'Meat quality, amino acid, and fatty acid composition of Liangshan pigs at different weights', *Animals*, vol. 10, no. 5, pp. 822. doi: 10.3390/ani10050822.

Gatellier, P, Mercier, Y & Renerre, M 2004, 'Effect of diet finishing mode (pasture or mixed diet) on antioxidant status of Charolais bovine meat', *Meat Science*, vol. 67, no. 3, pp. 385-394. doi:10.1016/j.meatsci.2003.11.009.

Gentry, JG, McGlone, JJ, Miller, MF & Blanton, JR 2004, 'Environmental effects on pig performance, meat quality, and muscle characteristics', *Journal of Animal Science*, vol. 82, no. 1, pp. 209-217. <https://doi.org/10.2527/2004.821209x>.

González, A, Figueroa, V, Batista, C, Casal, A, Álvarez, A, Saadoun, A & Astigarraga, L 2020, 'Inclusión de forrajes con distinta relación de fibra soluble e insoluble en la dieta de cerdos', *Archivos de Zootecnia*, vol. 69, no. 268, pp. 424-431. doi: <https://doi.org/10.21071/az.v69i268.5390>.

González, J, Jaume, J, Fábrega, E, Gispert, M, Gil, M, Oliver, A, Llonch, P, Guardia, MD, Realini, CE, Arnau, J & Tibau, J 2013, 'Majorcan Black Pig as a traditional pork production system: Improvements in slaughterhouse procedures and elaboration of pork carpaccio as an

alternative product', *Meat Science*, vol. 95, no. 3, pp. 727-732. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.03.012>.

Graziotti, G, Ríos, C, & Basso, L 2000, 'Skeletal muscle fibres and pork production', *Revista Argentina de Producción Animal*, vol. 20, no. 2, pp. 145-159.

Greenfield, H & Southgate, DA 2003, 'Food composition data: production; management; and use', Food & Agriculture Organization 2003; 288 p. ISBN: 9251049491. <https://www.fao.org/3/y4705e/y4705E22.htm>.

Guerrero, A, Sañudo, C, Albertí, P, Ripoll, G, Campo, MM, Olleta, JL, Panea, B, Khliji, S & Santolaria, P 2013. 'Effect of production system before the finishing period on carcass, meat and fat qualities of beef', *Animal*, vol. 7, no. 12, pp. 2063-2072. doi:10.1017/S1751731113001729animal2063.

Hajji, H, Joy, M, Ripoll, G, Smeti, S, Mekki, I, Molino Gahete, F & Mahouachi, M 2016, 'Meat physicochemical properties, fatty acid profile, lipid oxidation and sensory characteristics from three North African lamb breeds, as influenced by concentrate or pasture finishing diets', *Journal of Food composition and Analysis*, vol. 48, pp. 102-110. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2016.02.011>.

Herold, P, Roessler, R, Willam, A, Momm, H & Valle Zárate, A 2010, 'Breeding and supply chain systems incorporating local pig breeds form small-scale pig producers in Northwest Vietnam', *Livestock Science*, vol. 129, no. 1-3, pp. 63-72. doi:10.1016/j.livsci.2010.01.004.

Honeyman, MS 2005, 'Extensive bedded indoor and outdoor pig production systems in USA: current trends and effects on animal care and product quality', *Livestock Production Science*, vol. 94, no. 1-2, pp. 15-24. doi:10.1016/j.livprodsci.2004.11.029.

Honikel, K 1998, 'Reference methods for the assessment of physical characteristics', *Meat Science*, vol. 49, no. 4, pp. 447-457. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00034-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00034-5).

Ichihara, K, Yamaguchi, C, Araya, Y, Sakamoto & A Yoneda, K 2010, 'Preparation of fatty acid methyl esters by selective methanolysis of polar glycerolipids', *Lipids*, vol. 45, no. 4, pp. 367-374. <https://doi.org/10.1007/s11745-010-3404-5>.

Jayawardana BC, Hirano, T, Han, KH, Ishii, H, Okada, T, Shibayama, S, Fukushima, M, Sekikawa, M & Shimada, KI 2011, 'Utilization of adzuki bean extract as a natural antioxidant in cured and uncured cooked pork sausages', *Meat Science*, vol. 89, no. 2, pp. 150-153. doi:10.1016/j.meatsci.2011.04.005.

Juárez, M, Dugan, MER, Aldai, N, Aalhus, JL, Patience, JF, Zijlstra, RT & Beaulieu, AD 2011, 'Increasing omega-3 levels through dietary co-extruded flaxseed supplementation negatively affects pork palatability', *Food Chemistry*, vol. 126, no. 4, pp. 1716-1723 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.065>.

Kallas, Z, Varela, E, Candek-Potokar, M, Pugliese, C, Carjak, M, Tomazin, U, Karolyi, D, Aquilani, C, Vitale, M & Gil, JM 2019, 'Can innovations in traditional pork products help thriving EU untapped pig breed? A non-hypothetical discrete choice experiment with hedonic evaluation', *Meat Science*, vol 154, pp 75-85 <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.04.011>.

- Kapel, CM 2005, 'Changes in the EU legislation on Trichinella inspection – New challenges in the epidemiology', *Veterinary parasitology*, vol 132, no 1-2, pp 189-194 doi:101016/jvetpar200505055.
- Kambashi, B, Boudry, C, Picron P & Bindelle J 2014, 'Forage plants as an alternative feed resource for sustainable pig production in the tropics: a review', *Animal*, vol 8, no 8, pp 1298-1311 doi:101017/S1751731114000561.
- Keambou, TC, Manjeli, Y, Hako, B, Meutchieye, F & Awono, JC 2010, 'Effets compares d'un aliment concentré et de l'aliment traditionnel des éleveurs sur les performances de croissance et économique des porcelets de race locale au Nord Cameroun', *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, vol 63, no 3-4, pp 77-82 <https://doi.org/1019182/remvt10101>.
- Koomkrong, N, Gongruttananun, N, Boonkaewwan, C, Noosud, J, Theerawatanasirikul, S & Kayan, A 2017, 'Fiber characteristics of pork muscle exhibiting different levels of drip loss', *Animal Science Journal*, vol 88, no 12, pp 2044-2049 doi:101111/asj12859.
- Kristensen, L & Purslow, PP 2001, 'The Effect of Ageing on the Water-Holding Capacity of Pork: Role of Cytoskeletal Proteins', *Meat Science*, vol 58, no 1, pp 17–23 <https://doi.org/101016/jmeatsci200609019>.
- Lara, MS, Gutierrez, JI, Timón, M & Andrés, AI 2011, 'Evaluation of two natural extracts (Rosmarinus officinalis L and Melissa officinalis L) as antioxidants in cooked pork patties packed in MAP', *Meat Science*, vol 88, no 3, pp 481-488 doi:101016/jmeatsci201101030.
- Lebret, B, Ecolan, P, Bonhomme, N, Méteau, K & Prunier A 2015, 'Influence of production system in local and conventional pig breeds on stress indicators at slaughter, muscle and meat traits and pork eating quality', *Animal*, vol 9, no 8, pp 1404-1413 doi:101017/S1751731115000609.
- Lebret, B 2008, 'Effects of feeding and rearing systems on growth, carcass composition and meat quality in pigs', *Animal*, vol 2, no 10, pp 1548-1558 doi:101017/S1751731108002796.
- Len, NT, Lindberg, JE & Ogle, B 2008, 'Effect of dietary fiber level on the performance and carcass traits of Mon Cai F1 Crossbred (Mon Cai x Yorkshire) and Landrace x Yorkshire pigs', *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, vol 21, no 2, pp 245-251 <https://doi.org/105713/ajas200860598>.
- López-Huertas, E 2010, 'Health effects of oleic acid and long chain omega-3 fatty acids (EPA and DHA) enriched milks A review of intervention studies', *Pharmacological research*, vol 61, no 3, pp 200-207 <https://doi.org/101016/jphrs200910007>.
- Lynch, S & Frei, B 1993, 'Mechanisms of copper- and iron-dependent oxidative modification of human low-density lipoprotein', *Journal of lipid Research*, vol 34, no 10, pp 1745-1753 [https://doi.org/101016/S0022-2275\(20\)35737-0](https://doi.org/101016/S0022-2275(20)35737-0).

Marchev, J, Doneva, RK & Dimitrova, D 2018, 'East Balkan swine – autochthonous Bulgarian pig breed', *Archivos de Zootecnia*, In: *PROCEEDINGS IX Simposio Internacional sobre el Cerdo Mediterráneo*, no 1, pp 61-65.

Mercier, Y, Gatellier, P & Renerre, M 2004, 'Lipid and protein oxidation in vitro, and antioxidant potential in meat from Charolais cows finished on pasture or mixed diet', *Meat Science*, vol 66, no 2, pp 467-473 [https://doi.org/101016/S0309-1740\(03\)00135-9](https://doi.org/101016/S0309-1740(03)00135-9).

Mernies, B, Carballo, C, Cabrera, C, Barlocco, N & Saadoun, A 2012, 'Ácidos grasos del músculo *Longissimus dorsi* de cerdos Pampa Rocha y cruza con razas Duroc y Large White', *Veterinaria* (Montevideo), vol 48, pp 123.

Mkwanazi, M, Ncobela, C, Kanengoni, A & Chimonyo, M 2019, 'Effects of environmental enrichment on behaviour, physiology and performance of pigs — A review', *Asian-Australasian journal of animal sciences*, vol 32, no 1, pp 1 DOI: <https://doi.org/105713/ajas170138>.

Montenegro, M, Carballo, C, González Barrios, P, Castro, G, Barlocco, N & Llambí, S 2019, 'Inclusion of rice bran in diets for post-weaning piglets: effect on the productive behavior and carcass traits', *Agrociencia Uruguay*, vol 23, no 1, pp e67-e67 doi:1031285/AGRO23111.

Morlein, D, Link, G, Werner, C & Wicke, M 2007, 'Suitability of three commercially produced pig breeds in Germany for a meat quality program with emphasis on drip loss and eating quality', *Meat Science*, vol 77, no 4, pp 504-511 doi:101016/jmeatsci200704030.

Moreno, I, Lipova, P, Ladero, L, Fernández-García, JL & Cava, R 2020, 'Glycogen and lactate contents, pH and meat quality and gene expression in muscle *Longissimus dorsi* from iberian pigs under different rearing conditions', *Livestock Science*, vol 240, pp 104167 <https://doi.org/101016/jlivsci2020104167>.

Morrissey, PA & Kerry, JP 2004, 'Lipid oxidation and the shelf-life of muscle foods. Understanding and Measuring the Shelf-Life of Food', *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*, pp. 357-395.

Mourot, J, Kouba, M & Bonneau, M 1996, 'Comparative study of *in vitro* lipogenesis in various adipose tissues in the growing Meishan pig: Comparison with the Large White pig (*Sus domesticus*)', *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, vol 115, no 3, pp 383-388 [https://doi.org/101016/S0305-0491\(96\)00128-9](https://doi.org/101016/S0305-0491(96)00128-9).

Nielsen, J & Ortenblad, N 2013, 'Physiological aspects of the subcellular localization of glycogen in skeletal muscle', *Applied physiology nutrition, and metabolism*, vol 38, no 2, pp 91-99 <https://doi.org/101139/apnm-2012-0184>.

Ocampo, ID, Bermúdez, FM & Díaz, H 2009, 'Effect of storage time, muscle type, and animal genotype on drip loss in raw pork', *Acta Agronómica*, vol 58, no 3, pp 180-188.

OECD/FAO In Agricultural Outlook 2020-2029, Rome, 2020 <https://doi.org/101787/1112c23b-en>.

Parunovic, N, Petrovic, M, Matekalo-Sverak, V, Trbovic, D, Mijatovic, M & Rarovic, C 2012, 'Fatty acid profile and cholesterol content of m *longissimus* of free-range and conventionally reared Mangalitsa pigs', *South African Journal of Animal Science*, vol 42, no 2, pp 101-113 <http://dxdoiorg/104314/sajasv42i22>.

Poklukar, K, Candek-Potokar, M, Batorek Lukac, N, Tomazin, U & Skrlep, M 2020, 'Lipid deposition and metabolism in local and modern pig breeds: a review', *Animals*, vol 10, no 3, pp 424 doi: 103390/ani10030424.

Popova, T & Marinova, P 2013, 'Protein oxidation in M *longissimus dorsi* and M *semimembranosus* lambs reared indoors and on pasture', *Iranian Journal of Applied Animal Science*, vol 3, no 4, pp 673-677 <https://search-ebscohost-comproxymtimboorguy/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=113893571&lang=es&site=eds-live>.

Pugliese, C, Madonia, G, Chiofalo, V, Margiotta, S, Acciaioli, A & Gandini, G 2003, 'Comparison of the performances of Nero Siciliano pigs reared indoors and outdoors 1 Growth and carcass composition', *Meat Science*, vol 65, no 2, pp 825-831 [https://doiorg/101016/S0309-1740\(02\)00287-5](https://doiorg/101016/S0309-1740(02)00287-5).

Radovic, C, Petrovic, M, Parunovic, N, Radojkovic, D, Savic, R, Stanisic, N & Gogic, M 2017, 'Carcass and pork quality traits of indigenous pure breeds (Mangalitsa, Moravka) and their crossbreeds', *Indian Journal of Animal Research*, vol 51, no 2, pp 371-376 doi:1018805/ijar7496.

Robinson, TP, Wint, GRW, Conchedda, G, Van Boeckel, TP, Ercoli, V, Palamara, E, Cinardi, G, D'Aiotti, L, Hay, SI & Gilbert, M 2014, 'Mapping the Global Distribution of Livestock', *PLoS ONE*, vol 9, no 5, e96084 <https://doiorg/101371/journalpone0096084>.

Rosenvold, K, Laerke, HN, Jensen, SK, Karlsson, AH, Lundstrom, K & Andersen, HJ 2002, 'Manipulation of critical quality indicators and attributes in pork through vitamin E supplementation, muscle glycogen reducing finishing feeding and pre-slaughter stress', *Meat Science*, vol 62, no 4, pp 485-496 [https://doiorg/101016/S0309-1740\(02\)00045-1](https://doiorg/101016/S0309-1740(02)00045-1).

Schleenbecker, R & Hamm, U 2013, 'Consumers' perception of organic product characteristics A review', *Appetite*, vol 71, pp 420-429 <http://dxdoiorg/101016/jappet201308020>.

Siphambili, S, Moloney, AP, O'Riordan, EG, McGee, M & Monahan, FJ 2020, 'The effects of graded levels of concentrate supplementation on color and lipid stability of beef from pasture finished late-maturing bulls', *Animal*, vol 14, no 3, pp 656-666 <https://doiorg/101017/S1751731119002313>.

Stoscheck, CM 1990, 'Quantification of protein', *Methods Enzymology*, vol 182, pp 50-68 [https://doiorg/101016/0076-6879\(90\)82008-P](https://doiorg/101016/0076-6879(90)82008-P).

Straadt, IK, Rasmussen, M, Andersen, HJ & Bertram, HC 2007, 'Aging-Induced Changes in Microstructure and Water Distribution in Fresh and Cooked Pork in Relation to Water-Holding Capacity and Cooking Loss—A Combined Confocal Laser Scanning Microscopy (Clsm) and

Low-Field Nuclear Magnetic Resonance Relaxation Study', *Meat Science*, vol 75, no 4, pp 687–695 doi:101016/jmeatsci200609019.

Switonski, M, Stachowiak, M, Cieslak, J, Bartz, M & Grzes, M 2010, 'Genetics of fat tissue accumulation in pigs: a comparative approach', *Journal of Applied Genetics*, vol 51, no 2, pp 153-168 <https://doi.org/101007/BF03195724>.

Talbott, C, See, T, Ahmedna, M, Fennell, H, Gunthorp, G & Willis, P 2004, 'Potential for small-scale farmers to produce niche market pork using alternative diets, breeds and rearing environments: Observations from North Carolina', *Renewable Agriculture and Food Systems*, vol 19, no 3, pp 135–140 <http://www.jstor.org/stable/44490398>.

Tarricone, S, Colonna, MA, Giannico, F, Ragni, M, Lestingi, A & Facciolongo, AM 2019, 'Effect of an extruded linseed diet on meat quality traits in Nero Lucano pigs', *South African Journal of Animal Science*, vol 49, no 6, pp 1093-1103 <http://dxdoi.org/104314/sajasv49i613>.

Taylor, RG 2004, 'Muscle fibre types and meat quality', *Encyclopedia of Meat Sciences*, pp 876-882.

Terevinto, A 2017, 'La estabilidad oxidativa de la carne fresca; madurada y refrigerada de novillos Aberdeen Angus producidos en Uruguay', Doctoral thesis Universidad de la República (Uruguay).

Terevinto, A, Ramos, A, Castroman, G, Cabrera, MC & Saadoun, A 2010, 'Oxidative status *in vitro* iron induced lipid oxidation and superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in Rhea meat', *Meat Science*, vol 84, no 4, pp 706-710 <https://doi.org/101016/jmeatsci200911007>.

Tomazin, U, Batorek-Lukac, N, Skrlep, M, Prevolnik-Povse, M & Candek-Potokar, M 2019, 'Meat and fat quality of Krskopolje pigs reared in conventional and organic production systems', *Animal*, vol 13, pp 1103-1110 doi:101017/S1751731118002409.

Turner, TD, Mapiye, C, Aalhus, JL, Beaulieu, AD, Patience, JF, Zijlstra, RT & Dugan, MER 2014, 'Flaxseed fed pork: n-3 fatty acid enrichment and contribution to dietary recommendations', *Meat Science*, vol 96, no 1, pp 541-547 <https://doi.org/101016/jmeatsci201308021>.

Verbeke, W, Pérez-Cueto, FJA, de Barcellos, M, Krystallis, A & Grunet, K 2010, 'European citizen and consumer attitudes and preferences regarding beef and pork', *Meat Science*, vol 84, no 2, pp 284-292 <https://doi.org/101016/jmeatsci200905001>.

Vermeulen, L, Van de Perre, V, Permentier, L, De Bie, S, Verbeke, G & Geers, R 2015, 'Pre-slaughter handling and pork quality', *Meat Science*, vol 100, pp 118-123 <https://doi.org/101016/jmeatsci201409148>.

Vincent, A, Louveau, I, Gondret, F, Lebret, B & Damon, M 2012, 'Mitochondrial function, fatty acid metabolism, and immune system are relevant features of pig adipose tissue development', *Physiological Genomics*, vol 44, no 22, pp 1116-1124 <https://doi.org/101152/physiolgenomics000982012>.

Warris, PD, Kestin, SC & Robinson, JM 1983, 'A note on the influence of rearing environment on meat quality in pigs', *Meat Science*, vol 9, no 4, pp 271–279.

Warris, PD & Brown, S 1985, 'The physiological responses to fighting in pigs and the consequences for meat quality', *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol 36, no 2, pp 87-92 doiorg/101002/jsfa2740360207

Weihrauch, JL, Posati, LP, Anderson, BA & Exler, J 1977, 'Lipid conversion factors for calculating fatty acid contents of foods', *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol 54, no 1, pp 36-40 <https://doiorg/101007/BF02671370>.

Wójcik, O, Koenig, K, Zeleniuch-Jacquotte, A, Costa, M & Chen, Y 2010, 'The potential protective effects of taurine on coronary heart disease' *Artherosclerosis*, vol 208, no 1, pp 19-25 <https://doiorg/101016/jatherosclerosis200906002>.

Wood, J, Enser, M, Fisher, A, Nute, G, Sheard, P, Richardson, R, Hughes, S & Whittington, F 2008, 'Fat deposition, fatty acid composition and meat quality', *Meat Science*, vol 78, no 4, pp 343-358 <https://doiorg/101016/jmeatsci200707019>.

Yu, Q, Cooper, B, Sobreira, T & Kim, YHB 2021, 'Utilizing Pork Exudate Metabolomics to Reveal the Impact of Aging on Meat Quality', *Foods*, vol 10, no 3, pp 668 <https://doiorg/103390/foods10030668>.

Zhang, W, Xiao, S & Ahn, DU 2013, 'Protein oxidation: basic principles and implications for meat quality', *Critical reviews in food science and nutrition*, vol 53, no 11, pp 1191-1201 <https://doiorg/101080/104083982011577540>.

Zybert, A, Tarczynski, K, Sieczkowska, H, Krzeczio-Nieczyporuk, E & Antosik, K 2020, 'Relationship of glycogen and lactate concentrations as a pork quality indicator', *South African Journal of Animal Science*, vol 50, no 1, pp 26-37 DOI: 104314/sajasv50i14.

ANEXO 5. SEGUNDO ARTÍCULO

Revista Científica, FCV-LUZ / Vol. XXXII, rfcv-e32154, 1 – 9. 2022. DOI:

<https://doi.org/10.52973/rfcv-e32154>

**Trace elements, macro minerals and iron forms content, in meat of
Pampa Rocha pig reared indoor and outdoor with pasture**

**Contenido de elementos traza, macro minerales y formas de hierro en
carne de cerdo Pampa Rocha criado en confinamiento o al aire libre
con pasturas**

Título corto: Minerales en carne de cerdo criollo

Cecilia Carballo^{1*}, Nandy Espino^{1,2}, Ana Vodanovich, Marcelo Ferrando³, Ali Saadoun^{1,2} y María Cristina Cabrera^{1,2}

^{1*} Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Animal y Pasturas, Laboratorio de Calidad de Alimentos & Productos. Av. E. Garzón 780, C.P. 12900, Montevideo, Uruguay. ²

Universidad de la República, Facultad de Ciencias, Fisiología & Nutrición, Instituto de Biología. Iguá 4225, C.P. 11400, Montevideo, Uruguay.

³ Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas. Av. E. Garzón 780, C.P. 12900, Montevideo, Uruguay.

*autor correspondencia ccarballo@fagro.edu.uy

Cecilia Carballo^{1*}(0000-0002-5958-785X),

Nandy Espino ORCID 0000-0002-0715-9423, espinonandy@gmail.com

Ana Vodanovich ORCID 0000-0003-3954-337, lauvodanovich54@gmail.com

Marcelo Ferrando ORCID 0000-0002-7448-674X, mferrand@fagro.edu.uy

Ali Saadoun ORCID 0000-0003-2251-6748, <asaadoun.edu@gmail.com>

María Cristina Cabrera ORCID 0000-0002-7964-6669, mcab@fagro.edu.uy

RESUMEN

El cerdo Pampa Rocha (PRp) es una raza criolla uruguaya. Se utilizaron 23 cerdos alojados en dos sistemas: cama profunda (I), o al aire libre con pasturas (O), faenados a los 94,5 y 91,5 kg, respectivamente. En ambos sistemas se alimentaron con concentrado comercial, teniendo acceso a libre pastoreo en el sistema O. Inmediatamente luego de la faena, se tomaron muestras de los músculos para análisis: *Longissimus dorsi* (LD), *Psoas major* (PM), *Gluteus medius* (GM), *Semitendinosus* (ST), *Biceps femoral* (BF) y *Quadriceps femoris* (QF). Los cerdos criados en O mostraron un crecimiento más lento, pero mejoraron la conversión de concentrado. El contenido de hierro heme y la relación Fe heme/Fe total fue mayor en O. En el LD se observó menor contenido de hierro heme y total, pero en músculos del jamón, el QF mostró los valores más altos de hierro heme. No se observaron diferencias entre sistemas o músculos para los contenidos de Ca, Mg y K. El contenido de Na fue similar entre sistemas y mayor en PM. No se observaron diferencias entre sistemas para el contenido de elementos traza. Según los resultados obtenidos es posible producir carne de cerdo PRp con contenidos interesantes de minerales, en dos sistemas alternativos al confinamiento clásico, siendo más saludable desde el punto de vista nutricional aquella producida en O. Sería interesante aprovechar algunas diferencias

encontradas entre los músculos LD y PM, que son consumidos normalmente como carne fresca, y que por sus valores se adaptan a las necesidades de la nutrición humana. La cría en O que incluya pasturas implica una alternativa de producción que adiciona valor nutricional y a su vez valoriza esta raza porcina local.

Palabras clave: Cerdo Pampa Rocha; macro minerales; elementos traza; hierro heme; sistema de producción al aire libre

ABSTRACT

Pampa Rocha pig (PRp) is a local breed present and produced in Uruguay. Twenty-three pigs were used housed indoor (I) and outdoor with pasture (O) (live weight 94.5 and 91.5 kg, respectively). Animals were fed with concentrate in both systems, but pasture access was granted to the animals in the O. After slaughtering, the *Longissimus dorsi* (LD), *Psoas major* (PM), *Gluteus medius* (GM), *Semitendinosus* (ST), *Biceps femoral* (BF), and *Quadriceps femoris* (QF) were sampled to be analyzed. In O, the growth of pigs was lower, and improved the concentrate intake:live weight gain. The content of heme iron and the ratio FeHeme/FeTotal were higher in outdoor. The LD muscle showed lower total and heme iron content. For ham, QF showed the highest values of heme iron. No differences were observed between systems or muscles in the content of Ca, Mg, and K. The Na content was similar in both systems, and higher in PM. No differences were observed between production systems for trace elements content. According to the results obtained, it is possible to

produce PRp meat with interesting mineral content, in two alternative systems to the classic confinement. This breed produces healthier meat in O. It could be interesting to exploit some differences founded between LD and PM muscles, which are normally consumed as fresh meat, and are adapted to the different demands of human nutrition. Rearing in O that include pastures is a good way to promote and add nutritional value to this local breed.

Key words: Pampa Rocha pig; macro mineral; trace element; hem iron; outdoor production system

INTRODUCTION

Pampa Rocha pig (PRp) is a local genetic animal resource reared in Uruguay, mainly in Rocha, East region of the Country [9, 35], whose population is in danger-maintained condition [14], and its revaluation being important to recover it. In that region, family-scale producers work hardly to conserve that local pig (*Sus scrofa domesticus*) and look how it can be valued through its products, such as meat, in a first step for the local market and afterward in the international one. Much remains to be done, and the producers need scientific information regarding the meat quality parameters of the PRp to help them to do their promotion campaigns. Two advantageous points could help this pig to grow as a meat product for local and regional consumers. The first one is that the pig meat is growing within the international meat market in comparison to others usual meat [29]. The second one is that consumers today ask for differential and local products [6]. By other side, pork is a traditional and

valuable source of protein and micronutrients in many low-income countries, contributing with the physical and cognitive development of children and adolescents. In this sense, in Latin America, pork consumption has risen rapidly in recent years, particularly in Argentina, Brazil, México, and Uruguay, with this demand driven by higher domestic production, quality improvements, and favourable relative prices [29, 30]. Additionally, fertile lands with abundant pasture represent an opportunity to rear pigs with improved attributes that might influence consumer perception. Globally, consumer demands are changing, and recent outbreaks of animal diseases have raised health and safety food concerns [13]. As previous studies have demonstrated that nutrients as mineral content can vary among animal species, diets, genetic types, muscles, ages, and processes [2, 4, 10, 31, 34] and some mineral, particularly Fe content can be best in outdoor systems and in the local breeds [27, 40]. The accurate determination of nutrient content in a new animal protein food is necessary to accomplish the nutritional value of the different cuts of meat in relation to their economic value [4, 37]. People increasingly prefer ecologically friendly or organic meat products that are antibiotic-free and produced in line with ethical and animal welfare standards [15]. Outdoor (O) production represents an opportunity to meet these new demands, and future systems should include creole local breeds and pastures to add value to meat products. On the other hand, the deep bed system is present in Uruguay and in the region as an alternative system to classic confined one. As main characteristics, the best animal welfare is mentioned because de litter (dry

vegetable matter) enriches the environment, water is not used for cleaning and there is no management of excreta. Low-cost facilities can be used, making this system viable on family farms [12]. If PRp meat is valued and become a commercial product, so this genetic resource animal will be protected and preserved in its original ambient for the next generation of producers. This economic schema has been useful to protect and preserve other productive species in other countries. Probably the most illustrative example would be the Iberian pig, today produced in Spain and famous for its products as delicatessen, known worldwide [31]. PRp is far to be at the same level and status that the Iberian pig, but availability of nutritional information of this kind of animal could help it to grow as a differential product. Thus, the objective of this investigation was to evaluate the nutritional value of fresh meat obtained from PRp produced in Uruguay in two alternative production systems to classic confined, outdoor with pastures and deep bed, both possible to be adopted by family producers. The present investigation has been focused on trace and macro minerals, as well as on heme and non-heme iron, zinc, copper, manganese, calcium, magnesium, sodium, and potassium contents in the *Longissimus dorsi*, *Psoas major*, and ham muscles, i.e., *Gluteus medius*, *Semitendinosus*, *Biceps femoral*, and *Quadriceps femoris*.

MATERIALS AND METHODS

Animals and feeding

The whole experiment was conducted with the approval of the animal ethical committee of the Faculty of Agronomy (Udelar-Uruguay, protocol N° 317, file N° 021130-001003-16). Twelve males (castrated) and eleven females PRp born in an O system, were weaned at 45 days of age (DA), live weight (LW) 14.5 ± 3.5 kilograms (kg), and housed in group, both sex mixed, in a shed. The sides of the shed were fenced with wire mesh and the litter was made of wheat straw. The animals remained in there until they reached the LW of $39.6 \text{ kg} \pm 2.8$. Then 11 animals (6 males and 5 females) were kept in the same shed, providing 1.5 square meters (m^2) of floor per animal (Indoor, I). The other 12 animals (8 males and 4 females) were housed grouped in field facilities, next to the shed, fenced with wire mesh too (O with pasture). The animals of the O system have always access to a refuge and cultivated pastures, having an available grazing area of 300 m^2 per animal. The criteria for composed the groups in each treatment was the similar weight when pigs were assigned to each production system, and presence of male and female pigs in both. Both housing systems had feeders for concentrate and automatic water sources with permanent access. The concentrate characteristics are showed in the next table.

TABLE I
Composition and nutrient level of concentrate (air-dry basis)

Ingredient %		Nutrient Content %	
Rice bran, defatted	20	Dry matter %	90.23
Rice bran, whole	10	DE (Mcal/kg)	2.79
Sorghum grain, ground	25	Crude Protein	14.49
Corn grain, ground	15	Crude ash	12.11
Wheat grain, ground	15	Ether extract	3.35
Soybean meal, 47% CP	10	Crude Fiber	8.30
Calcium carbonate	2.5	Calcium	0.63
Salt	0.35	Available phosphorus	0.27
Premix ¹	2.15		

The premix¹ included: ROVIMIX® Pig CT 2 %, vitamin A, D3, E, K3, C, thiamine, riboflavin, pyridoxine, cyanocobalamin, folic acid, pantothenic acid, copper (as copper sulfate), selenium (as sodium selenite), zinc (as zinc oxide), iron (as iron sulfate), manganese (as manganese sulfate), iodine, lysine, threonine, and OXICAP® MS (antioxidant) and BioCholine® and MICOFIX® (mycotoxin binder), and ROVABIOTM (multienzyme complex).

In the I system, feed offered was calculated according to LW, at rate of 100% of maximum voluntary intake (MVI) [28]. In the O system with access to pasture, diet intake was restricted by 15% of MVI, up to 67.50 ± 12.79 kg of LW; after that, there was a subsequent restriction of 25% until the sacrifice. This procedure was applied to favour pasture intake [19]. The cultivated pasture was a mixture, in a dry matter (DM) basis, of *Cichorium intybus* (48.6 %), *Trifolium pratense* (34.9 %), *Lolium multiflorum* (12.3 %), and undefined weed (4.2 %). Pasture consumption was estimated for a period of 7 d prior to slaughter, through the difference in forage availability at the entrance and exit of the animals to the grazing strip, applying the double sampling method [25]. At the end of the experiment, the animals (LW of 94.5 ± 3.6 and 91.5 ± 3.4 kg for I and O with pasture, respectively), were slaughtered in a commercial slaughterhouse. Immediately after sacrifice, *Longissimus dorsi* (LD) between the 10th and 12th ribs, *Psoas major* (PM), *Gluteus medius* (GM), *Semitendinosus* (ST), *Biceps femoral* (BF), and *Quadriceps femoris* (QF) were

removed and transported to the laboratory in refrigerated isothermal boxes (Rubbermaid Incorporated, Huntersville, USA).

Productive and carcass parameters

Concentrate intake was estimated daily considering the offer and residual feed. The individual LW (kg) was registered every 14 d. At slaughtering, carcasses were individually identified and weighted on an electronic hanging scale (NQF, D5000, Uruguay). The dorsal fat thickness was measuring in three points of the each LD sample with caliber millimeters (mm, Kendo, XM2007006, China).

Mineral determinations

For each muscle, a 5 grams (g) sample, free of visible fat and connective tissue, were used. The samples were dried in a forced-air oven (105 °C, Labotecgroup, BJPX-Juneau, Uruguay), until they reached a constant weight. Dried samples were then incinerated in a digital muffle furnace (Thermolyne, Cimarec 3, USA), at 580 °C for 16 hours (h), using porcelain crucibles (SUP-68281) with caps (SUP-68223), both from Marienfeld (Superior, Laboratory Glassware, Germany), until whitish ashes were obtained. The ashes were then solubilized with 2 milliliters (mL) of HCl 6 Molar (M) (HCl, Merck a.g, analytical grade) and 2 mL of HNO₃ 1 M ultrapure (HNO₃ 65%, Merck, a.g. distilled by sub boiling), over a hot plate (< 80°C, Thermolyne, 48000 Furnace, USA). After that, samples were filtered using Whatman ashless filter paper and up to 25 mL with deionized, 18 Mohms. centimeters (cm⁻¹) water [34]. A blank

containing only acid was included too. Total Fe, Zn, Cu, Mn, Ca, Mg, Na and K contents were determined by atomic absorption spectrometry (AAS, Perkin Elmer, Analyst 300, USA) with either flame or emission. For each analyte, adequate standard solutions of Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Cu, and Mn containing 1000 micro grams (μg)/mL in 2% HCl from Perkin Elmer (TruQTM grade, USA) were used, and a blank was included for each analyte with 2% HCl. Minerals analysis was performed via atomic absorption spectroscopy (AAS, Perkin Elmer, Analyst 300, USA). This system was equipped with a hollow monoelement cathode lamp (Lumina Hollow Cathode Lamp, Perkin Elmer, USA) for Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Cu, and Mn. To avoid interference in the measurements of Ca and Na, solutions of La₂O₃ and Al–Cs, respectively, were dissolved in 2% HCl and used. An air–acetylene flame was used with a ratio of 10–2.5, L/ minutes (min). The limit of detection (LOD) was calculated as 3 second (s) / meters (m), where was the standard deviation of 20 blank measurements divided by the slope of the calibration curve (m). The limit of quantification (LOQ) was calculated as 10 s/m.

Heme and non-heme Iron determination

For heme iron determination, Hornsey's procedure was followed [16] as adapted by Ramos *et al.* [34]. Briefly, fresh meat samples (2 g) were finely chopped and macerated in 9 mL of HCl-acidified acetone in glass test tubes (Pyrex, N°9820, USA). Total heme pigments in meat samples were determined as hemin after extraction with acidified acetone solution. Hemin was quantified

by its absorption peak at 640 nanomero (nm) in a spectrophotometre (Thermo Corporation, California, USA). Heme iron content was calculated with the factor 0.0882 µg iron/µg hematin. Non-heme iron was determined as the difference between total iron and heme iron content.

Statistical analysis

Data are presented as mean ± SEM for each rearing system, muscle and sex studied (when differences were observed for sex). Main effects, namely I, O with pasture, muscle and sex, were analysed using an ANOVA with a GLM procedure and a post hoc Tukey–Kramer multiple comparison test, with a significance level set at $P < 0.05$. The data were analysed using the software NCSS (NCSS, 329 North 1000 East, Kaysville, UT 84037, USA, Version 2009).

RESULTS AND DISCUSSION

Productive parameters

As seen in TABLE II, differences between production systems in age at slaughter, LW daily gain, and concentrate intake/live weight gain ratio were observed. The growth of pigs in O system with pasture was lower and age of slaughter significantly higher than pigs in I. Concentrate restriction applied to pigs could explain this results [32]. When concentrate is not restricted, growth of pigs reared O is higher than reared in I, as reported Juska *et al.* [20].

TABLE II
Productive parameters and carcass characteristics from Pampa Rocha pigs reared in an Indoor or Outdoor with pasture production systems

Parameters	Systems		P-value
	Indoor	Outdoor	
Age of slaughter (days)	171.0 ± 1.36	183.1 ± 1.30	0.001*
Live weight (kg)	94.55 ± 3.63	91.50 ± 3.38	ns
Live weight gain (g/day) [†]	801.2 ± 33.00	686.3 ± 31.60	0.02*
Concentrate intake/ live weight gain (kg/kg) [†]	4.34 ± 0.16	3.85 ± 0.16	0.02*
Carcass weight (kg)	68.05 ± 0.68	66.30 ± 0.65	ns
Carcass yield (%)	72.00 ± 0.76	70.2 ± 0.72	ns
Dorsal fat thickness (mm)	28.45 ± 1.91	25.43 ± 1.83	ns

Values in Table II are mean ± SEM of n = 11 (6 males, 5 females) for I and n= 12 (8 males, 4 females) for O, for fattening period. Values of P < 0.05 indicate significant differences between production systems by ANOVA GLM. As sex effect was no significant means represents male and female together.

No differences in dorsal fat thickness or carcass yield between systems were observed (TABLE II). In general, pigs fed pastures have a lower performance, due to greater development and weight of gastrointestinal tract [22]. For other hand, local breeds have a high dorsal fat thickness (29-63mm) although this feature can be modified through the feed and the production system [1, 32]. Pasture intake with a restricted concentrated diet improved the ratio of concentrated intake: LW gain. This is important for little and medium scale farmers that search lower production costs. No differences due to the effect of were observed for any of the variables studied.

Mineral composition in concentrate and in the cultivate pasture

Concentrate and pasture mineral composition is show in TABLE III. The botanical composition and the mineral content of the different species of pasture varied with the sampling date. The high contribution of Fe (mg/kg DM) in comparison to the concentrate stands out, similarly to Mn. On the other hand, the concentrate had high levels of Cu, Zn, and Mg compared to the three plant species that made up the mixture. In general, the ryegrass showed lower contents of Fe, Mn, Cu, and Zn.

Data in TABLE III represent mean \pm standard error (SEM) of $n = 3$ for each date of sampling or for concentrate. July and September 1 and 2 represents the initial and final dates for sampling during the fattening period of pigs in O.

The contribution of Fe from *Trifolium pratense* was important with respect to the other plant species, as well as to the concentrate. Ramos *et al.* [33] reported higher Fe bioaccessibility in *Trifolium pratense* than in *Medicago sativa* and *Lotus corniculatus*. *Cichorium intybus* was observed in a higher percentage of the botanical composition. This plant species is more preferred by pigs than the other two [8]. Pasture intake (DM) represented 1.6 % of LW in animals in the O system during the finishing period. Rivero *et al.* [35] in a review, report many different levels of grass consumption, depending on the type of grass, the level of concentrate supply, the breed of pig and the weight of the animals. The PRp breed generally presents a high consumption of pastures based on LW.

TABLE III

Trace elements and macro mineral contents in concentrate and *Trifolium pratense*, *Cichorium intybus*, and *Lolium multiflorum*, representing the botanical composition of pasture offered to Pampa Rocha pigs during the fattening period in the O production system

		Trace elements				Botanical composition
		Fe	Zn	Cu	Mn	
Pasture	Month*	mg/kg dry weight				% Dry matter
<i>Trifolium pratense</i>	Jul. 1	1101.8 ± 59.3	28.6 ± 2.8	6.6 ± 0.8	134.7 ± 2.6	15.4 ± 5.2
	Jul. 2	789.2 ± 31.1	24.8 ± 2.2	8.5 ± 1.5	129.5 ± 1.6	27.5 ± 3.4
	Sep. 1	608.7 ± 28.4	29.8 ± 4.9	14.9 ± 1.6	112.0 ± 3.7	50.6 ± 5.7
	Sep. 2	926.8 ± 55.3	15.7 ± 0.3	4.7 ± 0.5	128.7 ± 4.3	45.9 ± 8.6
<i>Cichorium intybus</i>	Jul. 1	738.1 ± 26.9	41.5 ± 5.3	8.6 ± 0.3	167.3 ± 4.7	65.7 ± 3.3
	Jul. 2	560.0 ± 36.8	35.0 ± 6.5	8.1 ± 0.8	145.0 ± 10.5	53.9 ± 6.8
	Sep. 1	577.7 ± 94.2	28.2 ± 2.5	12.4 ± 1.6	117.3 ± 8.7	36.3 ± 3.5
	Sep. 2	728.0 ± 238.0	28.5 ± 1.1	12.9 ± 0.4	151.9 ± 19.7	38.8 ± 7.7
<i>Lolium multiflorum</i>	Jul. 1	508.1 ± 48.7	10.1 ± 0.1	4.9 ± 0.4	111.8 ± 14.9	16.8 ± 3.3
	Jul. 2	351.4 ± 52.5	8.2 ± 1.2	4.7 ± 0.6	88.8 ± 6.0	13.7 ± 3.3
	Sep. 1	404.5 ± 67.7	10.9 ± 1.4	4.3 ± 0.8	72.3 ± 4.5	9.9 ± 1.8
	Sep. 2	656.1 ± 207.5	8.7 ± 0.9	3.6 ± 0.7	72.4 ± 6.7	8.8 ± 2.9
Concentrate		188.5 ± 10.7	250.3 ± 17.8	38.2 ± 4.5	74.1 ± 3.5	
		Macro minerals				Botanical composition
		Ca	Mg	Na	K	
		g/100 g dry weight				% Dry matter
<i>Trifolium pratense</i>	Jul. 1	0.61 ± 0.01	0.25 ± 0.01	0.17 ± 0.01	2.45 ± 0.02	15.4 ± 5.2
	Jul. 2	0.74 ± 0.04	0.27 ± 0.02	0.10 ± 0.01	2.44 ± 0.08	27.5 ± 3.4
	Sep. 1	0.85 ± 0.01	0.26 ± 0.01	0.45 ± 0.01	2.43 ± 0.06	50.6 ± 5.7
	Sep. 2	1.01 ± 0.01	0.30 ± 0.01	0.35 ± 0.01	1.58 ± 0.08	45.9 ± 8.6
<i>Cichorium intybus</i>	Jul. 1	0.72 ± 0.03	0.24 ± 0.01	0.30 ± 0.02	4.12 ± 0.23	65.7 ± 3.3
	Jul. 2	0.63 ± 0.07	0.21 ± 0.02	0.24 ± 0.02	4.18 ± 0.30	53.9 ± 6.8
	Sep. 1	0.90 ± 0.06	0.25 ± 0.02	0.56 ± 0.02	2.28 ± 0.09	36.3 ± 3.5
	Sep. 2	0.97 ± 0.02	0.29 ± 0.00	0.99 ± 0.11	2.43 ± 0.26	38.8 ± 7.7
<i>Lolium multiflorum</i>	Jul. 1	0.40 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.29 ± 0.01	2.92 ± 0.09	16.8 ± 3.3
	Jul. 2	0.41 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.27 ± 0.01	2.74 ± 0.10	13.7 ± 3.3
	Sep. 1	0.44 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.30 ± 0.01	2.85 ± 0.09	9.9 ± 1.8
	Sep. 2	0.44 ± 0.02	0.21 ± 0.02	0.48 ± 0.03	2.51 ± 0.15	8.8 ± 2.9
Concentrate		0.92 ± 0.08	0.62 ± 0.01	0.41 ± 0.02	1.37 ± 0.10	
		Trace elements				Botanical composition
		Fe	Zn	Cu	Mn	
Pasture	Month*	mg/kg dry weight				% Dry matter
<i>Trifolium pratense</i>	Jul. 1	1101.8 ± 59.3	28.6 ± 2.8	6.6 ± 0.8	134.7 ± 2.6	15.4 ± 5.2
	Jul. 2	789.2 ± 31.1	24.8 ± 2.2	8.5 ± 1.5	129.5 ± 1.6	27.5 ± 3.4
	Sep. 1	608.7 ± 28.4	29.8 ± 4.9	14.9 ± 1.6	112.0 ± 3.7	50.6 ± 5.7
	Sep. 2	926.8 ± 55.3	15.7 ± 0.3	4.7 ± 0.5	128.7 ± 4.3	45.9 ± 8.6
<i>Cichorium intybus</i>	Jul. 1	738.1 ± 26.9	41.5 ± 5.3	8.6 ± 0.3	167.3 ± 4.7	65.7 ± 3.3
	Jul. 2	560.0 ± 36.8	35.0 ± 6.5	8.1 ± 0.8	145.0 ± 10.5	53.9 ± 6.8
	Sep. 1	577.7 ± 94.2	28.2 ± 2.5	12.4 ± 1.6	117.3 ± 8.7	36.3 ± 3.5
	Sep. 2	728.0 ± 238.0	28.5 ± 1.1	12.9 ± 0.4	151.9 ± 19.7	38.8 ± 7.7
<i>Lolium multiflorum</i>	Jul. 1	508.1 ± 48.7	10.1 ± 0.1	4.9 ± 0.4	111.8 ± 14.9	16.8 ± 3.3
	Jul. 2	351.4 ± 52.5	8.2 ± 1.2	4.7 ± 0.6	88.8 ± 6.0	13.7 ± 3.3
	Sep. 1	404.5 ± 67.7	10.9 ± 1.4	4.3 ± 0.8	72.3 ± 4.5	9.9 ± 1.8
	Sep. 2	656.1 ± 207.5	8.7 ± 0.9	3.6 ± 0.7	72.4 ± 6.7	8.8 ± 2.9
Concentrate		188.5 ± 10.7	250.3 ± 17.8	38.2 ± 4.5	74.1 ± 3.5	
		Macro minerals				Botanical composition
		Ca	Mg	Na	K	
		g/100 g dry weight				% Dry matter
<i>Trifolium pratense</i>	Jul. 1	0.61 ± 0.01	0.25 ± 0.01	0.17 ± 0.01	2.45 ± 0.02	15.4 ± 5.2
	Jul. 2	0.74 ± 0.04	0.27 ± 0.02	0.10 ± 0.01	2.44 ± 0.08	27.5 ± 3.4
	Sep. 1	0.85 ± 0.01	0.26 ± 0.01	0.45 ± 0.01	2.43 ± 0.06	50.6 ± 5.7
	Sep. 2	1.01 ± 0.01	0.30 ± 0.01	0.35 ± 0.01	1.58 ± 0.08	45.9 ± 8.6
<i>Cichorium intybus</i>	Jul. 1	0.72 ± 0.03	0.24 ± 0.01	0.30 ± 0.02	4.12 ± 0.23	65.7 ± 3.3
	Jul. 2	0.63 ± 0.07	0.21 ± 0.02	0.24 ± 0.02	4.18 ± 0.30	53.9 ± 6.8
	Sep. 1	0.90 ± 0.06	0.25 ± 0.02	0.56 ± 0.02	2.28 ± 0.09	36.3 ± 3.5
	Sep. 2	0.97 ± 0.02	0.29 ± 0.00	0.99 ± 0.11	2.43 ± 0.26	38.8 ± 7.7
<i>Lolium multiflorum</i>	Jul. 1	0.40 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.29 ± 0.01	2.92 ± 0.09	16.8 ± 3.3
	Jul. 2	0.41 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.27 ± 0.01	2.74 ± 0.10	13.7 ± 3.3

	Sep. 1	0.44 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.30 ± 0.01	2.85 ± 0.09	9.9 ± 1.8
	Sep. 2	0.44 ± 0.02	0.21 ± 0.02	0.48 ± 0.03	2.51 ± 0.15	8.8 ± 2.9
Concentrate		0.92 ± 0.08	0.62 ± 0.01	0.41 ± 0.02	1.37 ± 0.10	

Data are mean ± SEM of $n = 11-12$. The main effects were analyzed by ANOVA with GLM procedure and the Tukey–Kramer test for production system, muscle type and sex ($p < 0.05$). ns: no significance.

Iron forms

Rearing system impact the iron forms particularly the bioavailable iron content, heme iron, and the ratio heme iron/total iron, as shown in FIGS. 1 and 2, but no effect on the total iron and non-heme iron. Indeed, a higher content of heme iron in meat come from O with pasture rearing system related to I ($P < 0.04$). The iron forms contents were no affected by the sex of pigs.

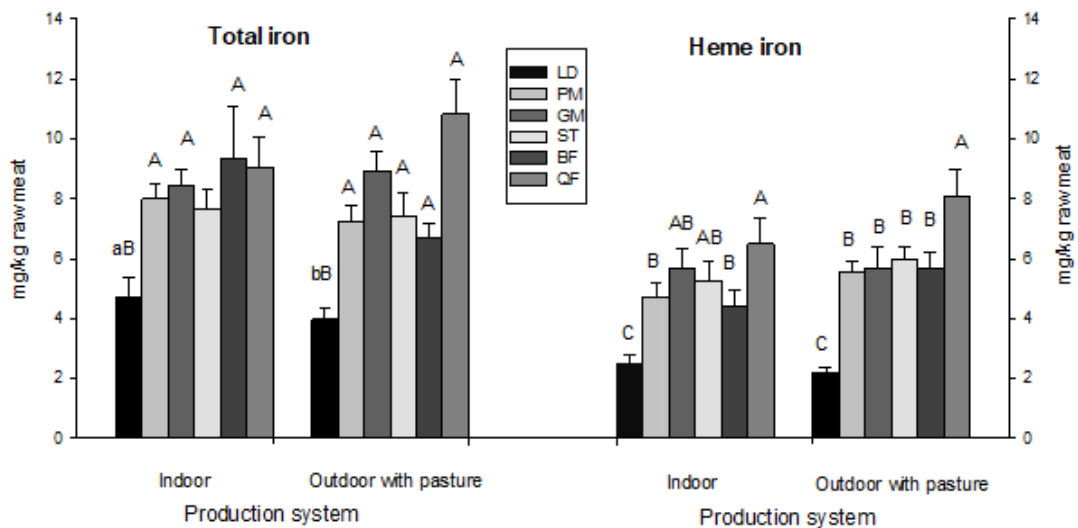


FIGURE 1. Iron forms as total iron and heme iron content in *Longissimus dorsi* (LD), *Psoas major* (PM), *Gluteus medius* (GM), *Semitendinosus* (ST), *Biceps femoral* (BF), and *Quadriceps femoris* (QF) muscles from Pampa Rocha pigs (f and males) reared on I or O. Data are mean ± SEM of $n = 11-12$. Values followed by different lowercase letters indicate

significant differences between production systems for each muscle. Values followed by different uppercase letters indicate significant differences between muscles for each production system.

An interesting muscle effect show a differential content for total iron when all muscles were studied. The LD muscle showed lower total iron content ($P < 0.001$) related the other muscles studied and also a lower hem iron ($P < 0.001$; 2.50 and 2.07 mg/kg raw meat in O and I FIG. 1).

In addition, LD iron content was higher in pigs reared I (4.71 vs. 3.97 mg/kg raw meat). QF muscle showed the highest values of heme iron in both systems (8.08 and 6.50 mg/kg raw meat in O and I, respectively). No differences were observed between systems, muscles or sex, for non-heme iron content (FIG. 2). Non-heme iron content differed only in BF muscle, and was higher in I pig meat than O pig meat (3.64 vs. 1.27 mg/kg raw meat). The average values for non-heme iron content were 2.05, 2.47, and 2.53 mg/kg of raw meat from LD, PM, and ham muscles, respectively. Finally, the Fe Heme/Fe Total ratio was higher in O pigs ($P < 0.02$), and no differences were observed between muscles nor sex (FIG. 2).

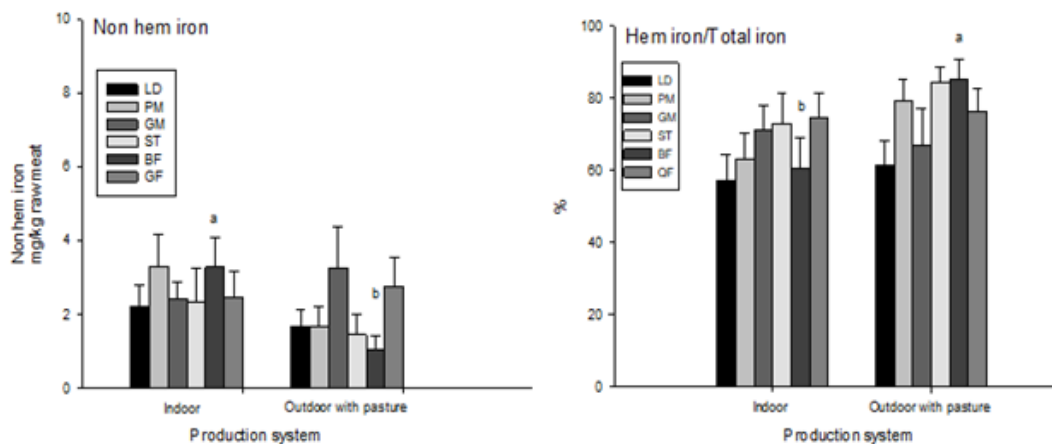


FIGURE 2. Non-heme iron and % of heme iron/total iron contents in *Longissimus dorsi* (LD), *Psoas major* (PM), *Gluteus medius* (GM), *Semitendinosus* (ST), *Biceps femoral* (BF), and *Quadriceps femoris* (QF) muscles from Pampa Rocha pigs reared on indoor or outdoor with pasture. Data are mean \pm SEM of n = 11–12. Values followed by different lowercase letters indicate significant differences between production systems for muscle.

Iron forms, as total iron and heme iron in meat depends on many factors as breed, muscle type, age at slaughter [4]. Previous works [21] have showed that quantity and chemical form of the myoglobin, the main heme pigment could influence the differences in the amount of heme iron in muscles. The more oxidative muscles, as PM, QF and the other ham muscles in the present work, has a high content of iron related to high content of myoglobin securing the anaerobic conditions and this is maximized with the animals physical activity [5, 34], as in the O with pasture system studied here (FIGS. 1 and 2). Comparing meats, pig meat is lower in total and heme iron related to beef meat, but this increased heme iron content observed in meat came from O is an added value for this local breed, particularly for the children nutrition. PRp meat contributes about 0.4–1.0 mg of total Fe with a portion of 100 g,

contributing with a 5-15% of the dietary reference values for children [18]. By other side, a lower iron content in this pig meat compared to beef meat is also more indicate for adults to avoid the negative effects associated to high iron content [17]. Data about iron forms content reported by other authors vary greatly in local and commercial breeds [10, 31, 38, 40]. Genetic factors and experimental conditions (system, diet) and muscles studied could explain these differences [4, 34, 38].

Macro minerals: Ca, Mg, Na and K

For high value muscle as LD and PM, no differences were observed between systems or muscles in the contents of Ca, Mg, K (TABLE IV). The Na content being similar in both systems, and it was different between the LD and PM muscles, being higher in the latter (212.7 vs. 253.3 mg/kg of raw meat). The Ca content was similar in both muscles studied, and stood at 42.36 mg/kg of raw meat. On the other hand, Mg content was 257.8 mg/kg, on average, for raw meat from the LD and PM, but female has significantly more content of Mg ($P < 0.05$). Additionally, average K content was 3527 mg/kg of raw meat from these muscles. In previous work [10] have reported high Mg contents in the LD muscle but no details about sex was furnished.

TABLE IV

Trace element and macro mineral contents in *Longissimus dorsi* (LD) and *Psoas major* (PM) muscles from Pampa Rocha pigs finished in indoor or outdoor with pasture

Items mg/kg raw meat	Production system				Sys	Mus.	Sex
	Indoor		Outdoor with pasture				
	Muscle						
LD	PM	LD	PM				
Zn	11.78 ± 0.82	20.38 ± 2.13	10.68 ± 0.33	20.49 ± 1.79	ns	P=0.001 PM>LD	ns
Cu	1.59 ± 0.13	1.79 ± 0.12	1.43 ± 0.18	1.58 ± 0.21	ns	ns	ns
Mn	1.57 ± 0.27	1.37 ± 0.15	0.94 ± 0.31	1.12 ± 0.11	ns	ns	ns
Ca	44.83 ± 4.60	43.13 ± 4.91	44.24 ± 2.20	44.02 ± 2.41	ns	ns	ns
Mg	267.56 ± 14.98	254.26 ± 5.92	258.09 ± 7.43	250.96 ± 4.02	ns	ns	P=0.026 (f>m)
Na	225.47 ± 13.08	255.79 ± 15.17	199.90 ± 8.51	250.86 ± 10.25	ns	P=0.002 PM>LD	ns
K	3642 ± 238	3432 ± 96	3573 ± 108	3466 ± 81	ns	ns	ns

Data are mean ± SEM of n = 11–12. The main effects were analysed by ANOVA with GLM procedure and the Tukey–Kramer test for system, muscles and sex (P < 0.05). f: female, m: male. ns: no significance.

For ham muscles (TABLE V), differences between systems or muscles not were observed for macro minerals content. The average content was 41.38, 219.28, 283.74 and 3724 mg/kg raw meat, for Ca, Mg, Na and K, respectively. It is necessaire to consider that these muscles are industrialized together for consume.

Trace minerals: Zn, Cu, Mn

For Zn, Cu and Mn no effect of system or sex were obtained (TABLE IV) but difference between muscles in PM and LD for Zn content was significantly (P < 0.05), 20.43 and 11.23 mg/kg raw meat, respectively for the I and O systems. For these muscles, the average content of Mn was 0.062 mg/kg of fresh meat for LD and PM. Several authors have reported higher values for

Mn content in pig meat in commercial pig breeds from intensive system [39] and pork available at markets [3].

TABLE V

Trace element and macro mineral contents in *Gluteus medius* (GM), *Semitendinosus* (ST), *Biceps femoral* (BF), and *Quadriceps femoris* (QF) muscles from Pampa Rocha pigs finished in indoor or outdoor with pasture.

Items mg/kg raw meat	Indoor Muscle			
	GM	ST	BF	QF
Zn	25.54 ± 2.86	25.71 ± 1.94	21.09 ± 3.15	24.16 ± 3.09
Cu	0.95 ± 0.10	0.96 ± 0.07	0.96 ± 0.08	0.99 ± 0.11
Mn*	0.035 ± 0.005	0.030 ± 0.003	0.031 ± 0.004	0.031 ± 0.004
Ca	41.16 ± 1.71	46.79 ± 4.62	43.52 ± 6.23	42.47 ± 3.89
Mg	198.44 ± 19.66	228.99 ± 14.94	202.19 ± 21.18	237.32 ± 12.49
Na	294.61 ± 30.08	331.60 ± 28.10	256.96 ± 13.58	294.58 ± 20.20
K	2939 ± 345	4137 ± 471	3083 ± 383	4031 ± 392
Outdoor with pasture Muscle				
	GM	ST	BF	QF
Zn	28.79 ± 1.84	20.97 ± 2.50	20.46 ± 2.73	32.62 ± 4.95
Cu	1.21 ± 0.10	1.00 ± 0.09	0.96 ± 0.11	1.21 ± 0.11
Mn*	0.039 ± 0.003	0.029 ± 0.002	0.034 ± 0.003	0.039 ± 0.004
Ca	42.23 ± 5.28	37.72 ± 4.02	39.03 ± 2.57	39.14 ± 3.90
Mg	222.12 ± 16.82	211.42 ± 12.24	216.69 ± 10.31	230.44 ± 9.90
Na	335.39 ± 22.93	249.93 ± 15.38	265.29 ± 19.87	268.05 ± 20.39
K	3718 ± 368	3945 ± 310	3545 ± 305	4071 ± 300

Main effects: Production systems ns; Muscle ns; Sex: * Mn: p=0.042; m>f; Interactions ns.

Data are mean ± SEM of n = 11–12. The main effects were analysed by ANOVA with GLM procedure and the Tukey–Kramer test for production system, muscle type and sex (P < 0.05). f: female, m: male. ns: no significance.

For the muscles that made up the ham, no differences were observed between production systems for trace elements content. Only Mn content was different between male and female (0.036 vs. 0.030 mg/kg raw meat for male and female respectively). Nicolik *et al.* [27] observed 15.8 and 15.2 mg/kg Zn contents in ham and loin, respectively, from commercial pigs. Regarding the

content of Cu, the average content was 1.51, 1.68, and 1.03 mg/kg of meat from LD, PM, and ham muscles, respectively. This content is high compared to Figures reported in other works [3, 27, 39]. Nicolik *et al.* [27] reported a lower Cu content, and that represents about 30–40% of that observed in this experiment. By other side, Cu content was similar to that reported in Iberian pigs in LD and BF muscles [31]. Cheng *et al.* [10] evaluated mineral content in LD muscle in commercial breeds, and their study reports lower Zn and Cu contents and higher Mn contents than the GM muscle from PRp. The importance of PRp meat for people studied here is appreciable through the contribution of this meat with the demands for human nutrition. Indeed, 100 g of PRp meat could contribute important amounts of minerals: 1.1–3.3 mg Zn, 0.1–0.2 mg Cu, 4.0–4.5 mg Ca, 19.8–26.8 mg Mg, 20.0–33.5 mg Na, 343–414 mg K, and 0.4–1.1 mg Fe. Considering the needs of children between 1 and 3 years old, 100 g of PRp meat represents about 100% of their required Zn and 20% of their required Cu, Mg, and K. A lack of micronutrients such as trace elements, iron, and zinc is prevalent in many countries [23] and this knowledge contributes to support the strategies food based to eliminate anaemia affecting preschool children. It is difficult to make a correct comparison and to generalize regarding the mineral content between the PRp and other breeds, because although there are many reports, the environment, feeding, breeds, age and handling are different. Considering all the minerals elements determined in this study, the PRp produced I and O showed interesting levels of mineral contribution to human nutrition. For iron, a particular interest is offered by

rearing in the O and this add a particular value to this animal protein in a friendly system for the consumers. In a study carried out by various institutions on the nutritional contribution of chicken (*Gallus gallus domesticus*) and pork meat produced in Uruguay, some mineral content in meat in different muscles from various industries was determined [7]. The contents (mg/100g) of Fe, Zn, Na, Mg and K found were the following: <0.75, 1.45, 39, 25, and 398 in LD; 1.08, 1.88, 47, 26, and 410 in PM; and 0.89, 1.86, 45, 25, and 390 in ham. According to results obtained in this work, meat from PRp, produced in two alternative system, O with pastures and I on deep bed, presents a mineral content similar to meat offered in national market from commercial breeds. Regards to pasture consumption effect on mineral content, this not was observed, but the effect to physic activity could explain de major Fe Heme in meat produced in the O system.

Meat produced in O with pastures is healthier, since the FeHeme/FeTotal is higher, being a good way to promote and add nutritional value to this local breed, considering its importance for prevent the iron deficiency anaemia (DA). The consequences of DA, especially in children under 5 years of age, include poor immune function and response to vaccination, and moderate DA is associated with depressed neurodevelopment and impaired cognitive and academic performances [11]. In addition, the Myristic, Palmitic and Arachidonic acids, with atherogenic effects, are presents in significantly lower percentages in PRp meat [24]. These characteristics added to adequate sodium and potassium content in this meat, particularly in LD muscle, are very

important from prevent cardiovascular diseases and arterial hypertension [26, 36].

CONCLUSION AND IMPLICANCES

According to the results obtained, it is possible to produce PRp meat with interesting mineral contents, in two alternative systems to the classic confinement. This pig, due to its native breed characteristics, is more adapted to the O system, in which it produces healthier meat, also improving the conversion efficiency of the concentrate. In the deep bed system made it possible to obtain animals for slaughter in less time without affecting the characteristics of the carcass, for example, the thickness of the back fat. It could be interesting to exploit some differences found between muscles, which are normally consumed as fresh meat. Particularly the PM that presented higher contents of Zn and Na. These results show that the characteristics of the mineral content in the muscles of PRp are adapted to the different demands of human nutrition and also rearing in O systems that include pastures is a good way to promote and add nutritional value to this local breed, in addition with others characteristics of PRp meat.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was a part of a doctoral thesis in the Doctoral Program in Agricultural Sciences of the Agronomy Faculty. Experiments were carried at the South Regional Center and Food and Product Quality Laboratory (Faculty of Agronomy) and the Physiology Laboratory (Faculty of Sciences). We are

grateful to the National Agency for the Research and Innovation (ANII) and the Graduate Academic Commission (CAP) for the support to carry out this research with a grant to the first author for the development of the doctoral thesis project. We also want to thank to Sector Commission for Scientific Research (CSIC-Udelar) which financed the experiments and laboratory analysis.

Conflict of interest

We have no conflict of interest to declare.

BIBLIOGRAPHICS REFERENCES

- [1] ARAÚJO, J.P.; CERQUEIRA, J.L.; PIRES, P.; AMORIN, I.; CARNEIRO, M.; SANTOS-SILVA, J.; DOMÍNGUEZ, R.; BERMÚDEZ, R.; LORENZO, J.M. Influencia del sistema de producción en la calidad de la canal de cerdos de raza Bísara. **Arch. Zoot.** 67(260): 554-559. 2018. <https://doi.org/10.21071/az.v0i0.3887>.
- [2] BABICZ, M.; KASPRZYK, A. Comparative analysis of the mineral composition in the meat of wild boar and domestic pig. **Ital. J. Anim. Sci.** 18(1): 1013-1020. 2019. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2019.1610337>.
- [3] BILANDŽIĆ, N.; SEDAK, M.; ČALOPEK, B.; ĐOKIĆ, M.; VARENINA, I.; SOLOMUN-KOLANOVIĆ, B.; BOŽIĆ-LUBURIĆ, Đ.; VARGA, I.; RONCARATI, A. Evaluation of element concentrations in beef and pork meat cuts available to the population in the Croatian capital. **Foods.** 9(12): 1861. 2020. <https://doi.org/10.3390/foods9121861>.

[4] CABRERA, M. C.; RAMOS, A.; SAADOUN, A.; BRITO, G. Selenium, copper, zinc, iron and manganese content of seven meat cuts from Hereford and Braford steers fed pasture in Uruguay. **Meat Sci.** 84(3): 518-528. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.10.007>.

[5] CABRERA, M. C.; TEREVINTO, A.; ZÁCCARI, F.; FELICE, A.; SAADOUN, A. Micronutrients of beef meat from pasture and concentrated based production systems. **Proceeding 63 International Congress of Meat Science and Technology**. Cork, 08/13-18-17, Ireland. Pp 301-302. 2017.

[6] CAPET, A.; MARIN, D.; PETROMAN, C. Patterns of consumer behaviour of swine meat and meat products. **Lucr. Științ. Manag. Agricol.** 23(3): 31-35. 2021.

[7] CAPRA, G.; SALLE, L.; MARTÍNEZ, R.; COZZANO, S.; MÁRQUEZ, R.; LUZARDO, S.; COSTAS, G.; BRITO, G.; DE SOUZA, G.; NARDO, D. Valor nutritivo de las carnes de cerdo y pollo producidas en Uruguay. 2017. Universidad Católica del Uruguay (UCU), Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Instituto Nacional de Carnes (INAC), Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU). En Línea: <https://www.inac.uy/innovaportal/file/15152/1/resumen-cerdo-y-avo.pdf>. 02/02/2022.

[8] CARBALLO, C. Evaluación de tres biotipos de cerdos en la etapa de posdestete-recría en un sistema pastoril. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Agronomía. Tesis de Grado. 49 pp. 2009.

[https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/23853/1/TTS_CarballoS%
c3%a1nchezCeciliaSoledad.pdf](https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/23853/1/TTS_CarballoS%c3%a1nchezCeciliaSoledad.pdf).

[9] CARBALLO, C.; TEREVINTO, A.; BARLOCCO, N.; SAADOUN, A.; CABRERA, M. C. pH, drip loss, colour, lipids and protein oxidation of meat from Pampa Rocha and crossbreed pigs produced outdoor in Uruguay. **J. Food Nutr. Res.** 5(5): 342-346. 2017. <http://pubs.sciepub.com/jfnr/5/5/9>.

[10] CHENG, Y. F.; CHEN, Y. P.; DU, M. F.; WEN, C.; ZHOU, Y. M. Evaluation of dietary symbiotic supplementation on growth performance, muscle antioxidant ability and mineral accumulations, and meat quality in late-finishing pigs. **Kafkas Üniv. Vet. Fak. Derg.** 24(5): 673-679. 2018. https://vetdergikafkas.org/uploads/pdf/pdf_KVFD_2393.pdf.

[11] CHOURAQUI, J. P. Dietary approaches to iron deficiency prevention in childhood - A Critical public health issue. **Nutr.** 14: 1604. 2022. <https://doi.org/10.3390/nu14081604>.

[12] CRUZ, E.; ALMAGUEL, R.E.; MEDEROS, C.M.; GONZÁLEZ-ARAUJO, C. Sistema de cama profunda en la producción porcina a pequeña escala. **Rev. Cientif. FCV-LUZ.** XIX(5): 495-499. 2009. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-
22592009000500009&lng=es&nrm=iso](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-22592009000500009&lng=es&nrm=iso).

[13] DANG, H. D; THANH-TRAN, G. Explaining consumers' intention for traceable pork regarding animal disease: The role of food safety concern, risk perception, trust and habit. **Int. J. Food Sci.** 2020:e8831356. 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8831356>.

- [14] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Domestic Animal Diversity Information System (DAD-IS). 2022. On Line: <https://www.fao.org/dad-is/browse-by-country-and-species/es/> 12/01/2020.
- [15] GARIBALDI, L.; ANDERSON, G.; FERNÁNDEZ-FERRARI, C.; PÉREZ-MÉNDEZ, N. Seguridad alimentaria, medio ambiente y nuestros hábitos de consumo. **Ecol. Austral.** 28(3): 572-580. 2018.
- [16] HORNSEY, H. The colour of cooked cured pork. I. - Estimation of the Nitric oxide-Haem Pigments. **J. Sci. Food Agric.** 7(8): 534-540. 1956. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740070804>.
- [17] HSU, M. Y.; MINA, E.; ROETTO, A.; PORPORATO, P. E. Iron: an essential element of cancer metabolism. **Cells.** 9(12): 2591. 2020. <https://www.mdpi.com/2073-4409/9/12/2591>.
- [18] HURRELL, R.; EGLI, I. Iron bioavailability and dietary reference values. **Am. J. Clin. Nutr.** 91(5):e1461S-1467S. 2010.
- [19] JAKOBSEN, M.; KONGSTED, A; HERMANSEN, J. Foraging behaviour, nutrient intake from pasture and performance of free-range growing pigs in relation to feed CP level in two organic cropping systems. **Anim.** 9(12): 2006-2016. 2015. <https://doi.org/10.1017/S1751731115001585>.
- [20] JUSKA, R.; JUSKIENE, V.; LEIKUS, R. The influence of a free-range housing system on pig growth, carcass composition and meat quality. **J. Appl. Anim. Res.** 41(1): 39-47. 2013. <https://doi.org/10.1080/09712119.2012.738215>.
- [21] LAWRIE, R. A.; LEDWARD, D. A. The conversion of muscle to meat. In: **Lawrie's Meat Sci.** 7th. Ed. Lawrie, R.A. (Ed.). Woodhead Publishing: Cambridge, UK. Pp 128-156. 2006.

- [22] LEN, N.T.; LINDBERG, J.E; OGLE, B. Effect of dietary fiber level on the performance and carcass traits of Mon Cai; F1 Crossbred (Mon Cai x Yorkshire) and Landrace x Yorkshire pigs. **Asian-Australas J. Anim. Sci. V.** 21(2): 245-251. 2008. <https://doi.org/10.5713/ajas.2008.60598>.
- [23] MARTÍNEZ-VILLEGAS, O.; BAPTISTA-GONZÁLEZ, H. A. Anemia por deficiencia de hierro en niños: un problema de salud nacional. **Rev. Hematol.** 20(2): 96-105. 2019. <https://doi.org/10.24245/rhematol.v20i2.3098>.
- [24] MERNIES, B.; CARBALLO, C.; CABRERA, C.; BARLOCCO, N.; SAADOUN, A. Ácidos grasos del músculo *Longissimus dorsi* de cerdos Pampa – Rocha y cruzas con Duroc y Large White. **Resúmenes IV Congreso de la Asociación Uruguaya de Producción Animal. Veterinaria.** Montevideo. 10/29-30. Uruguay: Pp 123. 2012.
- [25] MOLITERNO, E. Estimación visual de la disponibilidad de forraje en pasturas. (I) Principios y usos de un método de doble muestreo. Nota técnica. **Rev. Cangüé.** 9: 32-36. 1997.
- [26] NELSON, J. R.; RASKIN, S. The eicosapentaenoic acid:arachidonic acid ratio and its clinical utility in cardiovascular disease. **Postg. Med.** 131(4): 268-277. 2019. <https://doi.org/10.1080/00325481.2019.1607414>.
- [27] NICOLIK, D.; DJINOVIC-STOJANOVICA, J.; JANKOVICA, S.; STEFANOVICA, S.; RADICEVICA, T.; PETROVICA, Z.; LAUSEVICB, M. Comparison of essential metals in different pork meat cuts from the Serbian market. **Procedia Food Sci.** 5:211-214. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.09.060>.

- [28] NYACHOTI, C. M.; ZIJLSTRA, R. T.; DE LANGE, C. F.; PATIENCE, J. F. Voluntary feed intake in growing-finishing pigs: a review of the main determining factors and potential approaches for accurate predictions. **Can. J. Anim. Sci.** 84(4): 549-566. 2004. <https://doi.org/10.4141/A04-001>.
- [29] ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (OECD-FAO). 2020. On Line: <https://doi:10.1787/1112c23ben>. Agricultural Outlook 2020-2029. OECD Publishing: Paris, France; Rome, Italy. 04/01/2022.
- [30] OFICINA DE PROGRAMACIÓN Y POLÍTICA AGROPECUARIA - MINISTERIO DE GANADERÍA AGRICULTURA Y PESCA (OPYPA-MGAP). 2020. Anuario 2019. Publishing: Montevideo, Uruguay. On Line: <https://descargas.mgap.gub.uy/OPYPA/Anuarios/Anuario%202019/ORIGINAL%202019%20OPYPA%20INTERACTIVO%20agregado%2018-12-2019.pdf>. 12/09/2021.
- [31] PALMA-GRANADOS, P.; HARO, A.; NIETO, R.; LARA, L.; AGUILERA, J. F.; SEIQUER, I. Diferencias en el contenido muscular de hierro, cobre y cinc entre dos genotipos porcinos: Ibérico y Landrace x Large White. **AIDA XVI Jornadas sobre Producción Animal**; Zaragoza, 05/19-20, Spain. Pp 323-325. 2015.
- [32] PUGLIESE, C.; MADONIA, G.; CHIOFALO, V.; MARGIOTTA, S.; ACCIAIOLI, A.; GANDINI, G. Comparison of the performances of Nero Siciliano pigs reared indoors and outdoors. 1. Growth and carcass

composition. **Meat Sci.** 65(2): 825-831. 2003. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00287-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00287-5).

[33] RAMOS, A.; CABRERA, M.C.; ASTIGARRAGA, L.; SAADOUN, A. Variaciones estacionales del contenido de Ca, P, Mg, S, Fe, Zn y Cu de Alfalfa, Trébol rojo y Lotus y de su bioaccesibilidad por un método rápido *in vitro*. **XX Reunión Asociación Latinoamericana de Producción Animal**. Cusco, 10/22-25, Perú. Pp 1-6. 2007.

[34] RAMOS, A.; CABRERA, M. C.; SAADOUN, A. Bioaccessibility of Se, Cu, Zn, Mn and Fe, and hem iron content in unaged and aged meat of Hereford and Braford steers fed pasture. **Meat Sci.** 91(2): 116-124. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.01.001>.

[35] RIVERO, M. J.; RODRIGUEZ-ESTEVEZ, V.; PIETROSEMOLI, S.; CARBALLO, C.; COOKE, A. S; KONGSTED, A. G. Forage consumption and its effects on performance of growing swine – discussed in relation to European wild boar (*Sus scrofa* L.) in semi-extensive systems: A review. **Anim.** 9(7): 457. 2019. <https://doi.org/10.3390/ani9070457>.

[36] SERGEEV, V. N.; NIKIFOROVA T. I.; MUSAEVA O. M.; DYDYKIN A. S.; ZOKHRABYAN P. R. Substantiation of the use of meat-based specialized products in nutrition of patients with arterial hypertension. **Adv. Heal. Scie. Res.** 28: 50-53. 2020.

[37] TEREVINTO, A.; SAADOUN, A.; CABRERA, M. C. From the fatty acid content perspective, is it healthier to eat a hindquarter or a forequarter cut?

Angus steers in pasture or concentrate systems. **CyTA J. Food.** 18(1): 698-703. 2020. <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1843543>.

[38] TOMOVIC, V.; BRANISLAV, S.; JOKANOVIC, M.; SKALJAC, S.; IVIC, M.; TOMOVIC, M.; TOMASEVIC, I.; STAJIC, S.; MARTINOVIC, A. Mineral contents in pork and edible offal from indigenous pigs. **J. Eng. Process. Manag.** 11(1): 66-72. 2019. <http://aspace.agrif.bg.ac.rs/bitstream/handle/123456789/5145/5142.pdf?sequence=1>.

[39] UNTEA, A. E.; PANAITI, T. D.; SARACILA, M.; SOICA, C. Effects of dietary symbiotics and organic zinc on trace minerals composition of pork. **Sci. Papers Ser. D. Anim. Sci.** 60: 118-122. 2017. <http://animalsciencejournal.usamv.ro/pdf/2017/Art19.pdf>.

[40] ZHAO, Y.; SHUMING-YANG, D. Effect of organic and conventional rearing system on the mineral content of pork. **Meat Sci.** 118: 103-107. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.03.030>.