



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Selenio orgánico e inorgánico en la dieta de cerdos Pampa Rocha en sistema pastoril: calidad de carne, estatus oxidativo y nutricional de los músculos frescos, conservados y en jamón cocido

Ing. Agr. Ana Laura Vodanovich Possamai

Maestría en Ciencias Agrarias

Julio 2022

**Selenio orgánico e inorgánico en la dieta
de cerdos Pampa Rocha en sistema
pastoril: calidad de carne, estatus
oxidativo y nutricional de los músculos
frescos, conservados y en jamón cocido**

Ing. Agr. Ana Laura Vodanovich Possamai

Maestría en Ciencias Agrarias

Julio 2022

Tesis aprobada por el tribunal integrado por la Dra. Silvia Llambí, la Dra. Ana Espasandín y la Dra. Andrea Alvarez el día 22 de julio de 2022. Autor: Ing. Agr. Ana Laura Vodanovich Possamai. Directora Dra. Cristina Cabrera.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
TABLA DE CONTENIDO.....	III
RESUMEN.....	VI
SUMMARY.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.1.1. <u>Parámetros de calidad de carne: pH, color y capacidad de retención de agua</u>	3
1.1.2. <u>Los procesos oxidativos</u>	5
1.1.3. <u>La oxidación lipídica</u>	5
1.1.4. <u>La oxidación proteica</u>	7
1.1.5. <u>Factores antioxidantes</u>	8
1.1.6. <u>El rol del selenio</u>	9
1.2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	13
1.2.1. <u>Hipótesis</u>	13
1.2.2. <u>Objetivo general</u>	13
1.2.3. <u>Objetivos específicos</u>	13
2. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	14
2.1. ANIMALES Y ALOJAMIENTO.....	14
2.2. DIETAS EXPERIMENTALES.....	15
2.3. OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS DE MÚSCULOS.....	17
2.3.1. <u>Procesos aplicados: frescos y conservados</u>	17
2.3.2. <u>Procesos aplicados: elaboración de jamón cocido</u>	17
2.3.2.1. <u>Músculos e ingredientes utilizados para el proceso de elaboración</u>	18
2.3.2.2. <u>Elaboración del jamón cocido</u>	18
2.4. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS.....	19
2.4.1. <u>Parámetros de calidad de carne</u>	19

2.4.1.1. pH.....	19
2.4.1.2. Color.....	20
2.4.1.3. <i>Drip loss</i>	20
2.4.2. <u>Contenido de selenio</u>	20
2.4.3. <u>Oxidación lipídica</u>	21
2.4.3.1. Cuantificación de especies reactivas al ácido tiobarbitúrico.....	21
2.4.4. <u>Tioles totales</u>	21
2.4.5. <u>Contenido de proteína bruta y humedad</u>	22
2.4.6. <u>Extracción de lípidos</u>	23
2.4.7. <u>Metilación de ácidos grasos y cromatografía de gases</u>	23
2.4.8. <u>Cálculo de índices lipídicos y de salud</u>	24
2.4.8.1. Índice de aterogenicidad.....	24
2.4.8.2. Índice de trombogénesis.....	24
2.4.8.3. Relación hipocolesterolémico/hipercolesterolémico.....	24
2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	25
3. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	26
3.1. EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE SELENIO ORGÁNICO E INORGÁNICO EN LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, ESTATUS OXIDATIVO Y CONTENIDO DE SELENIO DE LOS MÚSCULOS <i>LONGISSIMUS THORACIS</i> (LT) Y <i>PSOAS MAJOR</i> (PM) FRESCOS Y CONSERVADOS.....	26
3.1.1. <u>pH, color y <i>drip loss</i></u>	26
3.1.2. <u>Contenido de selenio y oxidación lipídica</u>	29
3.2. EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE SELENIO ORGÁNICO E INORGÁNICO EN LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, ESTATUS OXIDATIVO Y CONTENIDO DE SELENIO EN LOS MÚSCULOS TRASEROS FRESCOS.....	32
3.2.1. <u>pH, color y <i>drip loss</i></u>	32
3.2.2. <u>Contenido de selenio y oxidación lipídica</u>	34

3.3. EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE SELENIO ORGÁNICO E INORGÁNICO EN LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, ESTATUS OXIDATIVO Y CONTENIDO DE SELENIO EN EL JAMÓN COCIDO.....	35
3.3.1. <u>Parámetros tecnológicos del jamón</u>	35
3.3.2. <u>pH, color y drip loss</u>	36
3.3.3. <u>Contenido de selenio y oxidación lipídica</u>	38
3.3.4. <u>Tioles totales</u>	39
3.3.5. <u>Composición de ácidos grasos en el jamón cocido</u>	40
3.3.6. <u>Índices lipídicos y de salud en el jamón cocido</u>	42
4. <u>CONSIDERACIONES FINALES</u>	43
5. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	45
6. <u>ANEXOS</u>	60
6.1 PAMPA ROCHA PORK MEAT ENRICHED WITH SELENIUM: PHYSICOCHEMICAL AND NUTRITIONAL PARAMETERS AND OXIDATIVE STABILITY IN FRESH AND PRESERVED MEAT AND COOKED HAM.....	60

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la suplementación con selenio (Se, 0,3 mg/kg), orgánico e inorgánico, en la dieta de cerdos Pampa Rocha en terminación en sistema pastoril, sobre los parámetros fisicoquímicos, el contenido de Se total, la oxidación lipídica, los tioles totales y el contenido de ácidos grasos e índices lipídicos y de salud en los músculos *longissimus thoracis* (LT) y *psoas major* (PM), frescos y conservados, en los músculos traseros frescos, *biceps femoral* (BF), *cuadriceps femoris* (CF), *gluteus medius* (GM) y *semitendinosus* (S) y en un producto elaborado: jamón cocido. 24 cerdos machos (182 ± 4 días de edad, $95,75 \pm 6$ kg de peso vivo), Pampa Rocha, terminados al aire libre, alimentados con ración y pasturas, recibieron una suplementación con selenio orgánico (n = 8; seleno-metionina hidroxianáloga) e inorgánico (n = 8; selenito de sodio) en su dieta, mientras que 8 no fueron suplementados. Se determinó color, pH, *drip loss*, oxidación lipídica y contenido de selenio en los músculos LT y PM, frescos y conservados, músculos traseros frescos y en el jamón cocido. En el jamón cocido, además, se cuantificaron los tioles totales y los ácidos grasos y se calcularon los índices lipídicos y de salud. El Se fue estadísticamente incrementado en todos los músculos y en el producto estudiado, asociado a una disminución de las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS). El efecto sobre el color, pH y *drip loss* no fue consistente, dependiendo del tipo de músculo y de la fuente de selenio. Se observó un efecto del tipo de músculo asociado al pH. En el jamón cocido, el selenio disminuyó la oxidación de los lípidos, sin afectar el contenido de tioles totales respecto del grupo control. El jamón elaborado con los músculos del cerdo Pampa Rocha presentó parámetros de calidad en acuerdo con las normas establecidas, un perfil de ácidos grasos mejorado por el aumento del ácido palmítico (C16:1), ante el agregado del Se, e índices de salud adecuados a una dieta recomendada para el consumo. En conclusión, el Se suplementado permitió obtener una carne enriquecida en selenio, más resistente a la oxidación de lípidos, y un producto jamón con mayor contenido de selenio, menos TBARS, sin deterioro de la proteína y con un perfil de ácidos grasos de interés para la salud humana.

Palabras clave: selenio, Pampa Rocha, oxidación, ácidos grasos, jamón

**Organic and inorganic selenium in Pampa Rocha pork diet: meat quality,
oxidative and nutritional status of fresh and preserved muscles and in cooked
ham**

SUMMARY

The objective of this work was to evaluate the effect of supplementation with selenium (Se, 0.3 mg/kg), organic and inorganic, in the diet of Pampa Rocha finishing pigs in a grazing system, on the physicochemical parameters, the content of total Se, lipid oxidation, total thiols, and fatty acid content and lipid and health indices in fresh and preserved *longissimus thoracis* (LT) and *psaos major* (PM) muscles, in fresh back muscles, *biceps femoral* (BF), *quadriceps femoris* (CF), *gluteus medius* (GM) and *semitendinosus* (S) and in a processed product: cooked ham. 24 male pigs (182 ± 4 days old, 95.75 ± 6 kg live weight), Pampa Rocha, finished outdoors and fed with ration and pasture, received supplementation with organic selenium (n = 8; selenomethionine hydroxy -analogue) and inorganic (n = 8; sodium selenite) in their diet, while 8 were not supplemented. Color, pH, drip loss, lipid oxidation and selenium content were determined in fresh and preserved LT and PM muscles, fresh back muscles and in cooked ham. In cooked ham, in addition to quantifying total thiols and fatty acids, lipid and health indices were calculated. Se was statistically increased in all muscles and product studied, associated with a decrease in substances reactive to thiobarbituric acid (TBARS). The effect on color, pH, and drip loss was not consistent, depending on muscle type and selenium source. An effect of muscle type associated with pH was observed. In cooked ham, Se decreased lipid oxidation, having no effect on the content of total thiols compared to the control group. The ham made with the muscles of the Pampa Rocha pig presented quality parameters in accordance with the established norms, a profile of fatty acids with increased C16:1 with the addition of Se, and adequate health indices to a diet recommended for consumption. In conclusion, supplemented Se made it possible to obtain a selenium-enriched meat, more resistant to lipid oxidation, and a ham product, with a higher selenium content, less TBARS, without protein deterioration and with a fatty acid profile of interest for human health.

Keywords: selenium, Pampa Rocha, oxidation, fatty acids, ham

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el consumo de carne de cerdo en fresco ha aumentado significativamente en los últimos años, en relación con el consumo de carne vacuna. El consumo de proteínas de origen animal y, en particular, de aquellas provenientes de la carne de cerdo ha tenido un aumento significativo a nivel mundial, pero también a nivel nacional. Según los datos de MGAP-DIEA (2021), el consumo en el año 2019 fue, aproximadamente, de 56,8 mil toneladas, lo que resultó en un consumo per cápita de 16,6 kilogramos, lo que implica un aumento en el consumo de este alimento en el orden del 84 % en los últimos 10 años (INAC, 2020, Durán et al., 2020). Este aumento sostenido en la demanda de cortes frescos y su incorporación en la dieta se explican por una mayor disponibilidad en el mercado, menor costo, diversificación de cortes y un mayor flujo comercial entre los países de América Latina, particularmente con Brasil, un gran productor de carne de cerdo (USDA, 2018).

Por otro lado, se observa un mayor conocimiento de los atributos nutricionales de la carne de cerdo por parte de los consumidores, lo que determina una mayor aceptación a estos productos, determinante a la hora de escoger los productos para su consumo. Mondéjar-Jimenez et al. (2022) y Cicia et al. (2016) concluyen que tanto la calidad como la inocuidad son los factores que más influyen en el momento de la elección de los alimentos por parte de los consumidores.

Los suinos son un rubro tradicional en Uruguay, donde predomina la cría a campo para autoconsumo o como complemento para otras producciones a nivel familiar (Carballo et al., 2021). No obstante, el sector se caracteriza por ser sumamente heterogéneo. En los últimos años, han tenido una evolución positiva aquellos sistemas de producción con mayor grado de intensificación y tecnificación, a partir de sistemas en confinamiento, tipos genéticos seleccionados y gran concentración en el volumen de la producción, respondiendo a una tendencia similar registrada a nivel mundial (Durán et al., 2020, FAO, 2014). Sin embargo, en contraposición con este desarrollo, también ha evolucionado el comportamiento del consumidor, quien, además de considerar aspectos de calidad, demanda alimentos que reflejan un modo de producir más

amigable, con objetivos claros respecto a la sostenibilidad ambiental y el bienestar de los animales (Albernaz-Gonçalves et al., 2021, Del Campo et al., 2021, Pedersen, 2018). Es aquí donde los sistemas menos intensivos, asociados a un mejor bienestar de los animales (Fernandes et al., 2021), a alimentos con características de salud aseguradas (Cicia et al., 2016, D'Alessandro et al., 2012) y de menor impacto en el ambiente (Apostolidis y McLeay, 2019), en donde, además, se incluya la utilización de pasturas, cobran importancia, atribuyéndole ventajas comparativas a los productos finales respecto a otros sistemas de producción (Stampa et al., 2020).

La Facultad de Agronomía lleva adelante un proyecto de producción con fines de conservación del cerdo Pampa Rocha, un recurso genético animal local criado en Uruguay (Carballo et al., 2017), cuya población se encuentra en una situación de riesgo según FAO (FAO-DAD IS, 2022). Este recurso criollo es caracterizado por su docilidad, habilidad materna, rusticidad y adaptación al pastoreo complementario al concentrado. Estas dos últimas características asocian fuertemente a esta raza a sistemas que combinan la producción al aire libre con la utilización de pasturas (Carballo et al., 2021), siendo una oportunidad para la diferenciación de productos provenientes de estos sistemas. Un enfoque de la producción animal de alta calidad, particularmente en relación con los atributos nutricionales, hacia sistemas más abiertos y menos intensivos es el tema de este trabajo de tesis que se centrará en el desarrollo de un producto de origen animal particular, basado en la carne de cerdo Pampa Rocha, enriquecida en selenio, a partir de un sistema de producción al aire libre sobre pasturas.

1.1. ANTECEDENTES

La carne, ya sea bovina, ovina, suina o aviar, es un alimento valioso dentro de una dieta equilibrada debido a su riqueza nutricional (Lawrie y Ledward, 2006). Es una fuente de proteína, de alto valor biológico, con un aporte importante y equilibrado de lípidos y aminoácidos esenciales. Es una fuente valiosa de hierro (Fe), vitamina B12 y otras vitaminas del complejo B, así como de zinc (Zn), selenio (Se) y fósforo (P), nutrientes esenciales para el funcionamiento del sistema nervioso, muscular y para prevenir el envejecimiento (Domínguez et al., 2019, Cabrera y Saadoun 2014, Pereira

y Vicente, 2013, McNeill y Van Elswyk, 2012, Mernies et al., 2012, Cabrera et al., 2010, McAfee et al., 2010). Entre estos se destaca el selenio, mineral que puede incorporarse en la carne, aumentando el aporte a través de un alimento más rico nutricionalmente y confiriendo una mayor capacidad antioxidante a la carne, que, por su naturaleza, puede deteriorarse durante los procesos de conservación o procesado (Calvo et al., 2017).

El selenio incorporado a la dieta del animal y a la carne tendría, al menos, dos efectos de interés: enriquecer la carne con este mineral y ejercer un efecto protector contra los procesos oxidativos que se dan en el *post mortem* o durante la maduración y el procesado. A continuación, se describirán y discutirán aspectos relacionados con la calidad de la carne de cerdo, a los procesos oxidativos, a los antioxidantes y al selenio en particular.

Durante la vida del animal, existen varios factores que interfieren en diferentes aspectos determinando la composición y calidad de la carne, entre los que se destacan la nutrición, el sexo, la edad, el tipo genético, el sistema de producción y el bienestar animal, siendo clave, en este último aspecto, el manejo previo a la faena (Del Campo et al., 2021, Carballo et al., 2017, Terevinto et al., 2010, Cabrera et al., 2010, Lawrie y Ledward, 2006). También existen ciertos factores posteriores a la faena que serán determinantes para la obtención del producto final (Del Campo et al., 2021, Echenique y Capra, 2006). Todos estos factores tienen un efecto en las características sensoriales, físico-químicas, nutricionales y en la inocuidad, incidiendo directamente en los parámetros de calidad, pH, capacidad de retención de agua, estabilidad oxidativa, compuestos volátiles, sabor, olor, aroma, textura, color, grasa intramuscular y composición de los lípidos, por lo cual conocerlos y estudiarlos será de gran importancia para obtener una carne de calidad nutricional, tecnológica y funcional.

1.1.1. Parámetros de calidad de carne: pH, color y capacidad de retención de agua

Estos atributos organolépticos y tecnológicos están fuertemente interrelacionados debido a su significativa incidencia en la determinación de parámetros de calidad

sensorial (color, textura, jugosidad, ternura, sabor y olor) (Mkwanazi et al., 2019), afectando la aceptabilidad por parte del consumidor.

Entre los factores que afectan estos parámetros de calidad de la carne, se encuentra el manejo de los animales previo a la faena. Este va a determinar las reservas finales de glucógeno muscular, las cuales serán degradadas a ácido láctico por glucogenólisis y glicólisis en condiciones anaerobias, lo que provoca variaciones en el pH (Clinquart et al., 2022, Del Campo et al., 2021, Carballo, 2013). Este proceso determinará la tasa de disminución del pH durante la transformación *post mortem* del músculo a carne y su valor final, lo que definirá ciertos atributos del producto final (como la capacidad de retención de agua y el color), la aptitud tecnológica para el procesamiento y la preservación (Del Puerto et al., 2016).

De acuerdo con la dinámica del pH posterior al sacrificio, este proceso puede resultar en carnes que difieren en sus características. Este parámetro cumple un papel muy importante en el control de la calidad tecnológica, ya que determina, en gran medida, la vida útil y la procesabilidad (Clinquart et al., 2022). Valores bajos de pH originan carnes con baja retención de agua, lo que genera las conocidas carnes pálidas, suaves y exudativas (PSE, por sus siglas en inglés) y las torna inaceptables por el consumidor debido a su aspecto y palatabilidad (Nache et al., 2016). Las carnes oscuras, firmes y secas (DFD, por sus siglas en inglés), sin embargo, no presentan problemas de palatabilidad debido a su alta capacidad de retención de agua (pH altos), por lo que pueden ser utilizadas para productos elaborados. Este tipo de carnes se asocian a problemas de estabilidad e inocuidad alimentaria, características no deseables tanto para la industria como para los consumidores. La temperatura de transporte y el largo tiempo de espera en los corrales de descanso previo al sacrificio aumentan la incidencia de este tipo de carnes (Clinquart et al., 2022).

En cuanto a la alimentación, particularmente los antioxidantes dietarios tienen incidencia en la determinación de estos parámetros físico-químicos y organolépticos. Jia et al. (2022) y Del Puerto et al. (2016) reportaron una mejora en la capacidad de retención de agua y color de la carne con suplementación de selenio en la dieta de

corderos y aves, respectivamente, lo que implica una mejora en estos atributos y resulta en productos con mayor aptitud tecnológica.

1.1.2. Los procesos oxidativos

Los fenómenos oxidativos en los productos cárnicos ocurren desde la fase de producción y pueden extenderse hasta el momento previo al consumo (Chaiyán y Panpipat, 2017). Una de las prácticas comúnmente realizadas en la industria cárnica es la maduración de la carne, un procedimiento utilizado como una alternativa para mejorar la terneza y otros parámetros sensoriales, garantizando, de esta forma, la aceptabilidad de los consumidores (Terevinto et al., 2015). Al mismo tiempo, se está sometiendo al producto a diversos factores ambientales (oxígeno, luz y condiciones de manipulación) lo que puede resultar en daños oxidativos, deteriorando ciertos atributos organolépticos, nutricionales y tecnológicos deseables, disminuyendo la vida útil de los productos cárnicos (Carballo et al., 2017, McAfee et al., 2010). En tal sentido, varios autores consideran a estos procesos como la principal causa del deterioro de la calidad de la carne y los productos cárnicos, después de la acción de los microorganismos (Calvo et al., 2017, Jiang y Xiong, 2016).

1.1.3. La oxidación lipídica

Los lípidos poseen diversas aplicaciones como componentes nutricionales y funcionales de los alimentos (Aryee et al., 2022). No obstante, la cantidad y composición de lípidos en el músculo determinan, en gran medida, la estabilidad oxidativa de los alimentos y, en cierta medida, la calidad de los alimentos (Aryee et al., 2022, Pereira y Abreu, 2018). El contenido graso y el perfil de ácidos grasos pueden variar según la especie (Ramos et al., 2012, Cabrera et al., 2010, Terevinto et al., 2010), la alimentación (Pereira y Vicente, 2013) o el tipo de corte del que se trate (Cabrera et al., 2010; Terevinto et al., 2010). Este aspecto está directamente relacionado con el deterioro oxidativo, el cual, además, puede verse asociado a enfermedades cardiovasculares y varios tipos de cáncer (Hajam et al., 2022, McNeill y Van Elswyk, 2012, McAfee et al., 2010).

La oxidación de lípidos, la cual es considerada la principal causa no microbiana del deterioro de la calidad de la carne y los productos cárnicos (Pereira y Abreu, 2018), se inicia, principalmente, a través de los mecanismos de reacción en cadena de los radicales libres donde, a partir de ácidos grasos (libres o formando parte de lípidos más complejos) y oxígeno, se forman hidroperóxidos. Las especies reactivas de oxígeno, (ROS) como el radical hidroxilo y el radical hidroperoxilo, son los principales iniciadores de la reacción en cadena (Domínguez et al., 2019). Este proceso se inicia en la fracción de fosfolípidos intracelulares a nivel de las membranas, debido a su alto contenido en ácidos grasos poliinsaturados (principales sustratos en estas reacciones) y a la presencia de metales de transición, como el hierro, que facilitan la generación de radicales libres (Chaiyán y Panpipat, 2017).

Por estas características y por poseer altas concentraciones de prooxidantes y menores contenidos de antioxidantes endógenos (en comparación con alimentos de origen vegetal), se considera a la carne como un alimento con alto grado de susceptibilidad a la oxidación (Jiang y Xiong, 2016). El daño a los lípidos puede acentuarse en el período inmediato posterior al sacrificio y, en particular, durante la manipulación, el procesamiento, el almacenamiento y la cocción (Calvo et al., 2017, Domínguez et al., 2019).

Este proceso, también denominado peroxidación autocatalítica, es inducido por el oxígeno en presencia de iniciadores como calor, radicales libres, luz, pigmentos e iones metálicos. Lorenzo et al. (2017) afirman que las reacciones que desencadenan la oxidación de los lípidos están influenciadas por diferentes factores tanto intrínsecos (composición de la carne) como extrínsecos (condiciones de procesamiento y almacenamiento), los cuales pueden promover o inhibir las reacciones oxidativas. Es así que la magnitud y la duración de este proceso se verán afectadas por eventos ocurridos antes de la faena, así como inmediatamente luego de esta, como lo son el estrés, el pH, la temperatura de la carcasa y las técnicas de estimulación (Luciano et al., 2009).

En consecuencia, la oxidación de lípidos provoca alteraciones en la calidad del producto manifestadas en cambios en los atributos sensoriales, entre los que se incluyen el color, la textura inadecuada y el desarrollo de olores y sabores desagradables, que influyen en la adaptación del consumidor (Jiang y Xiong, 2016) y en alteraciones en el valor nutricional debido a la formación de compuestos peligrosos para la salud a través de la reacción con otros componentes de la carne (Huang y Ahn, 2019, Pole et al., 2016).

1.1.4. La oxidación proteica

Si bien los productos de la oxidación lipídica pueden interaccionar fácilmente con las proteínas desencadenando el proceso de oxidación proteica, este también puede estar relacionado con cualquiera de los factores prooxidantes involucrados en la formación de especies reactivas de oxígeno (Hajam et al., 2022). Como resultado, puede ocurrir la escisión de la cadena de polipéptidos, la modificación de las cadenas laterales de aminoácidos, la conversión de la proteína en derivados que son altamente sensibles a la degradación proteolítica, la generación de derivados de carbonilos o la pérdida de grupos sulfhidrilos, lo cual indica pérdida de proteínas funcionales (Zhang et al., 2013). Tanto los carbonilos como los sulfhidrilos totales se consideran dos indicadores significativos del grado de modificación oxidativa de las proteínas (Xia et al., 2019, Feng et al., 2017).

Los grupos sulfhidrilos o tioles (SH), la mayoría derivados del aminoácido cisteína, son compuestos que contienen un grupo funcional formado por un átomo de azufre y un átomo de hidrógeno, confiriéndoles una elevada capacidad de oxidación. Participan en la estabilización de estructuras terciarias de proteínas mediante la formación de disulfuros y catálisis enzimáticas, entre otros (González del Pozo, 2019). La formación de los puentes disulfuro no sólo estabiliza las proteínas extracelulares, sino que, además, protege contra la inactivación, determina la asociación con otras proteínas y regula las funciones de las proteínas (Aran et al., 2009). Los SH se encuentran presentes en los residuos de cisteína de diferentes compuestos, brindando sitios para la formación de puentes con iones metálicos,

reacciones electrófilas y de óxido/reducción (Biswas et al., 2006). Los sistemas redox basados en la cisteína, mediados por el intercambio tiol-disulfuro, son muy importantes, debido a la participación del azufre en las reacciones redox, actuando para detoxificar eficientemente las especies reactivas. Es aquí que los derivados de la cisteína, como el glutatión, tienen una función fundamental en la detoxificación de electrófilos, como es la reducción de peróxido (Zeida et al., 2019, Flohé, 2016).

Este proceso tiene una influencia importante en la calidad de los alimentos desde el punto de vista físico-químico, tecno-funcional y nutricional (Domínguez et al., 2021). En este sentido, la pérdida de nutrientes esenciales, el deterioro de la textura, la capacidad de retención de agua, el color y el sabor, la formación geles de proteínas más débiles y emulsiones menos estables son algunas de las consecuencias directas de la oxidación de proteínas (Zhang et al., 2013). Esta pérdida de la calidad, la cual repercute en la calidad sensorial de la carne, genera rechazo por parte de los consumidores, por lo que el control de los procesos oxidativos es de gran importancia (Domínguez et al., 2021, Estévez, 2011).

Una de las consecuencias de la oxidación proteica, debido al ataque de especies reactivas, es la modificación de los grupos SH. Por esta razón, la determinación de estos grupos es de gran importancia, ya que puede ser un indicador del estado de oxidación de las proteínas que componen a la carne.

1.1.5. Factores antioxidantes

La estabilidad oxidativa depende, en gran medida, del equilibrio entre el contenido de compuestos prooxidantes y antioxidantes (Huang y Ahn, 2019). Estos últimos se definen como sustancias que se caracterizan por impedir o retrasar la oxidación de diversas sustancias, neutralizando la acción de los radicales libres, desempeñando una función fundamental en la prevención de las enfermedades y preservando la calidad de los productos (Hajam et al., 2022).

Ante el estrés oxidativo, las enzimas de defensa y los compuestos antioxidantes reaccionan con especies radicales y no radicales para iniciar mecanismos de defensa para la protección de los componentes intracelulares y extracelulares (Huang y Ahn, 2019, Jiang y Xiong, 2016, Pole et al., 2016). A nivel muscular, existe un sistema biológico eficiente para proteger el tejido del daño oxidativo (Terevinto et al., 2015), donde las enzimas antioxidantes cumplen un rol fundamental. Las enzimas superóxido dismutasa (SOD), catalasa y glutatión peroxidasa (GPx) constituyen el mecanismo principal para la protección de las células del daño oxidativo (Hajam et al., 2022). La SOD acelera la conversión del anión superóxido en peróxido de hidrógeno y la catalasa lo descompone en agua y O₂, mientras que la GPx puede descomponer tanto el peróxido de hidrógeno como los lipoperóxidos formados durante la oxidación lipídica (Barchielli et al., 2022).

Existen determinados nutrientes que se tornan esenciales para el buen funcionamiento de los sistemas enzimáticos. Particularmente el cobre, el manganeso, el zinc, el selenio y el hierro cumplen un rol fundamental en esos sistemas, ya que son cofactores importantes de las enzimas antioxidantes, por lo que la actividad de estas puede estar regulado, entre otras cosas, por la ingesta de estos minerales en las dietas (Callahan et al., 2020). El consumo de vegetales, así como las especies que componen las pasturas, también cumple un rol fundamental en el mecanismo antioxidante debido a su riqueza en compuestos con gran actividad antioxidante como son la vitamina E, el ácido ascórbico y compuestos fenólicos, carotenoides, flavonoides, ácidos fenólicos y tocoferoles (Descalzo y Sancho, 2008). Todos estos compuestos cooperan con las enzimas antioxidantes, minimizando el efecto dañino de la oxidación (Terevinto et al., 2015), determinando una mejor estabilidad oxidativa.

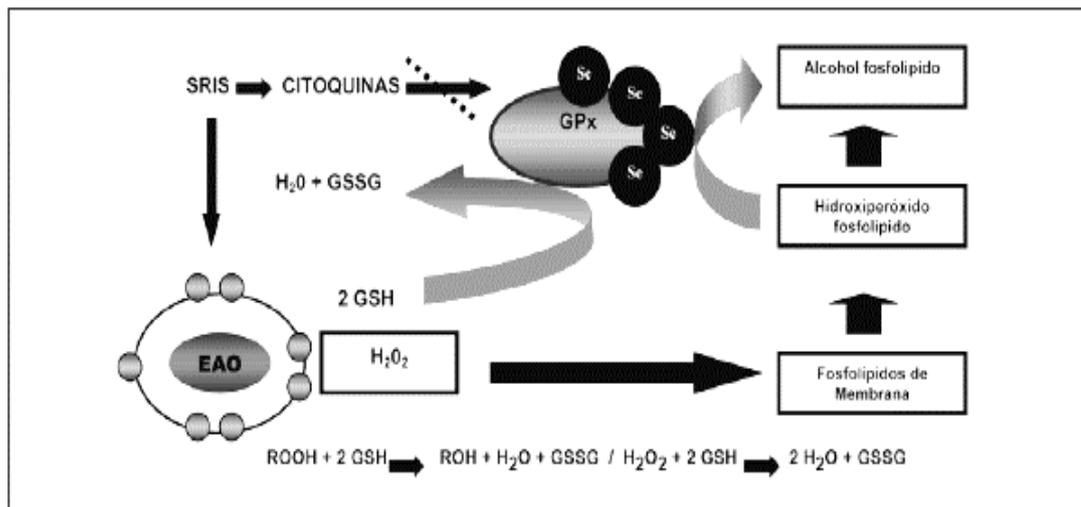
El enfoque de esta tesis es particularmente en el selenio como factor antioxidante.

1.1.6. El rol del selenio

El selenio es un oligoelemento esencial para los humanos y animales (Zhang et al., 2022). Juega un rol fundamental en el sitio catalítico de múltiples selenoproteínas,

como la GPx, actuando como cofactor de esta enzima fundamental para el mecanismo de protección de las células del daño oxidativo (Cabrera y Saadoun, 2014). En la figura 1, se muestra la respuesta de la GPx ante una agresión tóxica a las membranas celulares por parte de las ROS. La GPx reduce los fosfolípidos oxidados de membranas celulares hacia formas no tóxicas (alcohol fosfolípido), al mismo tiempo que ocurre la oxidación del glutatión, constituyéndose, de este modo, un sistema neutralizante de ROS (Barchielli et al., 2022).

Figura 1. Mecanismos de acción de la GPx (extraído de Manzanares, 2007).



El selenio es un componente conocido del sistema antioxidante y de las proteínas que contienen Se, y es esencial para la salud humana (Wu et al., 2020). La incorporación del Se a las selenoproteínas desempeña un papel clave en el mantenimiento de la salud, ya que está involucrado en la regulación del estrés oxidativo, los mecanismos redox y otros procesos celulares esenciales implicados en la respuesta inmune innata y adaptativa (Dalgaard et al., 2018).

Rayman (2012) involucra a este micronutriente con aspectos vinculados al funcionamiento inmunológico, la reducción de virulencia y la progresión de infecciones virales, la regulación del estado anímico, relacionado a algunos neurotransmisores en el cerebro y a la función tiroidea, actuando, además, como agente antioxidante y antiinflamatorio. También son conocidos los efectos

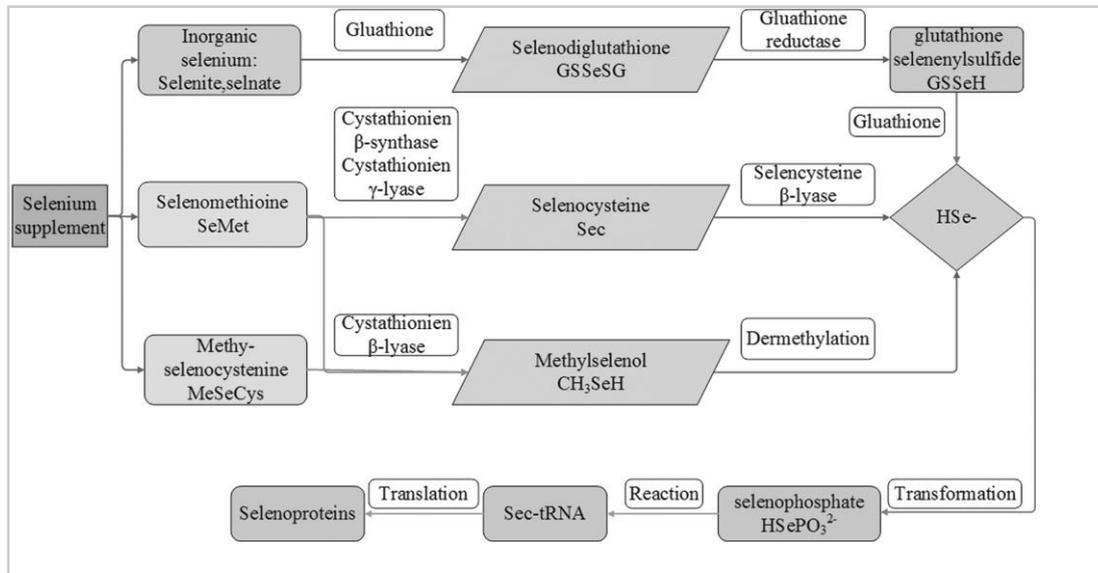
anticarcinogénicos, de reducción en el riesgo de enfermedades cardiovasculares y del deterioro de la edad y como preventivo de enfermedades (Cabrera y Saadoun, 2014, López-Bellido y López, 2013, Zeng, 2009, Gromadzińska et al., 2008).

En cuanto al acceso de este mineral para la alimentación, este puede ser a través de fuentes naturales, cuya concentración puede variar ampliamente de acuerdo a la ubicación geográfica y a las características de sus suelos (Barchielli et al., 2022, Cabrera y Saadoun, 2014, Ramos et al., 2012, Vinchira y Muñoz-Ramírez, 2010). También se encuentra en forma de compuestos inorgánicos como selenito y seleniato o compuestos orgánicos en forma de seleno-aminoácidos tales como seleno-cisteína y seleno-metionina (Barchielli et al., 2022), siendo estas las fuentes más utilizadas para la suplementación animal.

La suplementación dietética con Se parece tener actividad antioxidante y podría ser efectiva para retrasar las reacciones de oxidación *post mortem*, especialmente la forma orgánica (Mahan et al., 2014). Calvo et al. (2016) y Del Puerto et al. (2016) reportaron que la suplementación con Se orgánico en la dieta provoca un aumento significativo de la concentración de Se y mejora el estado antioxidante del tejido muscular en carne de cerdos y pollos.

En la figura 2, se puede observar cómo son metabolizados los suplementos de selenio una vez ingresados al organismo. Shang et al. (2019) afirman que conocer la vía metabólica de este mineral es importante debido al incremento de las enzimas antioxidantes, pero, además, por su función de regulación en la expresión de las selenoproteínas con propiedades antioxidantes.

Figura 2. Esquema de la absorción y el metabolismo del selenio (extraído de Shang et al., 2019).



Si bien la carne es uno de los alimentos que proporcionan las mayores fuentes de Se diarias (Calvo et al., 2017, Cabrera et al., 2010), el interés por incrementar sus niveles en la carne es contribuir a un efecto contra el envejecimiento celular en el humano (Leiter et al., 2022, Del Puerto et al., 2016), disminuir el estrés oxidativo y contribuir a una mejor calidad de la carne para su consumo en fresco y resistir las agresiones del procesamiento. Es por estos motivos que las industrias frigoríficas hacen cada vez más énfasis en la importancia del contenido de este micronutriente en la carne para darle un alto valor comercial, por lo cual investigar sobre cómo lograr estos contenidos es uno de los objetivos de este trabajo de investigación.

En los últimos años, la presión para reducir el uso de sustancias artificiales en los alimentos (Mondéjar-Jimenez et al., 2022) ha llevado a intentos de aumentar la estabilidad de la carne mediante estrategias novedosas, incorporando compuestos que proporcionan productos con un alto valor nutricional y beneficios para la salud, con una vida útil más prolongada y un perfil de calidad general atractivo (Jiang y Xiong, 2016, Cabrera et al., 2014). Vinchira y Muñoz-Ramírez (2010) resaltan la importancia de producir alimentos funcionales que aporten al bienestar de los consumidores, por lo que la suplementación con minerales, fundamentalmente con Se, puede ser una

buena alternativa para generar este tipo de productos. Esto se debe a la gran actividad antioxidante que presenta este micronutriente y a la efectividad que presenta para retrasar las reacciones de oxidación *post mortem* (Mahan et al., 2014), lo que favorece la estabilidad oxidativa del producto final, generando un alimento con valor agregado y propiedades funcionales para el consumidor.

1.2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

1.2.1. Hipótesis

Para este trabajo se plantea como hipótesis que la suplementación con Se en la alimentación de los cerdos Pampa Rocha criados al aire libre aumentará el contenido de selenio en el músculo y mejorará las características oxidativas y funcionales de la carne fresca, madurada y procesada. La incorporación del Se en los músculos sería diferente de acuerdo a la naturaleza de la fuente de selenio y la naturaleza del músculo.

1.2.2. Objetivo general

Estudiar el efecto de la suplementación con Se (0,3 mg/kg), orgánico e inorgánico, en la dieta de terminación (crecimiento-engorde) de cerdos Pampa Rocha, producidos en un sistema al aire libre con pasturas, sobre la calidad de la carne fresca, tecnológica, nutricional y funcional, conservada y procesada como herramienta de valorización.

1.2.3. Objetivos específicos

1- Determinar el efecto de la incorporación de selenio orgánico e inorgánico en la dieta de terminación de cerdos Pampa Rocha en sistema al aire libre sobre la variación de los atributos fisicoquímicos en los músculos de alto valor comercial, *longissimus thoracis* y *psoas major*, frescos y conservados, en los músculos traseros frescos *biceps femoral*, *cuadriceps femoris*, *gluteus medius* y *semitendinosus* y en el producto jamón cocido resultante, a través de la determinación del pH, color y *drip loss*.

2- Determinar el efecto de la incorporación de selenio orgánico e inorgánico en la dieta de terminación de cerdos Pampa Rocha en sistema al aire libre sobre el contenido de Se total en los músculos *longissimus thoracis* y *psoas major*, frescos y conservados,

en los músculos traseros frescos *biceps femoral*, *cuadriceps femoris*, *gluteus medius* y *semitendinosus* y en el jamón cocido resultante.

3- Determinar el efecto de la incorporación de selenio orgánico e inorgánico en la dieta de terminación de cerdos Pampa Rocha en sistema al aire libre sobre la oxidación de lípidos en los músculos *longissimus thoracis* y *psoas major*, frescos y conservados, en los músculos traseros frescos *biceps femoral*, *cuadriceps femoris*, *gluteus medius* y *semitendinosus* y en el producto jamón cocido resultante, a través de las especies reactivas al ácido tiobarbitúrico y de tioles totales en el jamón cocido.

4- Determinar el efecto de la incorporación de selenio orgánico e inorgánico en la dieta de terminación de cerdos Pampa Rocha en sistema al aire libre sobre el contenido de ácidos grasos e índices lipídicos y de salud en el jamón cocido.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. ANIMALES Y ALOJAMIENTO

Se utilizaron 24 cerdos machos castrados (de 182 ± 4 días de edad, con un peso promedio de $95,75 \pm 6$ kg) de raza Pampa Rocha, producidos en un sistema al aire libre de base pastoril en la Unidad de Producción de Cerdos de la Facultad de Agronomía, Centro Regional Sur. Todos los procedimientos fueron incluidos en un protocolo experimental aprobado por la Comisión Honoraria de Experimentación Animal (CHEA, expediente n.º 020300-001720-18).

Durante todo el período en estudio, los animales fueron alojados en potreros de 1500 m², con acceso a refugios tipo parideras, alimentados en bateas grupales (1 batea cada 2 animales), consumiendo agua *ad libitum* por medio de bebederos tipo chupete y con libre acceso a pastoreo. La castración se realizó dentro de los primeros 7 días de vida, utilizando anestesia local (lidocaína al 2 %), siguiendo el instructivo de la Comisión Europea actualizado en 2018 y teniendo en cuenta las recomendaciones de la Federación de Veterinarios de Europa (2009). El destete se realizó a los 45 días y a los 83 ± 4 días de vida, el grupo de animales fue distribuido al azar, agrupándolos en

función del tratamiento asignado según la suplementación con diferentes fuentes de selenio en la dieta (Se orgánico o Se inorgánico) y el grupo control (sin Se suplementado).

Se utilizó un diseño en bloques completamente al azar (DBCA), con dos bloques formados por animales contemporáneos. En cada bloque estuvieron presentes los tres tratamientos, cada uno con cuatro animales (cuatro repeticiones/tratamiento/bloque). Los bloques fueron de 4500 m² y 1500 m² por tratamiento, divididos entre la zona de servicio y la zona de pastoreo, siendo la primera el lugar donde se encuentran el refugio, los comederos y los bebederos.

2.2. DIETAS EXPERIMENTALES

Las dietas experimentales fueron las siguientes:

- 1) Control (C), dieta base, sin suplementación de Se. Incluye los siguientes ingredientes: maíz (33,4 %), afrechillo de arroz (18,2 %), salvado de arroz (21,6 %), harina de soja, High-Pro (15,5 %), DDGS maíz (8 %), aceite de soja (1,3 %) y carbonato de calcio, sal, lisina, treonina, rovbio max ap, sulfato de cobre, óxido de zinc, antioxidante, captor de toxinas, núcleo vitamínico mineral. La composición química analizada se muestra en la tabla 1.
- 2) Selenio orgánico (SO): dieta base suplementada con 0,3 mg/kg de Se orgánico – seleno-metionina hidroxianáloga: Se-OH-Met (producto comercial para alimentación animal).
- 3) Selenio inorgánico (SI): dieta base suplementada con 0,3 mg/kg de Se inorgánico - selenito de sodio: Na₂SeO₃ (producto comercial para alimentación animal, Se 1 %).

El nivel de suplementación utilizado, de 0,3 mg/kg de Se, se ajusta al límite de inclusión máxima sugerido por la FDA (2002, 1987).

Durante el período experimental, de crecimiento-engorde (en adelante, terminación), la alimentación de los animales se basó en la oferta de alimento concentrado, con libre

acceso a una pradera sembrada de primer año compuesta por *Trifolium repens* (0,76%), *Trifolium pratense* (38,94%) y *Cichorium intybus* (58,3%), y otras especies consideradas malezas (2%, Tabla 2). La oferta de concentrado fue ajustada semanalmente en función del peso vivo de los animales, considerando la fórmula de consumo máximo voluntario (CMV) que se detalla a continuación:

$$CMV = (PV^{0,75} \times 110 \times 4/3200) \times 0,85$$

Se consideró, además, una restricción del 15 % para incentivar el consumo de pastura (Jakobsen et al., 2015). Para realizar la corrección de la oferta de concentrado, los animales fueron pesados individualmente cada 15 días, asumiendo igual tasa de crecimiento diario para el período comprendido entre dos pesadas.

Tabla 1. Composición química analizada de las dietas experimentales (resultados expresados en base tal cual ofrecida).

	Control	Se orgánico	Se inorgánico
Ítem			
Humedad (%)	12	12	12
Proteína cruda (%)	16,75	17,02	16,18
Extracto Etéreo (%)	8,15	7,82	7,95
Fibra cruda (%)	6,60	6,39	5,80
Extracto no nitrogenado (%)	49,44	49,45	51,2
Calcio (%)	0,70	0,70	0,70
Fósforo (%)	0,37	0,37	0,37
Cenizas (%)	7,06	7,32	6,87
Cenizas insolubles (%)	0,76	0,76	0,70
Selenio (mg/kg)	0,11	0,48	0,47

Tabla 2. Composición química de las pasturas en base seca a 55 °C.

Pasturas	
Composición química	
Humedad (%)	89 ± 0,5
Proteína cruda (%)	22,1 ± 1,9
Extracto etéreo (%)	3,2 ± 0,42
Fibra cruda (%)	15,9 ± 2,0
Cenizas (%)	7,60 ± 0,61
Selenio (mg/kg)	0,51 ± 0,11

2.3. OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS DE MÚSCULOS

2.3.1. Procesos aplicados: frescos y conservados

Al final del período de terminación, los animales fueron transportados en condiciones adecuadas hasta una planta frigorífica habilitada por el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, donde se sacrificaron de acuerdo a la normativa para planta de faena autorizada cumpliendo con los requisitos de una faena comercial.

Se estudiaron los músculos *longissimus thoracis* y *psoas major* y los correspondientes a la sección de jamón: *biceps femoral*, *cuadriceps femoris*, *gluteus medius* y *semitendinosus*. Dichos músculos fueron removidos inmediatamente de las carcasas enfriadas y se trasladaron hasta el Laboratorio de Calidad de Alimentos y Calidad de Productos, de Facultad de Agronomía, en recipientes refrigerados, correctamente acondicionados. A los músculos LT y PM se les removió la grasa visible y se los fraccionó en dos partes iguales, una se congeló inmediatamente en vacío a -20 °C (en fresco) y la otra se conservó entre 1-2 °C bajo condiciones de vacío durante 7 días (muestras conservadas). Posteriormente se almacenó a -20 °C hasta el momento de su análisis. Los músculos traseros correspondientes al jamón fueron congelados inmediatamente a -20 °C (en fresco) hasta su posterior pulido y remoción de los músculos de interés al momento de la elaboración del jamón.

2.3.2. Procesos aplicados: elaboración del jamón cocido

Se elaboró un jamón considerado de alta gama (jamón cocido extra, por su denominación en el país) con proceso industrial en la Planta Piloto de la Universidad Católica del Uruguay (UCUDAL).

El Reglamento Bromatológico Nacional de nuestro país, decreto 588/008 (Uruguay-Poder Legislativo, 2008) define a los chacinados como «... productos preparados a base de carne y/o subproductos cárnicos comestibles, adicionados o no de otros ingredientes autorizados en dicho decreto». El decreto 60/019 (Uruguay-Poder Legislativo, 2019) define al jamón como una salazón cocida, listando los aditivos

autorizados en dicho registro. Para poder denominarse «extra», debe cumplir con los ciertos parámetros que se indican en el decreto 588/008 asociados a relación humedad/proteína a un valor máximo 4,2; azúcares totales expresados en glucosa (máximo 1,5 %); no se autoriza el agregado de proteínas ni de sustancias amiláceas para este tipo de producto (Uruguay-Poder Legislativo, 2008).

2.3.2.1. Músculos e ingredientes utilizados para el proceso de elaboración

A partir de los músculos del cuarto trasero correspondientes a la sección del jamón, *biceps femoral*, *cuadriceps femoris*, *gluteus medius* y *semitendinosus*, se obtuvieron las materias primas cárnicas. Las materias primas no cárnicas (agua-hielo, fosfatos, sal (NaCl), nitrito de sodio, carragenina y eritorbato de sodio) fueron compradas a proveedores locales de la industria cárnica.

2.3.2.2. Elaboración del jamón cocido

La formulación del jamón cocido extra (en adelante, jamón cocido) producido en el actual trabajo se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Formulación del jamón cocido

Ingredientes	%
Carne de cerdo	84,75
Agua/hielo	11,60
Sal	1,80
Fosfato*	0,45
Nitrito*	0,015
Eritorbato*	0,045
Carragenina*	0,34
Azúcar	1,00

*ingredientes comprados a proveedores locales de la industria cárnica.

Los cuartos traseros para la obtención de la materia prima cárnica fueron descongelados a una temperatura inferior a 5 °C, durante 36 horas, previo al inicio de la producción. Se removió de cada pieza (cuarto trasero) el cuero, la grasa y restos de hueso manualmente para obtener los músculos de interés.

Para la preparación de la salmuera, se pesaron todos los ingredientes secos de acuerdo a la fórmula para una extensión del 18 %. Los ingredientes se homogeneizaron en agua a 2-3 °C utilizando un mezclador industrial (Promixer, Blender-Immersion. IB 350 CV'+BLD250), y se obtuvo como resultado la salmuera, la cual fue añadida a la carne por medio de una inyectora multiaguja (Sunher AG Bremgarten, Switzerland) con agujas de 1 mm de diámetro de orificio y 4 orificios por aguja. Previamente, se ajustó la inyectora según el porcentaje de extensión. Para la etapa de tenderizado, se utilizó una tiernizadora de rodillos contra cortantes. El volteo se realizó en masajeador (Tumbler Sunher AG Bremgarten. Switzerland) durante 10 horas alternando 50 minutos de trabajo a 10 rpm y 10 de descanso hasta llegar a las 5000 revoluciones totales. El embutido se realizó manualmente en bolsas poliamida con posterior envasado al vacío y clipeado (clipeadora de vacío Bastor SA). Para el cocimiento, se utilizaron moldes con tapas, los cuales fueron sumergidos para posterior cocción en un tanque con agua caliente con temperatura controlada a 80 °C, hasta alcanzar temperatura óptima en el centro térmico de 72 °C (según normativa oficial: artículo 2 del decreto 588/088. Uruguay-Poder Legislativo, 2008). Luego de la cocción, los moldes fueron enfriados con agua fría. Los jamones fueron almacenados a una temperatura de -20 °C hasta su posterior análisis.

2.4. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

2.4.1. Parámetros de calidad de carne

2.4.1.1. pH

Se determinó el pH con un medidor de pH de penetración Lutron (pH-201) en todas las muestras de los músculos tanto frescos como conservados, así como también en las muestras de jamón cocido. Para ello, se realizó una hendidura en el tejido por donde se introdujo el electrodo para tomar las mediciones, enjugándose entre muestras con agua destilada.

2.4.1.2. Color

El color fue determinado a partir del método CIE (1976). Para todos los músculos, así como también para las muestras de jamón cocido, se tomaron medidas del color utilizando un colorímetro Minolta CR-10 con iluminante estándar D65. El valor de L* (luminosidad), a*(rojizo) y b* (amarillento) se determinó a partir de tres lecturas en la superficie de cada músculo. A partir de los valores de L*, a* y b* se calcularán los valores de C* (croma) y h (hue)

2.4.1.3. Drip loss

La pérdida de agua (*drip loss*) se evaluó según el método de suspensión de Honikel (1998) adaptado por Carballo et al. (2017). Muestras de, aproximadamente, 1 cm³ (con un peso aproximado de 10 g) de todos los músculos, tomadas en el sentido de la fibra, y de jamón cocido se pesaron y se suspendieron en bolsas de nylon cerradas, en ambiente refrigerado a 2-4 °C por 24 horas. Finalizado el tiempo, se registró el peso al final y por diferencia de peso se obtuvo la pérdida de peso en porcentaje.

2.4.2 Contenido de selenio

Se determinó la concentración de Se en la carne en las muestras de los músculos LT y PM frescos y conservados; en los músculos traseros BF, CF, GM y S, frescos, utilizados para el proceso de elaboración, y en las muestras obtenidas luego del proceso de obtención del jamón cocido. También se analizó el contenido de este mineral en las muestras de pasturas.

Se pesaron, aproximadamente, 10 g de cada muestra de carne y se liofilizaron por 48 horas en liofilizador Christ Alpha 1-4 LSCbasic. Para las pasturas, se pesó un gramo. Luego se incineraron a 580 °C durante 48 horas hasta obtener ceniza blanca. Se pesaron las cenizas, se trasvasaron y se disolvieron sobre plancha térmica a temperatura de subebullición en una solución de 2 ml de ácido clorhídrico 6N y 2 ml de ácido nítrico destilado 1N. El residuo se filtró y se llevó a matraz de 25 ml donde se enrasó con agua desionizada (resistividad mayor a 18 MΩ.cm). El Se total se

determinó por espectrofotometría de absorción atómica y horno de grafito (Perkin Elmer, Analyst 300) utilizando modificadores de matriz con base en paladio y nitrato de magnesio (Fluka, standard AA; Cabrera et al., 2010). El resultado se expresó como mg Se/kg de carne y mg Se/kg de jamón.

2.4.3. Oxidación lipídica

En las muestras de carne de los músculos LT y PM, en las muestras de los músculos traseros BF, CF, GM y S utilizados para el proceso de elaboración y en las muestras obtenidas luego del proceso de elaboración del jamón cocido se determinaron las especies reactivas al ácido tiobarbitúrico.

2.4.3.1. Cuantificación de especies reactivas al ácido tiobarbitúrico

Se cuantificaron TBARS siguiendo el método de Lynch y Frei (1993) adaptado por Carballo et al. (2017). Aproximadamente, 5 g de muestra fueron homogeneizados con 100 ml de una solución *buffer* KCl + EDTA y 1 ml de BHT durante 1 min a 12000 rpm. En tubos Falcon se colocaron 30 ml de la solución de extracción y se centrifugaron durante 10 min a 4 °C. Se extrajo 1 ml del sobrenadante y se colocó en un tubo de vidrio, se agregó 1 ml de solución TBA-TCA y se preparó el blanco con 1 ml de KCl + EDTA. Se colocaron los tubos en agua en ebullición durante 30 min y luego se colocaron en hielo por 5 min para detener la reacción. Se esperaron 45 min a temperatura ambiente y se agregó a cada tubo 3 ml de n-butanol, luego se pasaron por el vortex y se centrifugaron durante 10 min. Finalmente, se extrajo el sobrenadante y se colocó en el espectrofotómetro para medir la absorbancia a 535 nm. Se cuantificó el ácido malondialdehído (MDA, producto secundario de la lipoperoxidación) y los resultados se expresaron en mg de MDA/kg de carne y MDA/kg de jamón.

2.4.4. Tioles totales

Para cuantificar la oxidación proteica, en las muestras obtenidas luego del proceso de elaboración del jamón cocido se determinaron los tioles totales (SH).

Para la determinación se siguió el procedimiento de Jongberg et al. (2013) con modificaciones. Se pesó 1 g de jamón, al cual se le adicionaron 20 ml de *buffer* Urea-SLS-PBS (Urea 8 M, SLS 3 %, PBS 0,1 M pH 7,4) y se homogeneizó en Ultra-Turrax (T18 Basic con puntero S18N, IKA, Alemania) a 8000 rpm durante 20 segundos a temperatura ambiente. El homogenizado se vortexeó por 30 segundos y se incubó en agitación (140 rpm) por 1 hora (Unimax 1010, Heidolph, Alemania). Pasado el tiempo de incubación, la muestra se filtró por gravedad con papel de filtro Whatman n.º 1.

La determinación de tioles totales se realizó tomando 40 µL del filtrado, a los cuales se adicionaron 1960 µL de solución Urea-SLS-PBS y, posteriormente, 600 µl de reactivo DTNB 10 mM en PBS 0,1 M. Se incubó en oscuridad por 15 minutos a temperatura ambiente y en agitación (200 rpm). Luego, se registró la absorbancia a 412 nm en espectrofotómetro T70+ UV/Vis (PG Instruments Ltd, UK). El contenido de tioles totales se calculó mediante la ley de Lambert-Beer, utilizando la absorbancia obtenida a 412 nm, la absortividad molar (ϵ) del reactivo DTNB ($13600 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) y la longitud de la cubeta recorrida por la radiación (1 cm).

Los resultados se expresaron en función de la concentración de proteínas totales de la muestra (nmol/mg proteína). La cuantificación proteica se llevó a cabo mediante una curva de calibración con seroalbúmina bovina (BSA) como estándar de referencia (0-1,5 mg/ml). La curva se construyó tomando 40 µl de las distintas soluciones de concentración conocida de BSA a los cuales se adicionó 1960 µl de solución Urea-SLS-PBS. Se registró la absorbancia a 280 nm.

2.4.5. Contenido de proteína bruta y humedad

Para controlar el proceso de elaboración, se determinó el contenido de proteína bruta a través de la cuantificación de N total, por el método de Kjeldahl, número 2.062 de AOAC (AOAC, 1984) y la humedad por secado en estufa con aire forzado a 105 °C por 24 horas o hasta peso constante. A partir de los resultados, se calcula el porcentaje de proteína cruda en base tal cual y se calcula el cociente humedad/proteína cruda.

2.4.6. Extracción de lípidos

Para extraer los lípidos se siguió la técnica de Folch et al. (1957). Se pesaron muestras de, aproximadamente, 2 g de jamón cocido que se homogeneizaron en una solución de cloroformo:metanol 2:1 durante 1 minuto. El homogeneizado se filtró en un quitasato. El filtrado se colocó en una ampolla de decantación y se mezcló con 25 ml de solución de NaCl (9 g/l) y se agitó durante 1 minuto. Se dejó reposar durante 24 horas para favorecer la separación de las fases y se recogió la fase inferior, que contiene los lípidos en cloroformo, en balones de vidrio. El cloroformo se evaporó en un rotavapor IKA Basic y los balones se colocaron en estufa a 35 °C durante 30 min para su secado completo. A continuación, se pesaron y por diferencia de peso con el balón vacío se estimó el porcentaje de lípidos de la muestra.

2.4.7. Metilación de ácidos grasos y cromatografía de gases

Para realizar la metilación de los ácidos grasos se siguió el método de Ichibara et al. (1996). Los lípidos extraídos se disolvieron en hexano, en tubos de metilación se colocaron 2 ml de hexano (40 mg de lípidos) y se agregó 4 ml de KOH 2M, se colocaron en el vortex (2 min) y luego se centrifugaron a temperatura ambiente por 10 min. El sobrenadante producto del paso anterior se inyectó en el cromatógrafo split/splitless Clarus 500 (Perkin Elmer Instruments, EE. UU.) para realizar la cromatografía de gases, siguiendo el procedimiento de Eder (1995). Se utilizó una columna capilar de sílice fundida CPSIL-88 de 100 m y una temperatura inicial de 90 °C (1 min), luego se aumentó la temperatura a 180 °C (10 min) y, por último, se subió la temperatura a 225 °C (15 min). El inyector y el detector fueron mantenidos a una temperatura de 250 °C.

Los esteres metilados de AG individuales se cuantificaron como un porcentaje del total de los esteres metilados de AG detectados.

2.4.8. Cálculo de índices lipídicos y de salud

A partir de la información correspondiente a la composición de AG resultante de este trabajo, se estimaron los índices lipídicos (AGS, AGMI, AGPI, la suma de n-6 y la suma de n-3 y su cociente, el cociente AGPI/AGS) así como los índices de salud cuyo cálculo se expone a continuación.

2.4.8.1. Índice de aterogenicidad

Este índice indica la relación entre la suma de los principales ácidos grasos saturados (proaterogénicos) y los insaturados (antiaterogénicos). Se calculó de acuerdo a la fórmula propuesta por Ulbricht y Sauthgate (1991).

$$IA = (4 \times C14:0 + C16:0) / [\sum AGMI + \sum (n-6) + \sum (n-3)]$$

2.4.8.2. Índice de trombogénesis

Estima el potencial para formar coágulos en los vasos sanguíneos. Se determinó mediante la relación entre los ácidos grasos protrombogénicos (ácidos grasos saturados) y los antitrombogénicos (suma de AGMI y AGPI) (Ulbricht y Sauthgate, 1991).

$$IT = (C14:0 + C16:0 + C18:0) / [0,5 \times \sum MUFA + 0,5 \times \sum (n-6) + 3 \times \sum (n-3) + \sum (n-3) / \sum (n-6)]$$

2.4.8.3. Relación hipocolesterolémico/hipercolesterolémico

Se define como la relación entre los ácidos grasos insaturados (AGMI y AGPI) y los ácidos grasos saturados (AGS) C14:0 t C16:0 (Fernández et al., 2007).

$$h/H = (C14:1 + C16:1 + C17:1 + C18:1 + C20:1 + C18:2 + C18:3 + C20:3 + C20:4 + C22:4) / (C14:0 + C16:0)$$

2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se expresan como la media \pm el desvío estándar de la media (SEM, por sus siglas en inglés) de $n = 8$ animales para los estudios con LT y PM, $n = 4$ para los músculos traseros y $n = 6-7$ para los jamones cocidos. Para los músculos LT y PM, las variables *drip loss*, pH, color, oxidación lipídica y contenido de Se se analizaron a través de un ANOVA medidas repetidas en el tiempo, con los efectos principales de la dieta y el proceso, así como la interacción entre ellos y, *post hoc*, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$), de acuerdo al siguiente modelo:

$$Y_{ta} = \mu + \alpha_t + \beta_a + (\alpha\beta)_{ta}$$

Donde la Y_{ta} es la variable de respuesta, μ es la media general, α_t , el efecto del tratamiento (dieta), β_a , el efecto del proceso (fresco/conservado) y $(\alpha\beta)_{ta}$, la correspondiente interacción.

Fueron revisados los supuestos para el ANOVA medidas repetidas en el tiempo: las varianzas fueron homogéneas, las variables son continuas, las mediciones se realizaron en el mismo músculo y no se registraron *outliers*.

El contenido de selenio y oxidación lipídica se analizó, en los músculos traseros, a través de un ANOVA GLM con los efectos principales de la dieta, el músculo y la interacción entre ellos. Para el análisis de estas variables, se siguió el modelo anteriormente presentado, con la salvedad que β_a es el efecto del tipo de músculo y $(\alpha\beta)_{ta}$, la correspondiente interacción.

Para los músculos traseros (BF, CF, GM y S) y para los jamones, las variables fisicoquímicas se analizaron a través de un ANOVA de una vía y, *post hoc*, Test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). El contenido de selenio, la oxidación lipídica y los tioles totales en los jamones también se analizaron mediante ANOVA de una vía y, *post hoc*, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). Para los análisis de los ANOVA de una vía, se siguió un modelo matemático simple, donde Y_t es la variable de respuesta, μ es el valor promedio y α_t , el efecto de la dieta.

Los bloques se incluyeron como covariables para los análisis correspondientes a los músculos LT, PM, y traseros. Se utilizó el software NCSS (2019).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE SELENIO ORGÁNICO E INORGÁNICO EN LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, ESTATUS OXIDATIVO Y CONTENIDO DE Se DE LOS MÚSCULOS *LONGISSIMUS THORACIS* (LT) Y *PSOAS MAJOR* (PM) FRESCOS Y CONSERVADOS

3.1.1. pH, color y drip loss

Los resultados de las variables pH, color y *drip loss* de los músculos LT y PM de los cerdos Pampa Rocha suplementados con dos fuentes de selenio se presentan en las tablas 4 y 5.

Tanto para LT como para PM, ni el pH ni el color, en sus parámetros de luminosidad (L^*), enrojecimiento (a^*) o amarillamiento (b^*), ni la pérdida de agua (*drip loss*) se vieron afectados por la suplementación de selenio cualquiera sea la fuente (tabla 4 y 5). Se han reportado similares efectos previos por Calvo et al. (2017), lo cual contrasta con otros reportes, para los cuales el selenio agregado en la dieta tuvo efectos en disminuir la pérdida de agua en cerdo y aves. Del Puerto et al. (2021) y Gigante (2020) reportaron que la suplementación dietaria con selenio mejora la calidad de la carne de pollo en cuanto al color y a la disminución de la pérdida por goteo. Lisiak et al. (2014) obtienen resultados similares cuando analizan el efecto de la suplementación con selenio en diversos cortes cárnicos de cerdo de alto valor comercial, particularmente asociados a una menor pérdida por goteo y una mayor capacidad de retención de agua.

Tabla 4. Efecto de la suplementación de selenio (0,3 mg/kg de la dieta), orgánico e inorgánico sobre los parámetros físico-químicos del músculo *longissimus thoracis* fresco y conservado (7 días a 1-2 °C) al vacío.

<i>Longissimus thoracis</i>		Fuente de selenio						Efectos principales	
Ítem	Control		Se orgánico		Se inorgánico		D	P	
	Fresco	Conservado	Fresco	Conservado	Fresco	Conservado			
pH	5,64 ± 0,20	5,50 ± 0,06	5,44 ± 0,04	5,5 ± 0,05	5,57 ± 0,20	5,48 ± 0,03	ns	ns	
Drip loss, %	11,31 ± 1,02	10,11 ± 0,48	12,40 ± 1,16	9,2 ± 1,19	10,76 ± 0,77	10,09 ± 0,69	ns	0,03 F > C	
Color									
L*	45,28 ± 1,54	47,05 ± 1,22	43,79 ± 1,39	45,31 ± 0,78	44,33 ± 0,94	46,28 ± 1,37	ns	ns	
a*	3,65 ± 0,54	3,98 ± 0,53	3,96 ± 0,54	5,01 ± 0,62	3,45 ± 0,37	3,89 ± 0,62	ns	ns	
b*	10,6 ± 0,82	11,64 ± 0,61	10,89 ± 0,66	12,03 ± 0,51	10,1 ± 0,54	11,7 ± 0,62	ns	0,02 F < C	
C*	11,28 ± 0,86	12,33 ± 0,73	11,64 ± 0,75	13,07 ± 0,69	10,71 ± 0,57	12,40 ± 0,71	ns	0,02 F < C	
H	82,23 ± 2,11	83,21 ± 1,18	81,97 ± 1,73	80,03 ± 1,68	82,87 ± 1,22	83,06 ± 1,85	ns	ns	

Los datos son la media ± error estándar de la media. Los efectos principales, dieta (D) y proceso (P), sobre las variables estudiadas fueron analizados a través de ANOVA medidas repetidas. ns = no significativo.

Tabla 5. Efecto de la suplementación de selenio (0,3 mg/Kg de la dieta), orgánico e inorgánico sobre los parámetros físico-químicos en el músculo *psoas major* fresco y conservado (7 días a 1-2 °C) al vacío.

<i>Psoas major</i>		Fuente de selenio						Efectos principales	
Ítem	Control		Se orgánico		Se inorgánico		D	P	
	Fresco	Conservado	Fresco	Conservado	Fresco	Conservado			
pH	5,77 ± 0,08	5,72 ± 0,07	5,61 ± 0,06	5,61 ± 0,03	5,64 ± 0,06	5,69 ± 0,06	ns	ns	
Drip loss, %	8,56 ± 1,41	6,77 ± 0,93	9,57 ± 0,66	7,85 ± 0,86	7,55 ± 0,61	7,78 ± 1,07	ns	ns	
Color									
L*	36,31 ± 0,53	36,23 ± 0,83	36,06 ± 0,52	37,14 ± 0,57	35,7 ± 0,80	35,86 ± 0,58	ns	ns	
a*	11,18 ± 0,91	10,78 ± 0,56	11,33 ± 1,02	11,31 ± 0,60	10,30 ± 0,99	10,7 ± 0,49	ns	ns	
b*	9,65 ± 0,65	9,66 ± 0,48	10,45 ± 0,48	9,19 ± 0,50	9,71 ± 0,41	10,1 ± 0,47	ns	ns	
C*	14,84 ± 0,96	14,58 ± 0,30	15,61 ± 0,63	14,61 ± 0,69	14,24 ± 0,90	14,75 ± 0,55	ns	ns	
H	37,70 ± 4,40	39,48 ± 4,99	41,24 ± 5,94	33,69 ± 2,87	43,42 ± 4,81	41,84 ± 3,05	ns	ns	

Los datos son la media ± error estándar de la media. Los efectos principales, dieta (D) y proceso (P), sobre las variables estudiadas fueron analizados a través de ANOVA medidas repetidas. ns = no significativo.

Del análisis de los efectos contrastantes surge que los estudios se han realizado en diferentes músculos y especies, por lo que los diferentes resultados pueden explicarse en el tipo de músculo estudiado, en el caso de la carne de pollo (Del Puerto et al., 2016), por el tipo genético en el caso del cerdo (Carballo et al., 2017), y también por el sistema de producción (Juska et al., 2013). Particularmente la carne de cerdo, presenta los mayores índices de pérdida de agua, lo que puede estar asociado a las condiciones prefaena (Juncher et al., 2001) o al proceso de conservación *post mortem* (Traore et al., 2012), siendo este último uno de los aspectos que genera mayor heterogeneidad en cuanto a la cadena de frío, la temperatura y los tiempos y condiciones de descongelado (Zhang et al., 2022, Kristensen y Purslow, 2001).

Juncher et al. (2001), estudiando el efecto de las condiciones fisiológicas previas a la faena, encontraron que esta afecta significativamente el color, la oxidación de lípidos y la capacidad de retención de agua y la subsiguiente pérdida por goteo de bifes de cerdo, afectando, además, el pH que se obtenga posterior a la faena. Nache et al. (2016) afirman que en los momentos en los cuales desciende el pH *post mortem*, tanto a los 45 minutos como a las 24 horas (pH último), son claves, ya que estos establecen las características de la calidad de la carne. Ambos trabajos evidencian la importancia de las condiciones pre- y posfaena para obtener un producto de buena calidad. En esta investigación, los cerdos Pampa Rocha se terminaron en sistema al aire libre sobre pasturas, lo cual podría suponer mejores condiciones prefaena; sin embargo, estudios previos han reportado mayores y menores pérdidas de agua en animales criados en estos sistemas (Carballo et al., 2017, Juska et al., 2013); probablemente otros factores intervengan en este efecto.

Cuando se analiza el efecto del proceso, en este caso, la conservación por 7 días a 1-2 °C al vacío, se ve cómo este sí tuvo un efecto sobre algunos de los parámetros físico-químicos en el músculo *longissimus thoracis*, pero no en *psaos Major* (tablas 4 y 5). El porcentaje de agua perdida por goteo es mayor en los músculos en fresco en comparación con la conservación o maduración ($p < 0,03$). Los valores encontrados para fresco y conservado fueron 11,31 % y 10,11 % para el control, 12,40 % y 9,2 % para los que recibieron selenio orgánico y 10,76 % y 10,09 % para los que recibieron selenio inorgánico. La carne de cerdo conservada sufre un proceso de maduración y presenta menos pérdida de agua, ya que durante ese período se produce una purga o exudado de agua no ligada, lo cual hace disminuir la cantidad de agua libre que se mide como *drip loss*, lo que ha sido previamente reportado para Pampa Rocha por Carballo (2013) y para carne de cerdos comerciales (Yu et al., 2021, Kristensen y Purslow, 2001).

Los músculos como el *psaos major*, en general, presentan valores más altos de pH y, por lo tanto, una mayor capacidad de retención de agua (es decir, menores pérdidas por goteo o *drip loss*), mientras que los músculos como el *longissimus thoracis*, que,

generalmente, presentan menores valores de pH, se observa una menor capacidad de retención de agua (Mkwanazi et al., 2019). Sin embargo, no siempre estos factores están asociados en animales en sistemas al aire libre (Warriss et al., 1983). En la presente investigación, *psoas major* tiene menos pérdida de agua que *longissimus thoracis*, y esto es un atributo del tipo de músculo de interés para el consumidor y la industria.

El amarillamiento y saturación del color (b^* y C^* respectivamente) se incrementan en el músculo *longissimus thoracis* conservado al vacío en relación con el fresco (tabla 4). Sin embargo, la suplementación con selenio no modificó esta respuesta. Este efecto no se observó en el músculo *psoas major* conservado (tabla 5). Probablemente, las diferencias asociadas al tipo de músculo, más oxidativo (PM) o más glicolítico (LT) fueron más incidentes en esta respuesta (Brewer, 2014). Otras explicaciones han sido asociadas a una difracción de la luz debido al envase al vacío, como lo reportado por Hernández-García et al. (2022) y Bocian et al. (2018) en cerdos de líneas híbridas comerciales. Sin embargo, este incremento no fue asociado a un cambio en la mioglobina, ya que el a^* no tuvo cambios. Una relevante diferencia entre los dos músculos muestra un alto enrojecimiento y carne más oscura en *psoas* respecto de *longissimus* (tablas 4 y 5).

3.1.2 Contenido de selenio y oxidación lipídica

Los resultados de enriquecimiento de la carne en selenio y el efecto sobre la oxidación lipídica de los músculos LT y PM de los cerdos Pampa Rocha suplementados con dos fuentes de selenio (orgánico e inorgánico) se muestran en la figura 3.

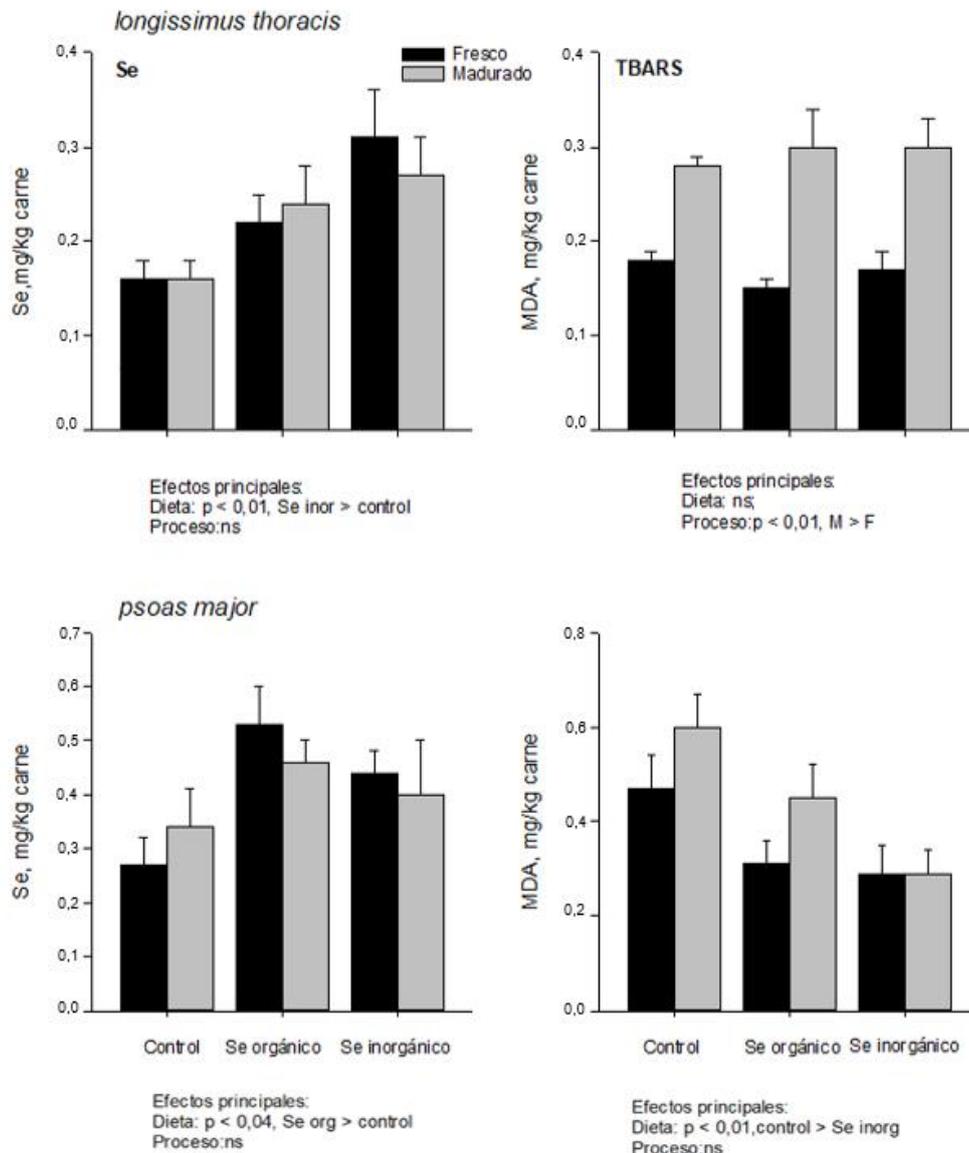


Figura 3. Enriquecimiento de la carne en selenio (mg/kg) y efecto sobre la oxidación lipídica (TBARS, MDA mg/kg) en los músculos *longissimus thoracis* y *psoas major* frescos y conservados de cerdos Pampa Rocha suplementados con selenio orgánico e inorgánico (0,3 mg/kg). Los valores son la media \pm SEM de n = 8 animales. Los datos se analizaron por ANOVA medidas repetidas con la dieta, el proceso (fresco y conservado) y la interacción dieta X proceso, como efectos principales y, *post hoc*, Test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$) para cada músculo. Interacción: ns

A partir de los datos obtenidos, se observa que en el músculo PM existe un efecto de la incorporación de selenio en la dieta de los cerdos Pampa Rocha sobre las sustancias reactivas al TBA. En consecuencia, la carne de animales suplementados con la fuente de selenio inorgánico presenta menores niveles de oxidación lipídica respecto a la

carne proveniente de animales control (0,29 vs. 0,47 mg MDA/kg carne, en fresco, respectivamente, y 0,29 vs. 0,60 mg MDA/kg para carne conservada, respectivamente). Estos resultados muestran que hay un efecto del selenio en la estabilidad oxidativa, por su rol como uno de los principales antioxidantes que tiene un papel fundamental en el estatus oxidativo de los alimentos.

Zhan et al. (2007) obtuvieron resultados similares e indican que la suplementación con fuentes de selenio orgánico e inorgánico redujo la oxidación lipídica en carne de cerdo, atribuyendo este resultado a la mayor actividad de la enzima glutatión peroxidasa (GPx), como lo reportado por Del Puerto et al. (2021), siendo una de las vías de protección contra el daño oxidativo. Franco et al. (2020) reportan menores niveles de oxidación en carne vacuna cuando los animales fueron suplementados con selenio orgánico, al igual que Jia et al. (2022) en carne de cordero.

Es importante mencionar que, si bien se observan mayores niveles de oxidación de lípidos, tanto para los músculos LT como PM frescos y conservados, los valores de TBARS obtenidos pueden ser considerados muy por debajo del valor límite (2 mg MDA/kg), lo que determina menos aceptación de la carne por parte de un panel de consumidores durante un estudio sensorial (Campo et al., 2006).

En relación con contenido de Se obtenido en las carnes de animales suplementados, se puede concluir que existe un efecto de aumento de las dietas sobre esta variable para el músculo PM y LT. La carne proveniente de animales enriquecidos con Se orgánico presenta mayor contenido de Se en relación con la obtenida de animales sin suplementar para el músculo PM, mientras que la carne proveniente de animales enriquecidos con Se inorgánico presenta mayor contenido de Se en relación con la obtenida de animales sin suplementar para el músculo LT. Estos resultados evidencian que el enriquecimiento de la dieta incide en el enriquecimiento de la carne que será posteriormente consumida, derivando en un mayor aporte de Se dietario a los consumidores. D'Amato et al. (2020) señalan que la biofortificación de alimentos con selenio, tanto de origen animal como vegetal, puede beneficiar la salud humana cuando este tipo de alimentos son incorporados a la dieta.

En adición a lo anterior, y teniendo en cuenta que el contenido de selenio que se incorporó a los músculos no se pierde cuando se conserva (figura 3), es de interés resaltar la importancia de este resultado. Al no variar el contenido de Se con la conservación, y considerando que se consume carne de cerdo que tiene un período de conservación al vacío, por ejemplo, se mantendrán los valores de Se obtenidos producto del enriquecimiento, llegando al consumidor final una carne enriquecida con Selenio, aspecto positivo y de gran importancia para la salud de los consumidores (Barchielli et al., 2022). Este resultado es diferente al encontrado en carne bovina (Ramos et al., 2012), en la cual se observó una pérdida de selenio durante la maduración de 14 días, junto con la pérdida de agua que se encuentra en el transcurso de ese proceso de maduración.

3.2 EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE SELENIO ORGÁNICO E INORGÁNICO EN LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, ESTATUS OXIDATIVO Y CONTENIDO DE Se EN LOS MÚSCULOS TRASEROS FRESCOS

3.2.1 pH, color y drip loss

Los resultados de pH, color L*,a*,b* y *drip loss* se muestran en las tablas 6, 7, 8 y 9 para los músculos estudiados en fresco.

La suplementación con selenio no afectó el pH, pero disminuyó el enrojecimiento y el croma (C*) en *biceps*, y mejoró la retención de agua en *cuadriceps* y *gluteus*, si bien la respuesta es dependiente de la fuente de selenio y del tipo de músculo. El tipo de músculo condiciona las respuestas de selenio, siendo, probablemente, el pH de cada uno que incide en la mejora o no del selenio en la pérdida de agua y el color (Calvo et al., 2017), resultando *cuadriceps femoris* el músculo con el pH más alto donde se da la mejor respuesta del selenio sobre el *drip loss* (tabla 7).

Tabla 6. Efecto de la suplementación de selenio (0,3 mg/kg de la dieta), orgánico e inorgánico sobre los parámetros físico-químicos en el músculo *biceps femoral* fresco.

<i>Biceps femoral</i>		Fuente de selenio		
Ítem	Control	Se orgánico	Se inorgánico	<i>p</i>
pH	5,71 ± 0,09	5,55 ± 0,06	5,60 ± 0,05	ns
Drip loss, %	7,45 ± 0,49	7,47 ± 0,85	5,58 ± 0,97	ns
Color				
L*	43,66 ± 1,83	45,89 ± 1,23	42,55 ± 2,16	ns
a*	9,08 ± 1,48 a	5,3 ± 0,72 b	7,7 ± 0,32 ab	< 0,02
b*	12,84 ± 0,56	12,24 ± 0,45	13,12 ± 0,70	ns
C*	15,91 ± 1,03 a	13,46 ± 0,46 b	15,24 ± 0,64 a	< 0,05
h	62,81 ± 6,76	77,98 ± 3,29	70,38 ± 2,09	ns

Los datos son la media ± error estándar de la media. El efecto de la dieta sobre las variables estudiadas fue analizado a través de ANOVA una vía y, *post hoc*, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). ns = no significativo.

Tabla 7. Efecto de la suplementación de selenio (0,3 mg/kg de la dieta), orgánico e inorgánico, sobre los parámetros físico-químicos en el músculo *cuadriceps femoral* fresco.

<i>Cuadriceps femoris</i>		Fuente de selenio		
Ítem	Control	Se orgánico	Se inorgánico	<i>p</i>
pH	5,87 ± 0,09	5,83 ± 0,12	5,92 ± 0,10	ns
Drip loss, %	8,12 ± 1,28 a	6,93 ± 1,32 ab	3,63 ± 0,71 b	< 0,05
Color				
L*	34,76 ± 1,87	35,91 ± 1,59	36,65 ± 1,82	ns
a*	10,03 ± 1,54	8,91 ± 0,85	7,96 ± 1,12	ns
b*	8,89 ± 0,50	9,74 ± 0,52	9,71 ± 0,89	ns
C*	13,67 ± 1,19	13,39 ± 0,51	12,86 ± 0,93	ns
h	40,98 ± 7,9	49,48 ± 6,42	55,39 ± 8,54	ns

Los datos son la media ± error estándar de la media. El efecto de la dieta sobre las variables estudiadas fue analizado a través de ANOVA una vía y, *post hoc*, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). ns = no significativo.

Tabla 8. Efecto de la suplementación de selenio (0,3 mg/kg de la dieta), orgánico e inorgánico, sobre los parámetros físico-químicos en el músculo *gluteus medius* fresco.

<i>Gluteus medius</i>		Fuente de selenio		
Ítem	Control	Se orgánico	Se inorgánico	<i>p</i>
pH	5,59 ± 0,04	5,62 ± 0,09	5,52 ± 0,09	ns
Drip loss, %	5,09 ± 0,55 b	4,21 ± 0,78 b	7,86 ± 0,49 a	< 0,006
Color				
L*	41,68 ± 2,55	44,13 ± 1,05	43,83 ± 0,97	ns
a*	6,95 ± 1,06	6,53 ± 0,89	6,66 ± 0,39	ns
b*	11,9 ± 0,96	12,05 ± 0,40	12,51 ± 0,42	ns
C*	14 ± 0,96	13,83 ± 0,68	14,2 ± 0,5	ns
h	69,02 ± 6,43	72,96 ± 3,88	74,04 ± 1,26	ns

Los datos son la media ± error estándar de la media. El efecto de la dieta sobre las variables estudiadas fue analizado a través de ANOVA una vía y, *post hoc*, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). ns = no significativo.

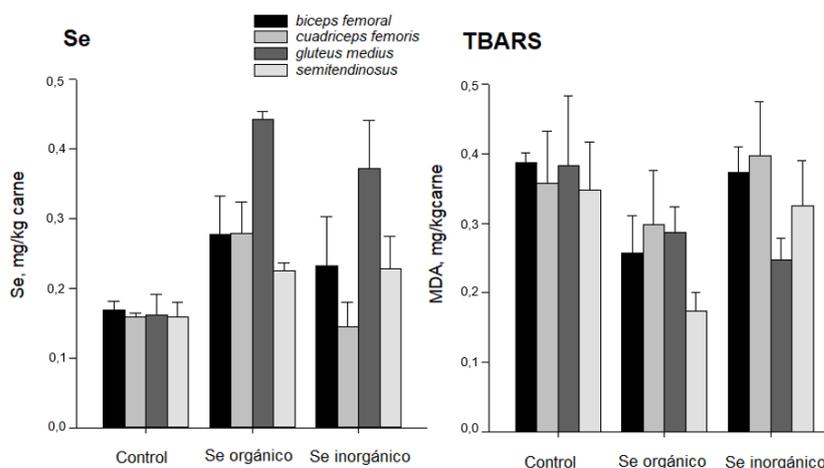
Tabla 9. Efecto de la suplementación de selenio (0,3 mg/kg de la dieta), orgánico e inorgánico, sobre los parámetros físico-químicos, en el músculo *semitendinosus* fresco.

Semitendinosus Ítem	Fuente de selenio			p
	Control	Se orgánico	Se inorgánico	
pH	5,49 ± 0,07	5,58 ± 0,07	5,68 ± 0,09	ns
Drip loss, %	5,45 ± 1,31	4,48 ± 1,01	4,45 ± 1,06	ns
Color				
L*	40,71 ± 1,78	44 ± 2,71	39,56 ± 1,27	ns
a*	6,8 ± 0,81	6,11 ± 0,92	6,91 ± 0,74	ns
b*	11,07 ± 0,65	12,14 ± 0,69	10,3 ± 0,56	ns
C*	13,09 ± 0,83	13,89 ± 0,35	12,54 ± 0,65	ns
h	68,67 ± 4,2	71,27 ± 2,65	64,85 ± 4,98	ns

Los datos son la media ± error estándar de la media. El efecto de la dieta sobre las variables estudiadas fue analizado a través de ANOVA una vía y, *post hoc*, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). ns = no significativo.

3.2.2 Contenido de selenio y oxidación lipídica

Se determinó el contenido de Se y la oxidación lipídica a través de la cuantificación de los TBARS en los músculos traseros de los cerdos Pampa Rocha suplementados con dos fuentes de selenio (orgánico e inorgánico; Figura 4).



<p>Efectos principales Se carne:</p> <p>Dieta: $p < 0,001$ Se orgánico; Se inorgánico > Control Músculo: $P < 0,001$; <i>gluteus medius</i> > otros</p>	<p>Efectos principales TBARS:</p> <p>Dieta: $p < 0,04$ Control > Se orgánico Músculo: ns</p>
---	---

Figura 4. Efecto de la suplementación con selenio orgánico e inorgánico (0,3 mg/kg) en la dieta de cerdos Pampa criados en sistema al aire libre con pasturas sobre el contenido de selenio (mg/kg) y el estatus oxidativo de los lípidos (TBARS; MDA, mg/kg) en los músculos *biceps femoral*, *cuadriceps femoris*, *gluteus medius* y *semitendinosus* frescos. Los datos representan la media ± error estándar de la media de $n = 4$. Los datos se analizaron mediante ANOVA GLM con la dieta, el dieta x músculo, como efectos principales para cada variable considerada y, *post hoc*, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$).

Se observó un enriquecimiento significativo con ambas fuentes de selenio, lo que depende del tipo de músculo, siendo *gluteus medius* quien presentó un mayor enriquecimiento respecto a los otros músculos. En lo que respecta a la respuesta de las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico, se observa un efecto significativo del selenio orgánico de la dieta en la disminución de la oxidación lipídica de los músculos, sin efecto del músculo. Este efecto se espera impacte en el producto terminado como jamón cocido que se analizará en la sección 3.3 siguiente.

3.3 EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE SELENIO ORGÁNICO E INORGÁNICO EN LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, ESTATUS OXIDATIVO Y CONTENIDO DE Se EN EL JAMÓN COCIDO

3.3.1. Parámetros tecnológicos del jamón

El jamón cocido elaborado mostró, para cada tratamiento, adecuados parámetros tecnológicos de acuerdo a los requisitos de la industria nacional (tabla 10).

Tabla 10. Parámetros tecnológicos del jamón cocido elaborado a partir de los músculos *semitendinosus*, *gluteus medius*, *cuadriceps femoris* y *biceps femoral* de animales que recibieron una dieta sin selenio (control) y con 0,3 mg/kg de selenio orgánico o inorgánico.

Parámetros tecnológicos				
Ítem	Control	Selenio orgánico	Selenio inorgánico	p
Humedad (g/100g)	71,7 ± 1,63	70,51 ± 0,87	68,30 ± 1,6	ns
Cenizas	3,78 ± 0,02 a	3,19 ± 0,2 b	2,76 ± 0,12 b	< 0,001
Proteína (g/100g)	16,92 ± 0,36	19,13 ± 1,12	19,23 ± 1,23	ns
Relación agua/proteína	4,25 ± 0,16	3,76 ± 0,22	3,65 ± 0,3	ns

Los valores representan la media ± el error estándar de la media de n = 6-7. p < 0,001 significa diferencia estadística por ANOVA una vía y, *post hoc*, test de Tukey Kramer (p < 0,05).

La relación humedad/proteína, un parámetro indicativo de una buena elaboración, está de acuerdo a la citada en la bibliografía (Uruguay-Poder Legislativo, 2008) para este tipo de producto. El agregado de Se a las dietas de los animales no afectó estos

parámetros en este estudio. El contenido de ceniza sí fue distinto, para lo cual no disponemos de una explicación.

Los valores obtenidos concuerdan con los reportados en la bibliografía internacional respecto a estos parámetros y para el mismo producto (Los et al., 2016, Tomović et al., 2013, Frontela et al., 2006).

3.3.2. pH, color y drip loss

Los resultados de las variables pH, color y *drip loss* de jamón cocido elaborado a partir de los músculos *semitendinosus*, *gluteus medius*, *cuadriceps femoris* y *biceps femoral* de cerdos Pampa Rocha suplementados con dos fuentes de selenio se presentan en la tabla 11.

Tabla 11. Efecto de la suplementación de selenio (0,3 mg/kg de la dieta), orgánico e inorgánico, sobre los parámetros físico-químicos y tecnológicos del jamón cocido.

Ítem	Control	Se orgánico	Se inorgánico	<i>p</i>
pH	6,24 ± 0,02 b	6,30 ± 0,01 a	6,27 ± 0,02 ab	< 0,01
Drip loss, %	1,33 ± 0,17	1,56 ± 0,45	1,22 ± 0,24	ns
Color				
L*	49,23 ± 2,14	49,47 ± 0,98	48,93 ± 1,07	ns
a*	8,97 ± 0,28 b	9,09 ± 0,61 b	10,95 ± 0,67 a	< 0,04
b*	10,3 ± 0,62	9,27 ± 0,27	10,32 ± 0,34	ns
C*	13,68 ± 0,57 ab	13,01 ± 0,46 b	15,1 ± 0,45 a	< 0,02
h	52,34 ± 2,98	46,81 ± 4,14	41,99 ± 4,40	ns

Los datos son la media ± error estándar de la media. Las variables fueron analizadas a través de un ANOVA una vía y, *post hoc*, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). ns = no significativo.

Se puede observar que el selenio modificó la respuesta del pH del jamón, aumentándolo significativamente cuando el jamón se elaboró con los músculos traseros de animales que recibieron selenio orgánico en su dieta. Los valores de pH obtenidos fueron similares a los reportados por Los et al. (2016) en jamón cocido elaborado a partir de jamón congelado en situaciones similares a la de este trabajo; y a los obtenidos por Tomović et al. (2013) para jamón cocido con 20 % de inyección y por Li et al. (2011), también para jamón cocido, pero con un período de masaje de 6 horas.

Respecto al color, el selenio inorgánico mejoró significativamente el enrojecimiento y el croma de los jamones. Es importante tener en cuenta para este parámetro, que la

carne proveniente de cerdos Pampa Rocha se caracteriza por presentar tonalidades más oscuras respecto a la de animales híbridos (Carballo et al., 2017). Algunos investigaciones reportan valores de L^* que oscilaron entre 61,42 y 66,11 (Los et al., 2016) o valores de 61,80 reportados por Li et al. (2011). En esta investigación, se reportan valores de 49,23; 49,47 y 48,93 para control, Se orgánico y Se inorgánico, respectivamente, siendo estos menores a los valores mencionados anteriormente, reportados en otros trabajos. A nivel industrial, es muy frecuente la utilización de colorantes en la formulación del producto, para obtener un color carmín o rosa en el jamón cocido (Dias et al., 2020). No obstante, para la elaboración del jamón cocido producido en este trabajo, este ingrediente no fue utilizado, por lo cual las diferencias pueden estar explicadas por este aspecto.

Ningún efecto se observó sobre la pérdida por goteo en los jamones de cualquiera de los tratamientos. Los valores obtenidos para esta variable son muy bajos y pueden explicarse por la capacidad de retención de agua de la materia prima cárnica. Li et al. (2011) señalan que las condiciones del masaje y la cocción son dos puntos críticos para producir jamones cocidos de alta calidad. El masaje se aplica para acelerar la difusión de la salmuera en el músculo promoviendo la extracción y solubilización del complejo proteico miofibrilar ante la presencia de sal y fosfato (Torres et al., 2012), lo que aumenta la capacidad de unión y de retención de agua de los productos cárnicos. Estos resultados reflejan, entonces, las óptimas condiciones de procesamiento en las que se elaboró el jamón cocido de esta investigación.

Este interesante efecto del selenio en un mayor pH del jamón cocido es de interés por su asociación a un menor entrelazamiento de las proteínas que le dan funcionalidad al producto o a la carne (Zhang et al., 2013). Este resultado será confirmado con el análisis de tioles totales que son parte de esta tesis. Probablemente, el efecto del selenio inorgánico en el más alto a^* y C^* (tabla 11) pueda estar relacionado con el mismo efecto. Más investigación se requiere para consolidar esta hipótesis.

3.3.3. Contenido de selenio y oxidación lipídica

Los resultados de enriquecimiento de la carne en selenio y el efecto sobre la oxidación lipídica del jamón cocido elaborado a partir de los músculos traseros de cerdos Pampa Rocha suplementados con dos fuentes de selenio (orgánico e inorgánico) se muestran en la figura 5.

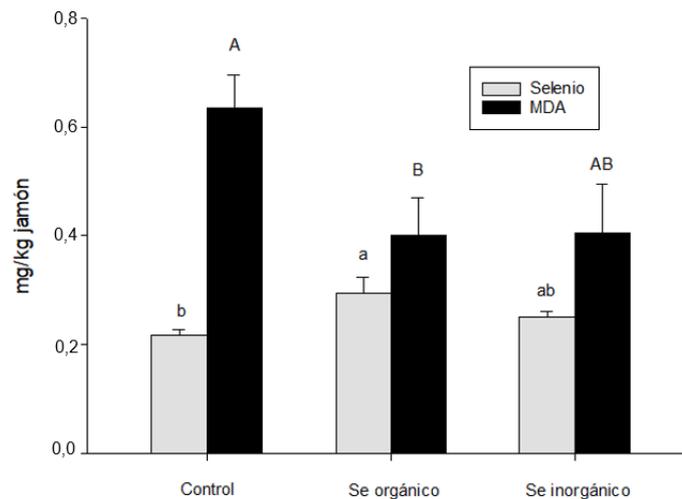


Figura 5. Contenido de Se total (mg/kg) y estatus oxidativo de los lípidos medido como sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARs, MDA, mg/kg) en el jamón cocido resultante del proceso de los músculos traseros de cerdos Pampa Rocha en sistema al aire libre y recibiendo una dieta suplementada en selenio orgánico e inorgánico (0,3 mg/kg alimento) versus no suplementados (control). Los valores representan la media \pm desvío estándar de la media de $n = 6-7$ jamones. a,b, significa diferencia significativa en contenido de Se entre dietas por ANOVA de una vía y, *post hoc*, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). A,B significa diferencia significativa en MDA entre dietas por ANOVA de una vía y, *post hoc*, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$).

Los resultados evidencian que existe un efecto de la dieta sobre la concentración de selenio en el jamón, incrementando el contenido de selenio en el orden del 36 % respecto al control en aquellos jamones que fueron elaborados con base en carne enriquecida con selenio orgánico (0,30 mg/kg vs. 0,22 mg/kg para selenio orgánico y control, respectivamente).

Como se mencionó anteriormente, si bien el enriquecimiento de los músculos traseros estuvo sujeto al tipo de músculo y a la naturaleza de este, estos respondieron a la adición de selenio en sus distintas fuentes, lo que resultó en un enriquecimiento del producto final. Estos resultados coinciden con los preliminares obtenidos por Janiszewski et al. (2011), quienes, evaluando el efecto de diferentes fuentes de selenio

(orgánico e inorgánico), encontraron que la suplementación de raciones de engorde, particularmente con fuentes de selenio orgánico, trae como resultado un mayor contenido de selenio en la carne y en el jamón cocido.

En lo que respecta a la oxidación de los lípidos, existió un efecto de la dieta sobre este parámetro, obteniendo menores valores de TBARS los jamones enriquecidos con selenio, en relación con control (figura 5). Estos resultados coinciden con los obtenidos a lo largo de esta investigación, en donde el selenio ha cumplido un rol preponderante en la estabilidad oxidativa de los alimentos. Se puede concluir, entonces, que la suplementación con selenio sería una solución para prevenir la peroxidación y, de esa forma, preservar la calidad del producto, en el entendido de que durante el procesamiento, manipulación y almacenamiento de la carne el daño oxidativo continúa y es, tal vez, la etapa más crítica (Del Puerto, 2017).

3.3.4. Tioles totales

Los resultados de la oxidación proteica determinados como contenido de tioles totales (SH) en el jamón cocido elaborado a partir de los músculos traseros de cerdos Pampa Rocha para el grupo control suplementados con selenio orgánico e inorgánico se presentan en la tabla 12.

Tabla 12. Efecto de la suplementación con Se dietario (0,3 mg/kg de la dieta), orgánico e inorgánico, sobre el contenido de tioles totales expresado como nmolSH/ mg proteína y como nmolSH/g jamón.

Ítem	Fuente de selenio			p
	Control	Se orgánico	Se inorgánico	
SH nmol/mg prot	46,62 ± 10,61	68,74 ± 9,68	48,54 ± 9,68	ns
SH nmol/g jamón	143,97 ± 29,86	187,90 ± 25,23	133,55 ± 27,26	ns

Los valores representan la media ± el error estándar de la media de n = 5-6. El efecto de la dieta sobre las variables estudiadas fue analizado a través de ANOVA de una vía y, *post hoc*, test de Tukey-Kramer (p < 0,05). ns: no significativo.

La suplementación con selenio en la dieta de los cerdos no tuvo un efecto significativo en el contenido de tioles, si bien se observa una tendencia con el selenio orgánico. Los

resultados indican que no existió un efecto de la suplementación con selenio en el contenido de SH total expresado por mg de proteína o por g de jamón. Los tioles representan compuestos antioxidantes que al oxidarse en un medio oxidativo con presencia de radicales se ligan en disulfuros (Ulrich y Jacob, 2019). Los grupos tioles que proviene de las cisteínas presentes en las proteínas musculares tienen una versatilidad en cuanto a roles en la célula. Estos son encontradas en las regiones de las proteínas con roles funcionales o estructurales, actuando como estabilizantes, catalíticos, uniéndose a metales o a entidades que regulan el sistema redox (Poole, 2015). Los tioles y su contraparte, el disulfuro oxidado, se mantienen balanceados para mantener la homeostasis redox. La pérdida de tioles ya sea durante la conservación de la carne en respuesta a procesos oxidativos, frente a sustancias prooxidantes, xenobióticos o a una determinada situación de estrés celular, es un indicador de oxidación de las proteínas, específicamente aquellas ricas en cisteína (Pirotti, 2020).

Debido a que el grado de oxidación de la proteína se indica mediante cambios en el contenido de grupos sulfhidrilos totales, al no haberse observado pérdidas de tioles significativos, se puede concluir que los niveles de oxidación proteica para el jamón cocido fueron los mismos, independientemente del agregado y de la fuente de selenio. Sería necesario profundizar en este aspecto, ya que el procesamiento pudo haber afectado la cantidad de tioles en el músculo en fresco antes del procesamiento.

3.3.5. Composición de ácidos grasos en el jamón cocido

Los AG C16:0, C18:0, C18:1 y C18:2n6 fueron encontrados en mayor proporción en el jamón, cualquiera sea su tratamiento, lo cual caracteriza al producto, con valores promedios de 23,17; 12,51; 40,76 y 15,23 % respectivamente (tabla 13).

Tabla 13. Efecto de la suplementación con selenio (0,3 mg/kg de la dieta), orgánico e inorgánico, sobre la composición de ácidos grasos (g/100 g de ácidos grasos) en el jamón cocido.

	Control	Se orgánico	Se inorgánico	<i>p</i>
Lípidos, %	4,15 ± 1,62	5,15 ± 1,343	3,56 ± 0,59	ns
Ácidos grasos (%)				
C14:0	1,04 ± 0,7	1,07 ± 0,03	1,05 ± 0,05	ns
C16:0	22,94 ± 0,6	23,11 ± 0,32	23,46 ± 0,38	ns
C16:1	2,22 ± 0,20 b	2,28 ± 0,12 ab	2,72 ± 0,18 a	0,03
C17:0	0,35 ± 0,02	0,34 ± 0,01	0,33 ± 0,02	ns
C17:1	0,26 ± 0,02	0,31 ± 0,04	0,26 ± 0,01	ns
C18:0	12,77 ± 0,39	12,89 ± 0,58	11,89 ± 0,13	ns
C18:1	39,32 ± 0,93	41,80 ± 0,83	41,15 ± 1,43	ns
C18:2n6	16,37 ± 1,01	14,47 ± 1,00	14,89 ± 1,42	ns
C20:1	0,20 ± 0,00 ab	0,25 ± 0,03 a	0,18 ± 0,01 b	0,03
C18:3n3	1,95 ± 0,06	2,01 ± 0,07	1,93 ± 0,10	ns
C20:2n6	0,56 ± 0,02	0,52 ± 0,05	0,52 ± 0,04	ns
C20:4n6	1,60 ± 0,37	0,74 ± 0,16	1,38 ± 0,40	ns
Otros	0,42 ± 0,10	0,21 ± 0,05	0,26 ± 0,05	-

Los datos son la media ± error estándar de la media de n = 6-7 jamones. a, b: Letras diferentes indican diferencia significativa entre dietas para lípidos totales y cada ácido graso. ns: no significativo. El efecto de la dieta sobre las variables estudiadas fue analizado a través de un ANOVA de una vía y, *post hoc*, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$).

A excepción del C16:1 y C20:1, ambos ácidos grasos monoinsaturados, la composición de ácidos grasos en el jamón cocido no se vio afectada por la suplementación con Se, independientemente de la fuente utilizada. En cuanto al C16:1, ácido palmitoleico (IUPAC, ácido delta-9-*cis*-hexadecénico), aumentó su proporción en un 23 % en los jamones provenientes de animales suplementados con la fuente de Se inorgánico con respecto al control. Un interés potencial por su efecto en antiobesidad es un resultado preliminar de este estudio. El C20:1 aumentó un 25 % en jamón elaborado con carne de animales que recibieron selenio orgánico, respecto del control. Este efecto del Se orgánico o inorgánico se puede deber a que el selenio puede intervenir en la distribución de ácidos grasos a través de un aumento de la expresión

génica de proteínas relacionadas a la lipogénesis en el hígado, según trabajos de Zhao et al. (2016). El perfil de ácidos grasos de los jamones no mostró efectos negativos del selenio en la pérdida de ácidos grasos de interés como el C18:3n3.

3.3.6. Índices lipídicos y de salud en el jamón cocido

A partir de la composición de ácidos grasos del jamón cocido, se estimaron algunos índices de calidad de lípidos y de salud con énfasis en la salud humana (tabla 14).

Tabla 14. Efecto de la suplementación con selenio (0,3 mg/kg de la dieta), orgánico e inorgánico, sobre los índices lipídicos y de salud en el jamón cocido.

	Control	Se orgánico	Se inorgánico	<i>p</i>
AGS	37,10 ± 0,97	37,40 ± 0,83	36,72 ± 0,49	ns
AGMI	42,00 ± 1,04	44,65 ± 0,84	44,31 ± 1,55	ns
AGPI	20,48 ± 1,41	17,74 ± 1,14	18,71 ± 1,88	ns
n-6	18,52 ± 1,37	15,73 ± 1,13	16,79 ± 1,81	ns
n-3	1,95 ± 0,06	2,01 ± 0,07	1,93 ± 0,10	ns
n-6/n-3	9,43 ± 0,52	7,88 ± 0,61	8,66 ± 0,76	ns
AI	1,54 ± 0,06	1,55 ± 0,04	1,56 ± 0,04	ns
TI	1,02 ± 0,04	1,02 ± 0,04	1,00 ± 0,03	ns
h/H	2,62 ± 0,11	2,59 ± 0,07	2,58 ± 0,06	ns
AGPI/AGS	0,56 ± 0,05	0,48 ± 0,04	0,52 ± 0,06	ns

Los datos son la media ± error estándar de la media. AGS: ácidos grasos saturados; AGMI: ácidos grasos monoinsaturados; AGPI: ácidos grasos poliinsaturados, ns = no significativo. El efecto de la dieta sobre las variables estudiadas fue analizado a través de ANOVA de una vía $p < 0,05$. AI = índice aterogénico, TI = índice trombogénico, h/H = índice hipocolesterolémico/hipercolesterolémico.

Los índices lipídicos y de salud no se vieron afectados por la suplementación con Se. Estos resultados son esperables, debido a que estos índices se calcularon a partir de los AG encontrados en la tabla 13, los cuales, como se vio anteriormente, no fueron afectados por el tratamiento dietario, a excepción del C16:1 y C20:1, que variaron su proporción, pero sin llegar a generar un cambio significativo en los índices calculados en este punto.

Con respecto a la relación n-6/n-3, fue más alta con respecto al valor recomendado (4:1) por la FAO-WHO (2010), alcanzando valores de 9,43; 7,88 y 8,66 para la dieta control con selenio orgánico y selenio inorgánico, respectivamente. Si bien los valores

obtenidos son altos, el selenio no estaría relacionado a esta respuesta, ya que no hubo un efecto de la dieta sobre este parámetro de referencia para la salud humana (Chen et al., 2022). Yang et al. (2016), en un experimento con ratas, demostraron que una proporción baja de AGPI n-6/n-3 (1/1 y 5/1) tuvo un efecto beneficioso sobre los factores de riesgo cardiovascular, mientras que una proporción alta de AGPI n-6/n-3 (20/1) tuvo efectos adversos.

La relación AGPI/AGS en cualquiera de los jamones producidos en este trabajo es superior al valor recomendado por la FAO-WHO (2010) (tabla 14). Dicha recomendación, la cual indica que la relación AGPI/AGS sea superior a 0,45, es para prevenir, por un lado, el exceso de AGS, los cuales tienen un efecto negativo sobre el colesterol LDL en plasma y, por otro lado, el exceso de AGPI, ya que algunos de ellos son precursores de potentes agentes coagulantes, además de estar asociados a la etiología de algunos cánceres (Stajic et al., 2011).

Por otro lado, Kang et al. (2005), estudiando la relación AGPI/AGS de la dieta, reportan que una dieta con una relación AGPI/AGS alta aumenta el estrés oxidativo debido a que los AGPI son altamente susceptibles a la peroxidación lipídica, por lo cual una relación AGPI/AGS de 1·0–1·5 máximo se asociaría con una oxidabilidad moderada y estaría dentro de un rango favorable para reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares. El producto jamón cocido, ya sea del control como el resultante de las dietas con selenio, presentó un cociente muy adecuado a las recomendaciones, debido a que el equilibrio de esos ácidos grasos es conveniente en el cerdo Pampa terminado con pasturas y a que el selenio dietario mejora otros atributos oxidativo sin modificar esta relación.

4. CONSIDERACIONES FINALES

En este estudio se enriqueció la carne de cerdos Pampa Rocha terminados al aire libre con pasturas, a nivel de los músculos de alto valor comercial como el LT y PM, músculos traseros y un producto resultante del procesamiento de los músculos traseros, el jamón cocido.

La cantidad incorporada varió desde el 15 al 50 % más de selenio, dependiendo del tipo de músculo, con respecto a los animales control, sin suplementación. El enriquecimiento de selenio en LT y PM se mantuvo con la conservación al vacío durante 7 días a 1-2 °C. En los músculos traseros fue diferente según el tipo de músculo y se mantuvo en el proceso de elaboración, indicando que no disminuyó con la pérdida de agua o el exudado o el procesado, como la cocción del jamón.

El selenio incorporado mejoró los parámetros de pH, color, y *drip loss*, mientras que disminuyó la oxidación lipídica en una forma dependiente del músculo.

El selenio incorporado no modificó sustancialmente la composición de ácidos grasos del jamón y no alteró los índices de salud, siendo estos adecuados a una dieta recomendada para el consumo humano. Un efecto potencialmente interesante sobre el aumento del ácido palmitoleico (C16:1) en relación con selenio abrirá nuevos abordajes.

Estos resultados son de aplicación al diseño de productos de alto valor con base en una raza local suina en un sistema más amigable para el animal y para el consumidor.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Albernaz-Gonçalves R, Olmos G, Hötzel J. 2021. My pigs are ok, why change? – Animal welfare accounts of pig farmers. *Animal*, 15(3). <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100154>
- AOAC (Association of Official Agricultural Chemists). 1984. *Official Methods of Analysis*. Kjeldahl method (2.062). 14th edition. Washington D.C., USA.
- Apostolidis C, McLeay F. 2019. To meat or not to meat? Comparing empowered meat consumers' and anti-consumers' preferences for sustainability labels. *Food Quality and Preference*. 77: 109-122. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.04.008>
- Aran M, Mora Garcia S, Rimmaudo E, Wolosiuk A. 2009. Reevaluación de los residuos cisteína en el señalamiento redox. *Quimica viva*. 3: 162-184. ISSN: 1666-7948
- Aryee N, Akanbi O, Nwachukwu D, Gunathilake T. 2022. Perspectives on preserving lipid quality and strategies for value enhancement. *Current Opinion in Food Science*. 44, 100802. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.12.011>
- Barchielli G, Capperucci A, Tanini D. 2022. The Role of Selenium in Pathologies: An Updated Review. *Antioxidants*. 11(2): 251. <https://doi.org/10.3390/antiox11020251>
- Biswas S, Chida AS, Rahman I. 2006. Redox modifications of protein-thiols: emerging roles in cell signaling. *Biochemical Pharmacology*, 71 (5): 551-564. doi: 10.1016/j.bcp.2005.10.044.
- Bocian M, Jankowiak H, Reszka P, Banaszak S. 2018. Pork quality with special emphasis on colour and its changes during storage. *Journal of Central European Agriculture*. 19(1): 102-113. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/19.1.2029>
- Brewe M. 2014. Chemical and physical characteristics of meat: water-holding capacity. Reference Module in Food Science. En: Devine C, Dikeman M. (Eds.). *Encyclopedia of Meat Sciences* second edition. Elsevier. 274-282.

- Cabrera C, Saadoun A. 2014. An overview of the nutritional value of beef and lamb meat from South America. *Meat Science*. 98(3): 435–444.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.033>
- Cabrera C, del Puerto M, Terevinto A, Saadoun A. 2014. Compuestos bioactivos de la carne. *Veterinaria*. V Congreso Asociación Uruguaya de Producción Animal. pp 14-18.
- Cabrera C, Ramos A, Saadoun A, Brito G. 2010. Selenium, copper, zinc, iron and manganese content of seven meat cuts from Hereford and Braford steers fed pasture in Uruguay. *Meat Science*. 84(3): 518-528.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.10.007>
- Carballo C, Espino N, Vodanovich A. 2021. Producción de cerdos al aire libre como estrategia productiva a escala familiar. En: Palma, J y Cruz J. (Eds.). *Tecnologías sociales en la producción pecuaria de América Latina y el Caribe*. Colima: Universidad de Colima. (175-184). 271 p.
- Carballo C, Terevinto A, Barlocco N, Saadoun A, Cabrera C. 2017. pH, *Drip Loss*, Colour, Lipids and Protein Oxidation of Meat from Pampa-Rocha and Crossbreed Pigs Produced Outdoor in Uruguay. *Journal of Food and Nutrition Research*. 5(5): 342-346. <https://DOI:10.12691/jfnr-5-5-9>
- Carballo C. 2013. Oxidación lipídica y proteica de carne de cerdos Pampa Rocha producidos sobre pasturas. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía. UDELAR. Uruguay. 64 p.
- Callahan A, Leonard H, Powell T. 2020. Vitamins and Minerals as Antioxidants. En: *Nutrition: Science and Everyday Application*. 569 p. ISBN: 978-1-63635-003-5
- Calvo L, Toldrá F, Rodríguez A, López-Bote C, Rey, A. 2017. Effect of dietary selenium source (organic vs. mineral) and muscle pH on meat quality characteristics of pigs. *Food science & nutrition*. 5(1): 94-102.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.368>

- Calvo L, Toldrá F, Aristoy M, López-Bote C, Rey A. 2016. Effect of dietary organic selenium on muscle proteolytic activity and water-holding capacity in pork. *Meat science*. 121, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.05.006>
- Campo M, Nute G, Hughes S, Enser M, Wood J, Richardson R. 2006. Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*. 72(2): 303-311. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.07.015>
- Chaiyán M, Panpipat W. 2017. Mecanismo de oxidación en alimentos de origen animal. En: Banerjee R, Verma K, Siddiqui W (Eds.). *Antioxidantes Naturales: aplicaciones en Alimentos de Origen Animal*. Apple Academic Press. Boca Raton. EE. UU. 1–38.
- Chen J, Cui H, Liu X, Li J, Zheng J, Li X, Wang L. 2022. Effects of dietary n-6: n-3 polyunsaturated fatty acid ratio on growth performance, blood indexes, tissue fatty acid composition and related gene expression in peroxisome proliferator-activated receptor gamma signaling in finishing pigs. *Animal bioscience*. 35(5), 730-739. <https://doi.org/10.5713%2Fab.21.0288>
- Cicia G, Caracciolo F, Cembalo L, Del Giudice T, Grunert K, Krystallis A, Lombardi P, Zhou, Y. 2016. Food safety concerns in urban China: Consumer preferences for pig process attributes. *Food Control*. 60: 166-173. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.07.012>
- CIE (Commission Internationale de l'Eclairage). 1976. 18th session, London, UK. September 1975. CIE publication 36.
- Clinquart A, Ellies-Oury P, Hocquette F, Guillier L, Santé-Lhoutellier V, Prache S. 2022. On-farm and processing factors affecting bovine carcass and meat quality. *Animal*. 16(1): 100426. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100426>
- D'Alessandro G, Maiorano G, Kowalyszyn B, Loiudice P, Martemucci G. 2012. How the nutritional value and consumer acceptability of suckling lambs meat is affected by the maternal feeding system. *Small Ruminant Research*. 106(2-3): 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.02.001>

- Dalgaard T, Briens M, Engberg R, Lauridsen C. 2018. The influence of selenium and selenoproteins on immune responses of poultry and pigs. *Animal feed science and technology*. 238: 73-83. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.01.020>
- D'Amato M, Regni L, Falcinelli B, Mattioli S, Benincasa P, Dal Bosco A, Pacheco P, Proietti P, Troni E, Santi C. 2020. Current Knowledge on Selenium Biofortification to Improve the Nutraceutical Profile of Food: A Comprehensive Review. *Journal of agricultural and food chemistry*. 68(14): 4075–4097. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c00172>
- Del Campo M, Manteca X, Soares de Lima J, Brito G, Hernández P, Sañudo C, Montossi F. 2021. Effect of Different Finishing Strategies and Steer Temperament on Animal Welfare and Instrumental Meat Tenderness. *Animals*, 11(3), 859. <https://doi.org/10.3390/ani11030859>
- Del Puerto M, Gigante S, Terevinto A, Viqu C, Saadoun A. 2021. Oxidative, antioxidant, selenium status, and consumers' acceptability of poultry meat enriched with selenium by dietary supplementation. *Archivos de zootecnia*. 70(271): 291-302. <https://doi.org/10.21071/az.v70i271.5511>
- Del Puerto M. 2017. Selenio dietario y calidad de carne de ave. Tesis de Doctorado. Facultad de Agronomía. UDELAR. Uruguay. 147 p.
- Del Puerto M, Olivero R, Terevinto A, Saadoun A, Cabrera C. 2016. Dietary organic and inorganic selenium on liver glycogen and lactate, pH, color and *drip loss* of chicken pectoralis and gastrocnemius muscles. *Journal of Animal Sciences*. 6(1): 59. <http://dx.doi.org/10.4236/ojas.2016.61008>
- 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(3): 423-436. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.12.006>
- Dias S, Castanheira E, Fortes G, Pereira M, Rodrigues A, Pereira R, Gonçalves M. 2020. Application of natural pigments in ordinary cooked ham. *Molecules*. 25(9): 2241. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules25092241>
- Domínguez R, Pateiro M, Munekata E, Zhang W, Garcia-Oliveira P, Carpena M, Prieto M, Bohrer B, Lorenzo M. 2021. Protein oxidation in muscle foods: A

- comprehensive review. *Antioxidants*. 11(1): 60.
<https://doi.org/10.3390/antiox11010060>
- Domínguez R, Pateiro M, Gagaoua M, Barba F, Zhang W, Lorenzo M. 2019. A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants*. 8(10): 429. <https://doi.org/10.3390/antiox8100429>
- Durán V, Hernández E, Aguirre E, Gorga L. 2020. Problemas y oportunidades de la cadena de carne porcina en Uruguay. En: Análisis sectorial y cadenas productivas. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, Oficina de Programación y Política Agropecuaria. Montevideo, Uruguay. 668 p.
- Echenique A, Capra G. 2006. Diagnóstico de situación de la calidad de carne porcina para consumo fresco en el Uruguay. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria-INIA. Montevideo, Uruguay. Serie Técnica n.º 160.
- Eder K. 1995. Gas chromatographic analysis of fatty acid methyl esters. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*. 671(1-2): 113–131 [https://doi.org/10.1016/0378-4347\(95\)00142-6](https://doi.org/10.1016/0378-4347(95)00142-6)
- Estévez M. 2011. Protein carbonyls in meat systems: A review. *Meat science*. 89(3): 259-279. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.025>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). DAD-IS. 2022. Sistema de Información sobre la Diversidad de los Animales Domésticos. [En línea]. Consultado 20 febrero 2022. Disponible en: <https://www.fao.org/dad-is/browse-by-country-and-species/es/>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2014. Pig and Animal Production. [En línea]. Consultado 27 setiembre 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/en/pigs/production.html>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). WHO. 2010. Fats and fatty acids in human nutrition. Rome: FAO Food and nutrition paper. 91. Report of an expert consultation. Geneva, November 10-14, 2008.
- FDA (Food and Drug Administration). 2002. Food additives permitted in feed and drinking water of animals; selenium yeast. Fed. Register (no. 137/July 17) 67:46850. U.S. FDA Rockville, MD.

- FDA (Food and Drug Administration). 1987. Correction Food additives permitted in feed and drinking water of animals. Selenium. Fed. Regist. 52:21001. U.S. FDA Rockville, MD.
- Federación de Veterinarios de Europa. 2009. Pig castration—FVE position paper. [En línea]. Consultado 27 setiembre 2019. Disponible en: https://fve.org/cms/wp-content/uploads/fve_09_040_castration_pigs_2009.pdf
- Feng X, Chen L, Lei N, Wang S, Xu X, Zhou G, Li Z. 2017. Emulsifying properties of oxidatively stressed myofibrillar protein emulsion gels prepared with (–)-epigallocatechin-3-gallate and NaCl. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 65(13): 2816-2826. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b05517>
- Fernandes N, Hemsworth H, Coleman J, Tilbrook J. 2021. Costs and Benefits of Improving Farm Animal Welfare. *Agriculture*. 11(2): 104. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020104>
- Fernández M, Ordóñez J, Cambero I, Santos C, Pin C, De la Hoz L. 2007. Fatty acid compositions of selected varieties of Spanish dry ham related to their nutritional implications. *Food Chemistry*. 101(1): 107-112. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.006>
- Flohé L. 2016. The impact of thiol peroxidases on redox regulation. *Free radical research*. 50(2): 126-142. <https://doi.org/10.3109/10715762.2015.1046858>
- Folch J, Lees M, Sloane-Stanley G. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*. 226(1): 497-509. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)64849-5)
- Franco J, Simeone A, Beretta V, Realini C, Saadoun A, Terevinto A, Cabrera C, Costanzo A, Ravecca G, Goyeneche A, Delpiazzo R, Bentancur, O. 2020. Efecto de la suplementación con selenio orgánico sobre la calidad de la canal y la vida útil de la carne de vaquillonas terminadas en feedlot. *Veterinaria (Montevideo)*, 56(214). <https://doi.org/10.29155/vet.56.214.5>

- Frontela C, López G, Ros G, Martínez C. 2006. Relación entre los parámetros sensoriales, Físico-químicos e instrumentales en el jamón cocido. In *Anales de Veterinaria de Murcia*. 22. 67-78. <https://doi.org/10.6018/analesvet>
- Gigante, S. 2020. Selenio dietario y estatus oxidativo, antioxidante y mineral de los músculos *Gastrocnemius* y *Pectoralis* aviares. UDELAR. Uruguay. 86 p.
- González del Pozo I. 2019. Biomarcadores de estrés oxidativo y capacidad antioxidante en el paciente con hipertrofia cardiaca: estudio observacional. Tesis de Doctorado. Universidad Complutense de Madrid. España. 177 p.
- Gromadzińska J, Reszka E, Bruzelius K, Wąsowicz W, Åkesson B. 2008. Selenium and cancer: biomarkers of selenium status and molecular action of selenium supplements. *European journal of nutrition*. 47(2): 29-50. <https://doi.org/10.1007/s00394-008-2005-z>
- Hajam Y, Rani R, Ganie Y, Sheikh T, Javaid D, Qadri S, Pramodh S, Alsulimani A, Reshi, MS. 2022. Oxidative Stress in Human Pathology and Aging: Molecular Mechanisms and Perspectives. *Cells*. 11(3): 552. <https://doi.org/10.3390/cells11030552>
- Hernández-García E, Vargas M, Torres-Giner S. 2022. Quality and shelf-life stability of pork meat fillets packaged in multilayer polylactide films. *Foods*. 11(3): 426. <https://doi.org/10.3390/foods11030426>
- Honikel K. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*. 49(4): 447-457. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00034-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00034-5)
- Huang X, Ahn U. 2019. Lipid oxidation and its implications to meat quality and human health. *Food science and biotechnology*. 28(5): 1275-1285. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00631-7>
- INAC (Instituto Nacional de Carnes). 2020. Consumo de carnes en Uruguay. 6 pp. [En línea]. Consultado 10 de octubre de 2021. Disponible en: <https://www.inac.uy/innovaportal/v/18275/10/innova.front/consumo>

- Ichibara K, Shibahara A, Kamamamoto, Nakayama T. 1996. An improved method for rapid analysis of the fatty acids of glycerolipids. *Lipids*. 31(5): 535-539. <https://doi.org/10.1007/BF02522648>
- Jakobsen M, Kongsted A, Hermansen J. 2015. Foraging behaviour, nutrient intake from pasture and performance of free-range growing pigs in relation to feed CP level in two organic cropping systems. *Animal*. 9(12): 2006–2016. <https://doi.org/10.1017/S1751731115001585>.
- Janiszewski P, Borzuta K, Borys A, Grześkowiak, E, Strzelecki J, Lisiak D, Batorska M. 2011. Influence of supplementation organic or mineral Selenium on content Selenium in fresh, cooked, roasted and grilled loin (muscle longissimus dorsi) and ham. En: *International Congress of Meat Science and Technology*. 57^o, 2011, Ghent, Belgium. Proceedings. New York, USA. 499-502.
- Jia X, Li J, Li S, Zhao Q, Zhang K, Tang C, Qin, Y. 2022. Effects of dietary supplementation with different levels of selenium yeast on growth performance, carcass characteristics, antioxidant capacity, and meat quality of Tan sheep. *Livestock Science*. 255, 104783. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104783>
- Jiang J, Xiong L. 2016. Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: A review. *Meat science*. 120: 107-117. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.005>
- Jongberg S, Tørngren MA, Gunvig A, Skibsted LH, Lund MN. 2013. Effect of green tea or rosemary extract on protein oxidation in Bologna type sausages prepared from oxidatively stressed pork. *Meat science*. 93(3): 538-546. doi: 10.1016/j.meatsci.2012.11.005.
- Juska R, Juskiene V, Leikus R. 2013. La influencia de un sistema de alojamiento al aire libre en el crecimiento de los cerdos, la composición de la canal y la calidad de la carne. *Revista de investigación animal aplicada*. 41(1): 39-47. <https://doi.org/10.1080/09712119.2012.738215>
- Juncher D, Rønn B, Mortensen E, Henckel, P, Karlsson, A, Skibsted, L, Bertelsen, G. 2001. Effect of pre-slaughter physiological conditions on the oxidative

- stability of colour and lipid during chill storage of pork. *Meat science*. 58(4): 347-357. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00156-X](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00156-X)
- Kang J, Shin S, Park N, Lee S. 2005. The effects of polyunsaturated:saturated fatty acids ratios and peroxidisability index values of dietary fats on serum lipid profiles and hepatic enzyme activities in rats. *British Journal of Nutrition*. 94(4):526-32. <https://doi.org/10.1079/BJN20051523>
- Kristensen L, Purslow P. 2001. The Effect of Ageing on the Water-Holding Capacity of Pork: Role of Cytoskeletal Proteins. *Meat Science*. 58(1): 17–23. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00125-X)
- Lawrie R, Ledward D. 2006. The conversion of muscle to meat. *Lawrie's meat science*. Seventh edition. Cambridge: Woodhead Publishing. 442 p.
- Leiter O, Zhuo Z, Rust R, Wasielewska M, Grönnert L, Kowal S, Walker T. 2022. Selenium mediates exercise-induced adult neurogenesis and reverses learning deficits induced by hippocampal injury and aging. *Cell Metabolism*. 34(3): 408-423. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2022.01.005>
- Li C, Szczepaniak S, Steen L, Goemaere O, Impens S, Paelinck H, Zhou G. 2011. Effect of tumbling time and cooking temperature on quality attributes of cooked ham. *International Journal of Food Science & Technology*. 46(10): 2159-2163. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02731.x>
- Lisiak D, Janiszewski P, Blicharski T, Borzuta K, Grzeskowiak E, Lisiak B, Hammermeister A. 2014. Effect of selenium supplementation in pig feed on slaughter value and physicochemical and sensory characteristics of meat. *Annals of Animal Science*. 14(1): 213. <https://doi.org/10.2478/aoas-2013-0063>
- López-Bellido G, López L. 2013. Selenium and health; reference values and current status of Spanish population. *Nutrición hospitalaria*. 28(5): 1396-1406. <https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.5.6634>
- Lorenzo M, Domínguez R, Carballo J. 2017. Control de la oxidación lipídica en alimentos musculares mediante tecnología de envasado activo. En: Banerjee R, Verma A, Siddiqui W (Eds.) *Antioxidantes Naturales: Aplicaciones en*

- Alimentos de Origen Animal. Apple Academic Press Inc.: Boca Raton, FL, EE. UU. 343–382.
- Los F, Prestes R, Granato D, Simoes, D, Roman S, Demiate M. 2016. Assessing the use of frozen pork meat in the manufacture of cooked ham. *Food Science and Technology*. 36: 124-131. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.0066>
- Luciano G, Monahan F, Vasta V, Pennisi P, Bella M, Priolo A. 2009. Lipid and colour stability of meat from lambs fed fresh herbage or concentrate. *Meat Science*. 82(2): 193-199. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.01.010>
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0022-2275\(20\)35737-0](https://doi.org/10.1016/S0022-2275(20)35737-0)
- Mahan D, Azain M, Crenshaw T, Cromwell G, Dove C, Kim S, van Heugten, E. 2014. Supplementation of organic and inorganic selenium to diets using grains grown in various regions of the United States with differing natural Se concentrations and fed to grower–finisher swine. *Journal of Animal Science*. 92(11): 4991-4997. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7735>
- Manzanares W. 2007. Selenio en los pacientes críticos con respuesta inflamatoria sistémica. *Nutrición Hospitalaria*. 22(3): 295-306. ISSN 0212-1611
- McAfee A, McSorley E, Cuskelly G, Moss B, Wallace J, Bonham M, Fearon A. 2010. Red meat consumption: An overview of the risks and benefits. *Meat science*. 84(1): 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.029>
- McNeill S, Van Elswyk M. 2012. Red meat in global nutrition. *Meat science*. 92(3), 166-173. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.03.014>
- Mernies B, Carballo C, Cabrera C, Barlocco N, Saadoun A. 2012. Ácidos grasos del músculo longissimus thoracis de cerdos Pampa Rocha y cruza con razas Duroc y Large White. *Veterinaria*. Vol. Especial. IV Congreso Asociación Uruguay de Producción Animal. 123 p.
- MGAP-DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección de Investigaciones Económicas Agropecuarias). 2021. Anuario Estadístico Agropecuario [En línea]. Consultado 20 febrero 2022. Disponible en:

<https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-estadistico-agropecuario-2021>

- Mkwanazi V, Ncobela N, Kanengoni T, Chimonyo M. 2019. Effects of environmental enrichment on behaviour, physiology and performance of pigs—A review. *Asian-Australasian journal of animal sciences*. 32(1): 1-13. <https://doi.org/10.5713%2Fajas.17.0138>
- Mondéjar-Jiménez J, Sánchez-Cubo F, Mondéjar-Jiménez J. 2022. Consumer Behaviour towards Pork Meat Products: A Literature Review and Data Analysis. *Foods*. 11(3): 307. <https://doi.org/10.3390/foods11030307>
- Nache M, Hinrichs J, Scheier R, Schmidt H, Hitzmann B. 2016. Prediction of the pH as indicator of porcine meat quality using Raman spectroscopy and metaheuristics, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 154: 45-51. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2016.03.011>
- Pedersen L. 2018. Overview of commercial pig production systems and their main welfare challenges. *Advances in Pig Welfare*. 3–25. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101012-9.00001-0>
- Pereira A, Abreu V. 2018. Lipid peroxidation in meat and meat products. En: Mensour A. (Eds.). *Lipid Peroxidation Research*, London: IntechOpen. 29-42.
- Pereira P, Vicente A. 2013. Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. *Meat Science*. 93(3): 586-592. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.09.018>
- Pirotti F. 2020. Estatus antioxidante de carne bovina uruguaya: influencia del sistema de producción, tipo de músculo y tiempo de maduración. Tesis de maestría. Montevideo, Uruguay. Facultad de Ciencias. Universidad de la República. 119 p.
- Pole A, Dimri M, Dimri P. 2016. Oxidative stress, cellular senescence and ageing. *AIMS Molecular Science*. 3(3): 300-324. DOI: 10.3934/molsci.2016.3.300

- Poole L. 2015. The basics of thiols and cysteines in redox biology and chemistry. *Free Radical Biology and Medicine*. 80, 148-157. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2014.11.013>
- Ramos A, Cabrera C, Saadoun A. 2012. Bioaccessibility of Se, Cu, Zn, Mn and Fe, and heme iron content in unaged and aged meat of Hereford and Braford steers fed pasture. *Meat science*. 91(2); 116-124. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.01.001>
- Rayman M. 2012. Selenium and human health. *The Lancet*. 379(9822): 1256-1268. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(11\)61452-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)61452-9)
- Shang N, Wang X, Shu Q, Wang H, Zhao L. 2019. The Functions of Selenium and Selenoproteins Relating to the Liver Diseases. *Journal of nanoscience and nanotechnology*. 19(4);1875-1888. <https://doi.org/10.1166/jnn.2019.16287>
- Stajic S, Zivkovic D, Perunovic M, Sobajic S, Vranic D. 2011. Cholesterol content and atherogenicity of fermented sausages made of pork meat from various breeds. *Procedia Food Science*. 1: 568-575. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.086>
- Stampa E, Schipmann-Schwarze C, Hamm U. 2020. Consumer perceptions, preferences, and behavior regarding pasture-raised livestock products: A review. *Food Quality and Preference*. 82: 103872. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103872>
- Terevinto A, Cabrera C, Saadoun A. 2015. Influence of Feeding System on Lipids and Proteins Oxidation, and Antioxidant Enzymes Activities of Meat from Aberdeen Angus Steers. *Journal of Food and Nutrition Research*. 3, 581-586. DOI:10.12691/jfnr-3-9-4
- Terevinto A, Ramos A, Castroman G, Cabrera C, Saadoun A. 2010. Oxidative status, in vitro iron-induced lipid oxidation and superoxide dismutase, catalase and glutathione peroxidase activities in rhea meat. *Meat science*. 84(4): 706–710. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.11.007>
- Tomović M, 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.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.07.015>
- Torres O, Hernández J, Sánchez T. 2012. Evaluación de los cambios fisicoquímicos producidos por la composición de sal en la formulación de jamón cocido. *Vitae*. 19(1): 400-402. ISSN: 0121-4004.
- Traore S, Aubry L, Gatellier P, Przybylski W, Jaworska D, Kajak-Siemaszko K, Sante-Lhoutellier V. 2012. Higher drip loss is associated with protein oxidation. *Meat Science*. 90 (4): 917-924.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.11.033>
- Ulbricht V, Southgate T. 1991. Coronary heart disease: seven dietary factors. *The Lancet*. 338(8773): 985–992. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)91846-M](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91846-M)
- Ulrich K, Jakob U. 2019. The role of thiols in antioxidant systems. *Free Radical Biology and Medicine*, 140, 14-27.
<https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2019.05.035>
- Uruguay. Poder Legislativo. 2019. Decreto n.º 60/019. Incorporación de la res. gmc 63/18. Reglamento técnico Mercosur de asignación de aditivos y sus límites máximos para la categoría de alimentos: categoría 8: carnes y productos cárnicos. Derogación de la resolución gmc n.º 73/97. Derogación del decreto 33/001. [En línea]. Consultado 10 marzo de 2022. Disponible en: <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/60-2019>
- Uruguay. Poder Legislativo. 2008. Decreto n.º 588/008. Reglamento bromatológico nacional. Derogación. Modificación. [En línea]. Consultado 10 marzo 2022. Disponible en: <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/588-2008>
- USDA (United States Department of Agriculture). 2018. Livestock and Poultry: World Markets and Trade [En línea]. Consultado 1 de agosto 2019. Disponible en: <https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/73666448x?locale=en>

- Vinchira J, Muñoz-Ramírez A. 2010. Selenio: nutriente objetivo para mejorar la composición nutricional del pescado cultivado. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*. 57(1): 59-75. ISSN 0120-2952
- Warris D, Kestin C, Robinson M. 1983. A note on the influence of rearing environment on meat quality in pigs. *Meat Science*. 9(4): 271-279. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(83\)90037-2](https://doi.org/10.1016/0309-1740(83)90037-2)
- Wu M, Cong X, Li M, Rao S, Liu Y, Guo J, Yu T. 2020. Effects of different exogenous selenium on Se accumulation, nutrition quality, elements uptake, and antioxidant response in the hyperaccumulation plant *Cardamine violifolia*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 204, 111045. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111045>
- Xia M, Chen Y, Guo J, Feng X, Yin X, Wang L, Ma J. 2019. Effects of oxidative modification on textural properties and gel structure of pork myofibrillar proteins. *Food Research International*, 121, 678-683. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.12.037>
- Yang G, Song X, Yin H, Wang Y, Shu F, Lu X, Sun J. 2016. Low n-6/n-3 PUFA ratio improves lipid metabolism, inflammation, oxidative stress and endothelial function in rats using plant oils as n-3 fatty acid source. *Lipids*. 51(1): 49-59. <https://doi.org/10.1007/s11745-015-4091-z>
- Yu Q, Cooper B, Sobreira T, Kim Y. 2021. Utilizing Pork Exudate Metabolomics to Reveal the Impact of Aging on Meat Quality. *Foods*. 10(3):668. <https://doi.org/10.3390/foods10030668>
- Zeida A, Trujillo M, Ferrer-Sueta G, Denicola A, Estrin A, Radi R. 2019. Catalysis of peroxide reduction by fast reacting protein thiols: focus review. *Chemical reviews*, 119(19), 10829-10855. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00371>
- Zeng H. 2009. Selenium as an essential micronutrient: roles in cell cycle and apoptosis. *Molecules*, 14, 1263–1271. <https://doi.org/10.3390/molecules14031263>
- Zhan X, Wang M, Zhao R, Li W, Xu Z. 2007. Effects of different selenium source on selenium distribution, loin quality and antioxidant status in finishing

- pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 132(3-4): 202-211.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.03.020>
- Zhao Z, Barcus M, Kim J, Lum L, Mills C, Lei G. 2016. High dietary selenium intake alters lipid metabolism and protein synthesis in liver and muscle of pigs. *The Journal of Nutrition*, 146(9), 1625-1633.
<https://doi.org/10.3945/jn.116.229955>
- Zhang R, Yang Y, Min M, Li Y. 2022. Effect of dietary supplements on Se bioavailability: A comprehensive in vitro and in vivo study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 231, 113193.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113193>
- Zhang W, Xiao S, Ahn U. 2013. Protein oxidation: basic principles and implications for meat quality. *Critical reviews in food science and nutrition*. 53(11): 1191-1201. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.577540>

6. ANEXOS

6.1 ARTÍCULO CIENTÍFICO

El artículo científico se someterá a revisión para su publicación en *CyTA Journal of Food*.

Research article

Pampa Rocha pork meat enriched with selenium: physicochemical and nutritional parameters and oxidative stability in fresh and preserved meat and cooked ham

Carne de cerdo Pampa Rocha enriquecida con selenio: parámetros físico-químicos y nutricionales y estabilidad oxidativa en la carne fresca y conservada y en el jamón cocido

Ana Laura Vodanovich*¹, Nandy Espino ^{1,2} Cecilia Carballo ¹, Virginia Palleiro ¹, Leonardo Salle ³, Alejandra Terevinto ¹, Ali Saadoun ^{1,2} & María Cristina Cabrera ^{1,2}.

¹ Departamento de Producción Animal y Pasturas. Laboratorio Calidad de Alimentos & Productos, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

² Sección Fisiología & Nutrición, Instituto de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

³ Universidad Católica del Uruguay, Montevideo, Uruguay.

*Corresponding author. Av. Eugenio Garzón 780, CP 12900, Montevideo, Uruguay.
avodanovich@fagro.edu.uy

Conflicto de interés

No existe conflicto de interés

Financiación

Este estudio fue parcialmente financiado por el Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía, Udelar, por Pedeciba (Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas, Uruguay) y por la Comisión Académica de Posgrado (CAP) de la Universidad de la República, a través de la obtención de una beca de posgrado.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración del magíster Ayrton Da Silva y de la señora Carmen Figarola en la preparación de muestras y toma de datos.

Abstract

This work studied the supplementation with organic and inorganic selenium (Se, 0.3 mg/kg) in the diet of local pigs Pampa Rocha reared outdoors and its effect on physicochemical parameters, total Se content and lipid oxidation in *longissimus thoracis* and *psaos major* muscles, fresh and preserved under vacuum (1-2 °C for 7 days), in fresh *biceps femoris*, *quadriceps femoris*, *gluteus medius* and *semitendinosus muscles* and in the resulting cooked ham. There was no effect on the color, pH, and drip loss of the selenium-supplemented diet on the *longissimus* and *Psoas* muscles. Whereas in back muscles dietary selenium caused lower a* in *biceps*, less drip loss in *quadriceps* and no effect on *semimembranosus*. Selenium improved oxidative stability in *psaos*, back muscles and ham, reducing TBARS. Dietary selenium increased the selenium content in the muscles studied and in the ham. In conclusion, selenium supplementation in the diet makes it possible to obtain different pork and ham muscles that are nutritionally more valuable and with greater oxidative stability during storage and processing.

Keywords: Pampa Rocha, selenium, color, pH, drip loss, lipid oxidation, cooked ham

Resumen

En este trabajo se estudió la suplementación con selenio (Se, 0,3 mg/kg) orgánico e inorgánico en la dieta de cerdos locales Pampa Rocha criados al aire libre y su efecto

sobre los parámetros físico-químicos, el contenido de Se total y la oxidación de lípidos en los músculos *longissimus thoracis* y *psaos major*, frescos y conservados al vacío (1-2 °C durante 7 días), en los músculos *biceps femoral*, *cuadriceps femoris*, *gluteus medius* y *semitendinosus* frescos y en el jamón cocido resultante. No hubo un efecto en el color, pH y *drip loss* de la dieta suplementada con selenio en los músculos *longissimus* y *psaos*. Mientras que, en los músculos traseros, el selenio dietario provocó un *a** más bajo en *biceps*, menos pérdida de agua en *cuadriceps* y ningún efecto en *semimembranosus*. El selenio mejoró la estabilidad oxidativa en *psaos*, en los músculos traseros y en el jamón, reduciendo los TBARS. El selenio dietario aumentó el contenido de selenio en los músculos estudiados y en el jamón. En conclusión, la suplementación con selenio en la dieta permite obtener diferentes músculos de cerdo y jamón nutricionalmente más valiosos y con mayor estabilidad oxidativa a la conservación y al procesado.

Palabras clave: Pampa Rocha, selenio, color, pH, *drip loss*, oxidación de lípidos, jamón cocido

1. Introducción

A nivel mundial, el consumo de carne de cerdo en fresco ha aumentado significativamente en los últimos años como resultado de una mayor disponibilidad en el mercado, menor costo en relación a otras carnes y una diversificación de cortes en fresco en relación a otros años (United States Department of Agriculture [USDA], 2018). Al mismo tiempo, el consumidor ha evolucionado en el conocimiento de los atributos nutricionales de la carne de cerdo, aceptando en mayor medida esta carne y exigiendo más en calidad e inocuidad (Mondéjar-Jimenez et al., 2022; Cicia et al., 2016).

La demanda del consumidor actual considera otros aspectos en relación con el ambiente y al bienestar de los animales productivos, asociando la cría al aire libre y el sistema pastoril a un alimento más amigable (Albernaz-Gonçalves et al., 2021; Del

Campo et al., 2021; Pedersen, 2018). En este contexto, la carne proveniente de sistemas menos intensivos, asociados a un mejor bienestar de los animales (Fernandes et al., 2021) y con determinados atributos nutricionales, como puede ser su enriquecimiento con Se, tiene potencial para su aceptación en las dietas flexitarianas (Stampa et al., 2020; Apostolidis y McLeay, 2019; Cicia et al., 2016; D'Alessandro et al., 2012). Por otro lado, surge el interés por obtener productos locales provenientes de animales rústicos, como es el caso de cerdos de origen ibérico u otros cerdos locales con potencial interés nutricional (Carballo et al., 2021; Rivero et al., 2019), siendo la producción, además, una forma de proteger a su población.

Trabajos previos (Carballo et al., 2017; Montenegro et al., 2019) han reportado que la carne del cerdo local de Uruguay, Pampa Rocha, tiene potencial por sus características nutricionales, con mayor contenido de hierro heme, cuando se cría al aire libre sobre pasturas; pero también ha presentado mayor pérdida de agua en el sistema pastoril como otros genotipos (Calvo et al., 2017). Un camino para disminuir la pérdida de agua, mejorar las condiciones de estabilidad oxidativa y valorizar nutricionalmente esta carne y a este recurso genético alimentario es incorporando un nutriente antioxidante que pueda cumplir estos roles al mismo tiempo. El selenio, un micronutriente asociado a los procesos antioxidantes, es un oligoelemento esencial para los humanos y animales (Zhang et al., 2022). Juega un rol fundamental en el sitio catalítico de múltiples selenoproteínas, como la GPx, actuando como cofactor de esta enzima fundamental para el mecanismo de protección de las células del daño oxidativo (Cabrera et al., 2010). La GPx reduce los fosfolípidos oxidados de membranas celulares hacia formas no tóxicas (alcohol fosfolípido) al mismo tiempo que ocurre la oxidación del glutatión, constituyéndose de este modo un sistema neutralizante de ROS (Barchielli et al., 2022). Se ha reportado que el selenio está asociado a situaciones de deficiencia en humanos, aumentando el riesgo de envejecimiento y otras patologías asociadas (Dalgaard et al., 2018; López-Bellido y López, 2013).

En consecuencia, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la incorporación de selenio orgánico e inorgánico (0,3 mg/kg) en la dieta de terminación

de cerdos Pampa Rocha criados al aire libre sobre los parámetros pH, color, *drip loss*, oxidación lipídica y contenido de selenio en los músculos de alto valor comercial, *longissimus thoracis* y *psoas major*, frescos y conservados, en los músculos traseros frescos *biceps femoral*, *cuadriceps femoris*, *gluteus medius* y *semitendinosus* y en el producto jamón cocido resultante.

2. Materiales y métodos

2.1. Animales y dietas experimentales

Los animales, cerdos locales Pampa-Rocha, de 182 ± 4 días de edad, con un peso promedio de $95,75 \pm 6$ kg, criados al aire libre sobre pasturas (pradera sembrada de primer año compuesta por *Trifolium repens*, *Trifolium pratense* y *Cichorium intybus*) en la Unidad de Producción de Cerdos, Centro Regional Sur, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, fueron asignados al azar a tres dietas experimentales (8 animales por dieta) hasta la faena. Todos los procedimientos fueron incluidos en un protocolo experimental, aprobado por la Comisión Honoraria de Experimentación Animal (CHEA, expediente n.º 020300-001720-18). Cada dieta tenía dos bloques con 4 animales cada uno durante el período experimental.

Las dietas experimentales fueron las siguientes:

- 1) Control (C), dieta base sin suplementación de Se. Incluyendo los siguientes ingredientes: maíz (33,4 %), afrechillo de arroz (18,2 %), salvado de arroz (21,6 %), harina de soja, High-Pro (15,5 %), DDGS maíz (8 %), aceite de soja (1,3 %) y carbonato de calcio, sal, lisina, treonina, rovabio max ap, sulfato de cobre, óxido de zinc, antioxidante, captor de toxinas, núcleo vitamínico mineral.
- 2) Selenio orgánico (SO): dieta base suplementada con 0,3 mg/kg de Se orgánico – seleno-metionina hidroxianáloga: Se-OH-Met (producto comercial para alimentación animal).
- 3) Selenio inorgánico (SI): dieta base suplementada con 0,3 mg/kg de Se inorgánico - selenito de sodio: Na_2SeO_3 (producto comercial para alimentación animal, 1 %).

El nivel de suplementación utilizado, de 0,3 mg/kg de Se, se ajusta al límite de inclusión máxima sugerido por la Food and Drug Administration (FDA, 2002, 1987).

2.2. Músculos y procesos aplicados

2.2.1. Frescos y conservados

Al final del período de terminación, los animales fueron sacrificados en planta frigorífica habilitada por el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (Uruguay), de acuerdo a la normativa para planta de faena autorizada cumpliendo con los requisitos de una faena comercial. Se extrajeron los músculos *longissimus thoracis* (LT) y *psoas major* (PM) y los correspondientes a la elaboración del jamón: *biceps femoral* (BF), *cuadriceps femoralis* (CF), *gluteus medius* (GM) y *semitendinosus* (S). Dichos músculos fueron removidos inmediatamente de las carcasas enfriadas y se trasladaron hasta el Laboratorio de Calidad de Alimentos y Calidad de Productos, de Facultad de Agronomía, en recipientes refrigerados correctamente acondicionados. A los músculos LT y PM se les removió la grasa visible y se los fraccionó en dos partes iguales, una se congeló inmediatamente en vacío a -20 °C (fresco) y la otra se conservó entre 1-2 °C bajo condiciones de vacío durante 7 días (conservado). Posteriormente, se almacenó a -20 °C hasta el momento de su análisis. Los músculos traseros correspondientes al jamón fueron congelados inmediatamente a -20 °C (fresco) hasta su posterior pulido y remoción de los músculos de interés al momento de la elaboración del jamón.

2.2.2. Elaboración de jamón cocido

Se elaboró un jamón (jamón cocido extra, por su denominación en el país) con proceso industrial en la Planta Piloto de la Universidad Católica del Uruguay (UCUDAL), siguiendo las normativas del Reglamento Bromatológico Nacional de nuestro país, decreto 588/008 (Uruguay-Poder Legislativo, 2008). El decreto 60/019 (Uruguay-Poder Legislativo, 2019) define al jamón como una salazón cocida, listando los aditivos autorizados en dicho registro. Para poder denominarse «extra» debe cumplir con los ciertos parámetros que se indican en el decreto 588/008 asociados a: relación humedad/proteína a un valor máximo 4,2; azúcares totales expresados en glucosa (máximo: 1,5 %); no se autoriza el agregado de proteínas ni de sustancias amiláceas

para este tipo de producto (Uruguay-Poder Legislativo, 2008). A partir de los músculos del cuarto trasero correspondientes a la sección del jamón, *biceps femoral*, *cuadriceps femoris*, *gluteus medius* y *semitendinosus*, se obtienen las materias primas cárnicas, a las cuales se les agrega las materias primas no cárnicas (agua-hielo, fosfatos, sal (NaCl), nitrito de sodio, carragenina y eritorbato de sodio), lo cual se indica en la tabla 1.

Tabla 1. Ingredientes y formulación del jamón cocido elaborado con los músculos traseros, *biceps femoral*, *cuadriceps femorais*, *gluteus medius* y *semitendinosus*, provenientes de animales que recibieron dietas control, con Se orgánico y con Se inorgánico (0,3 mg/kg).

Ingredientes	%
Carne de cerdo (músculos traseros)	84,75
Agua/hielo	11,60
Sal	1,80
Fosfato*	0,45
Nitrito*	0,015
Eritorbato*	0,045
Carragenina*	0,34
Azúcar	1,00

*ingredientes comprados a proveedores locales de la industria chacinera.

Brevemente, el proceso para la elaboración del jamón cocido consistió en lo siguiente: los cuartos traseros para la obtención de la materia prima cárnica fueron descongelados a temperatura inferior a 5 °C, durante 36 horas, previo al inicio de la producción. Se removió de cada pieza (cuarto trasero) el cuero, grasa y restos de hueso manualmente para obtener los músculos de interés. Para la preparación de la salmuera, se pesaron todos los ingredientes secos de acuerdo a la fórmula para una extensión del 18 %. Los ingredientes se homogeneizaron en agua a 2-3 °C utilizando un mezclador industrial (Promixer, Blender – Immersion. IB 350 CV´ + BLD250), con lo que se obtuvo la salmuera, la cual fue añadida a la carne por medio de una inyectora multiaguja (Sunher AG Bremgarten, Switzerland), con agujas de 1 mm de diámetro de orificio y 4 orificios

por aguja. Previamente, se ajustó la inyectora según el porcentaje de extensión. Para la etapa de tenderizado, se utilizó tiernizadora de rodillos contra cortantes. El volteo se realizó en masajeador (Tumbler Sunher AG Bremgarten. Switzerland) durante 10 horas, alternando 50 minutos de trabajo a 10 rpm y 10 de descanso, hasta llegar a las 5000 revoluciones totales. El embutido se realizó manualmente, en bolsas poliamida, con posterior envasado al vacío y clipeado (clipeadora de vacío Bastor SA). Para el cocimiento se utilizaron moldes con tapas, los cuales fueron sumergidos para posterior cocción en un tanque con agua caliente con temperatura controlada, a 80 °C, hasta alcanzar temperatura óptima en el centro térmico de 72 °C (según normativa oficial: artículo 2 del decreto 588/088. Uruguay-Poder Legislativo, 2008). Luego de la cocción, los moldes fueron enfriados con agua fría. Los jamones fueron almacenados a una temperatura de -20 °C hasta su posterior análisis.

2.3. pH

Se determinó el pH con un medidor de pH de penetración Lutron en todas las muestras de los músculos tanto frescos como conservados, así como también en las muestras de jamón cocido. Para ello, se realizó una hendidura en el tejido por donde se introdujo el electrodo para tomar las mediciones, enjuagándose entre muestras con agua destilada.

2.4. Color

El color fue determinado a partir del método CIE (1976). Para todos los músculos, así como también para las muestras de jamón cocido, se tomaron medidas del color utilizando un colorímetro Minolta CR-10 con iluminante estándar D65. El valor de L* (luminosidad), a*(rojizo) y b* (amarillento) se determinó a partir de tres lecturas en la superficie de cada músculo. A partir de los valores de L*, a* y b* se calcularán los valores de C* (croma) y h (hue).

2.5. Drip loss

La pérdida de agua (*drip loss*) se evaluó según el método de suspensión de Honikel (1998) adaptado a la carne de cerdo por Carballo et al. (2017). Muestras de, aproximadamente, 2 x 5 cm³ (10 g) de todos los músculos, tomadas en el sentido de la fibra, y de jamón cocido se pesaron y se suspendieron en bolsas de nylon cerradas en ambiente refrigerado a 2-4 °C por 24 horas. Finalizado el tiempo, se registró el peso al final y, por diferencia de peso, se obtuvo la pérdida de peso en porcentaje.

2.6. Contenido de selenio

Se determinó el contenido de Se total en la carne en las muestras de los músculos LT y PS frescos y conservados; en los músculos traseros BF, CF, GM y S frescos utilizados para el proceso de elaboración y en las muestras obtenidas luego del proceso de obtención del jamón cocido. Se pesaron, aproximadamente, 10 g de cada muestra de carne y se liofilizaron por 48 horas en liofilizador Christ Alpha 1-4 LSCbasic. Luego, se incineraron a 580 °C durante 48 horas hasta obtener ceniza blanca. Se pesaron las cenizas, se trasvasaron y se disolvieron sobre plancha térmica a temperatura de subebullición (80 °C) en una solución de 2 ml de ácido clorhídrico 6N y 2 ml de ácido nítrico destilado 1N. El residuo se filtró con papel Whatman sin cenizas y se llevó a matraz de 25 ml, donde se enrasó con agua desionizada 18 Ohms. El Se total se determinó por espectrofotometría de absorción atómica (Perkin Elmer, Analyst 300) con horno de grafito (HGA 800), utilizando modificadores de matriz con base en paladio y nitrato de magnesio (Fluka, standard AA; Cabrera et al., 2010). El resultado se expresó como mg Se/kg de carne y mg Se/kg de jamón.

2.7. Oxidación lipídica

En las muestras de carne de los músculos LT y PM, en las muestras de los músculos traseros BF, CF, GM y S utilizados para el proceso de elaboración y en las muestras obtenidas luego del proceso de elaboración del jamón cocido se determinaron las especies reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS). Se cuantificaron TBARS

siguiendo el método de Lynch y Frei (1993) adaptado por Carballo et al. (2017). Aproximadamente 5g de muestra fueron homogeneizados con 100 ml de una solución *buffer* KCl + EDTA y 1 ml de BHT durante 1 min a 12000 rpm. En tubos Falcon se colocaron 30 ml del homogeneizado y se centrifugaron durante 10 min a 4 °C. Se extrajo 1 ml del sobrenadante y se colocó en un tubo de vidrio, se agregó 1 ml de solución TBA-TCA y se preparó el blanco con 1 ml de KCl + EDTA. Se colocaron los tubos en agua en ebullición durante 30 min y, luego, se colocaron en hielo por 5 min para detener la reacción. Tras 45 min a temperatura ambiente se agregó a cada tubo 3 ml de n-butanol, luego se pasaron por el vortex y se centrifugaron durante 10 min. Finalmente, se extrajo el sobrenadante y se midió la absorbancia a 535 nm. Se cuantificó el ácido malondialdehído (MDA, producto secundario de la lipoperoxidación) y los resultados se expresaron en mg de MDA/kg de carne y MDA/kg de jamón.

2.8. Análisis estadístico

Los datos se expresan como la media \pm el desvío estándar de la media (SEM, por sus siglas en inglés) de $n = 8$ animales para los estudios con LT y PM, $n = 4$ para los músculos traseros y $n = 6-7$ para los jamones cocidos. Para los músculos LT y PM, las variables *drip loss*, pH, color, oxidación lipídica y contenido de Se se analizaron a través de un ANOVA medidas repetidas, con los efectos principales de la dieta y el proceso, así como la interacción entre ellos y, *post hoc*, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). Para los músculos traseros (BF, CF, GM y S) y jamones, las variables fisicoquímicas se analizaron a través de un ANOVA de una vía y, *post hoc*, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). El contenido de selenio y oxidación lipídica se analizó, en los músculos traseros, a través de un ANOVA GLM con la dieta, el músculo y la interacción dieta x músculo como efectos principales y en los jamones se analizó vía ANOVA de una vía y, *post hoc*, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). Los bloques se incluyen como covariables para los análisis correspondientes a los músculos LT, PM, y traseros. Se utilizó el software NCSS 2019.

3. Resultados y discusión

3.1. Parámetros físico-químicos, estatus oxidativo y contenido de Se de los músculo *longissimus thoracis* (LT) y *psoas major* (PM) frescos y conservados

3.1.1. pH, color y drip loss

Los resultados de las variables pH, color y *drip loss* de los músculos LT y PM de los cerdos Pampa Rocha suplementados con dos fuentes de Selenio se presentan en las tablas 2 y 3.

Tabla 2. Efecto de la suplementación de selenio (0,3 mg/kg de la dieta) orgánico e inorgánico sobre los parámetros físico-químicos del músculo *longissimus thoracis* fresco y conservado (7 días a 1-2 °C) al vacío.

<i>Longissimus thoracis</i>		Fuente de selenio						Efectos principales	
Ítem	Control		Se orgánico		Se inorgánico		D	P	
	Fresco	Conservado	Fresco	Conservado	Fresco	Conservado			
pH	5,64 ± 0,20	5,50 ± 0,06	5,44 ± 0,04	5,5 ± 0,05	5,57 ± 0,20	5,48 ± 0,03	ns	ns	
<i>Drip loss</i> , %	11,31 ± 1,02	10,11 ± 0,48	12,40 ± 1,16	9,2 ± 1,19	10,76 ± 0,77	10,09 ± 0,69	ns	0,03 F > C	
Color									
L*	45,28 ± 1,54	47,05 ± 1,22	43,79 ± 1,39	45,31 ± 0,78	44,33 ± 0,94	46,28 ± 1,37	ns	ns	
a*	3,65 ± 0,54	3,98 ± 0,53	3,96 ± 0,54	5,01 ± 0,62	3,45 ± 0,37	3,89 ± 0,62	ns	ns	
b*	10,6 ± 0,82	11,64 ± 0,61	10,89 ± 0,66	12,03 ± 0,51	10,1 ± 0,54	11,7 ± 0,62	ns	0,02 F < C	
C*	11,28 ± 0,86	12,33 ± 0,73	11,64 ± 0,75	13,07 ± 0,69	10,71 ± 0,57	12,40 ± 0,71	ns	0,02 F < C	
H	82,23 ± 2,11	83,21 ± 1,18	81,97 ± 1,73	80,03 ± 1,68	82,87 ± 1,22	83,06 ± 1,85	ns	ns	

Los datos son la media ± error estándar de la media. Los efectos principales, la dieta (D) y el proceso (P) sobre las variables estudiadas fueron analizados a través de ANOVA medidas repetidas. ns = no significativo.

Tabla 3. Efecto de la suplementación de selenio (0,3 mg/kg de la dieta) orgánico e inorgánico sobre los parámetros físico-químicos en el músculo *psoas major* fresco (F) y conservado (C; 7 días a 1-2 °C) al vacío.

<i>Psoas major</i>		Fuente de selenio						Efectos principales	
Ítem	Control		Se orgánico		Se inorgánico		D	P	
	Fresco	Conservado	Fresco	Conservado	Fresco	Conservado			
pH	5,77 ± 0,08	5,72 ± 0,07	5,61 ± 0,06	5,61 ± 0,03	5,64 ± 0,06	5,69 ± 0,06	ns	ns	
<i>Drip loss</i> , %	8,56 ± 1,41	6,77 ± 0,93	9,57 ± 0,66	7,85 ± 0,86	7,55 ± 0,61	7,78 ± 1,07	ns	ns	
Color									
L*	36,31 ± 0,53	36,23 ± 0,83	36,06 ± 0,52	37,14 ± 0,57	35,7 ± 0,80	35,86 ± 0,58	ns	ns	
a*	11,18 ± 0,91	10,78 ± 0,56	11,33 ± 1,02	11,31 ± 0,60	10,30 ± 0,99	10,7 ± 0,49	ns	ns	
b*	9,65 ± 0,65	9,66 ± 0,48	10,45 ± 0,48	9,19 ± 0,50	9,71 ± 0,41	10,1 ± 0,47	ns	ns	
C*	14,84 ± 0,96	14,58 ± 0,30	15,61 ± 0,63	14,61 ± 0,69	14,24 ± 0,90	14,75 ± 0,55	ns	ns	
H	37,70 ± 4,40	39,48 ± 4,99	41,24 ± 5,94	33,69 ± 2,87	43,42 ± 4,81	41,84 ± 3,05	ns	ns	

Los datos son la media ± error estándar de la media. Los efectos principales, dieta (D) y proceso (P) sobre las variables estudiadas fueron analizados a través de ANOVA medidas repetidas. ns = no significativo.

Tanto para LT como para PM, ni el pH ni el color, en sus parámetros de luminosidad (L^*), enrojecimiento (a^*) o amarillamiento (b^*), ni la pérdida de agua (*drip loss*) se vieron afectados por la suplementación de selenio, cualquiera sea la fuente (tabla 2 y 3). Resultados previos similares de Calvo et al. (2017) contrastan con otros autores, para los cuales el selenio agregado en la dieta tuvo efectos en disminuir la pérdida de agua en cerdo y aves. En carne de ave, Gigante (2020) y Del Puerto et al. (2021) reportan que la suplementación con selenio mejora el color y disminuye la pérdida por goteo. Lisiak et al. (2014) obtienen resultados similares cuando analizan el efecto de la suplementación con selenio en diversos cortes cárnicos de cerdo de alto valor comercial, particularmente asociados a una menor pérdida por goteo y una mayor capacidad de retención de agua.

Los diferentes resultados pueden explicarse por la especie animal, el tipo de músculo estudiado (Del Puerto et al., 2021; Carballo et al., 2017) y el sistema de producción (Juska et al., 2013). La calidad de la carne y, particularmente, la de cerdo presenta los mayores índices de pérdida de agua asociada a condiciones prefaena (Juncher et al., 2001) o al proceso de conservación *post mortem* (Traore et al., 2012). Juncher et al. (2001), estudiando el efecto de las condiciones fisiológicas previas a la faena, encontraron que esta afecta significativamente el color, la oxidación de lípidos y la capacidad de retención de agua y la subsiguiente pérdida por goteo de bifes de cerdo, afectando, además, el pH que se obtenga luego de la faena. Nache et al. (2016) afirman que los momentos en los cuales desciende el pH *post mortem*, tanto a los 45 minutos como a las 24 horas (pH último), son claves, ya que estos establecen las características de la calidad de la carne. Ambos trabajos evidencian la importancia de las condiciones pre- y posfaena para obtener un producto de buena calidad. En esta investigación, los cerdos Pampa Rocha se terminaron en sistema al aire libre sobre pasturas; sin embargo, estudios previos han reportado resultados contradictorios de pérdida de agua en animales criados en estos sistemas (Juska et al., 2013).

Cuando se analiza el efecto del proceso, en este caso, la conservación por 7 días a 1-2 °C al vacío, se ve cómo este sí tuvo un efecto sobre algunos de los parámetros físico-

químicos en el músculo *longissimus thoracis*, pero no en *psoas major* (tablas 2 y 3). El porcentaje de agua perdida por goteo es mayor en los músculos en fresco en comparación con la maduración ($p < 0,03$). Los valores encontrados para fresco y conservado fueron 11,31 % y 10,11 % para el control, 12,40 % y 9,2 % para los que recibieron selenio orgánico y 10,76 % y 10,09 % para los que recibieron selenio inorgánico. La carne de cerdo conservada sufre un proceso de maduración y presenta menos pérdida de agua, ya que durante ese período se produce una purga o exudado de agua no ligada, lo cual hace disminuir la cantidad de agua libre que se mide como *drip loss*, lo que ha sido previamente reportado para Pampa Rocha por Carballo (2013) y para carne de cerdos comerciales (Yu et al., 2021; Kristensen y Purslow, 2001).

Los músculos como el *psoas major*, en general presentan valores más altos de pH y, por lo tanto, una mayor capacidad de retención de agua (es decir, menores pérdidas por goteo o *drip loss*), mientras que en los músculos como el *longissimus thoracis*, que generalmente presentan menores valores de pH, se observa una menor capacidad de retención de agua (Mkawanazi et al., 2019). Sin embargo, no siempre estos factores están asociados en animales en sistemas al aire libre (Warriss et al., 1983).

El amarillamiento y la saturación del color (b^* y C^* , respectivamente) fueron mayores en el músculo *longissimus thoracis* conservado al vacío en relación con el fresco (tabla 2). Sin embargo, la dieta suplementada con selenio no afectó ninguno de estos parámetros. Este efecto no se observó en el músculo *psoas major* conservado (tabla 3). Probablemente, las diferencias asociadas al tipo de músculo, más oxidativo (PM) o más glicolítico (LT), fueron más incidentes en esta respuesta (Brewer, 2014).

3.1.2. Contenido de selenio y oxidación lipídica

Los resultados de enriquecimiento de la carne en selenio y el efecto sobre la oxidación lipídica de los músculos LT y PM de los cerdos Pampa Rocha suplementados con dos fuentes de selenio (orgánico e inorgánico) se muestran en la figura 1.

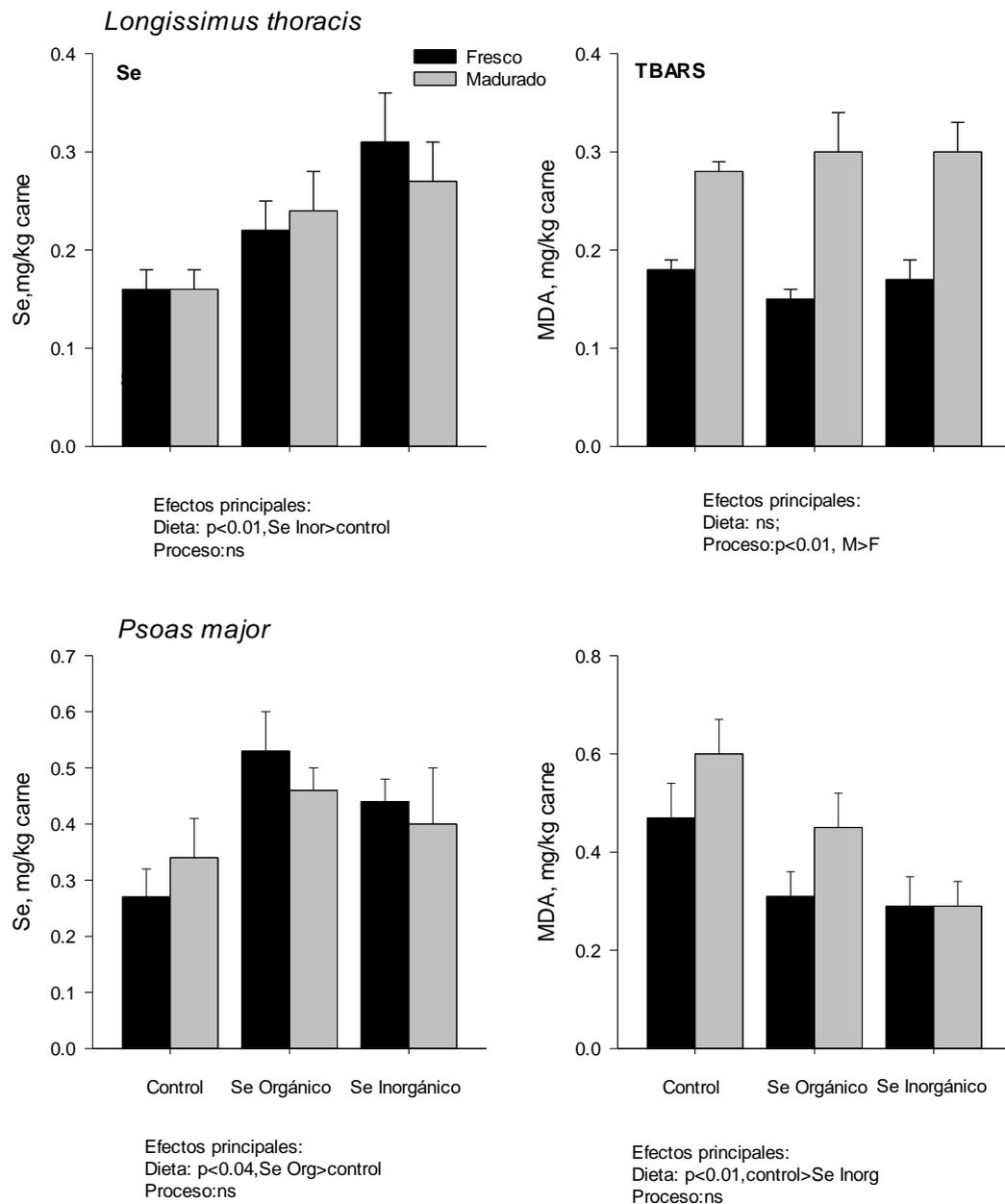


Figura 1. Enriquecimiento de la carne en selenio (mg/kg) y efecto sobre la oxidación lipídica (TBARS, MDA mg/kg) en los músculos *longissimus thoracis* y *psoas major* frescos y conservados de cerdos Pampa Rocha suplementados con selenio orgánico e inorgánico (0,3 mg/kg). Los valores son la media \pm SEM de n = 8 animales. Los datos se analizaron por Anova GLM con la dieta, el proceso (fresco y conservado) y la interacción dieta X proceso y, *post hoc*, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$) para cada músculo. Interacción: ns

A partir de los resultados, se puede concluir que para el músculo PM existe un efecto de la dieta en la oxidación de los lípidos, lo que determinó que la carne de animales suplementados con la fuente de selenio inorgánico presente menores niveles de oxidación respecto a la carne proveniente de animales control (0,29 vs. 0,47 mg MDA/kg carne, en fresco, respectivamente, y 0,29 vs. 0,60 mg MDA/kg para carne conservada, respectivamente). Estos resultados coinciden con lo esperado, ya que, como se ha mencionado anteriormente, el Se es uno de los principales agentes antioxidantes que juega un rol fundamental en el estatus oxidativo de los alimentos.

Zhan et al. (2007) obtuvieron resultados similares e indican que la suplementación con fuentes de selenio orgánico e inorgánico redujo la oxidación lipídica en carne de cerdo, atribuyendo este resultado a la mayor actividad de la enzima glutatión peroxidasa (GPx), por su rol protector contra el daño oxidativo. Franco et al. (2020) reportan menores niveles de oxidación en carne vacuna cuando los animales fueron suplementados con selenio orgánico, al igual que Jia et al. (2022) en carne de cordero.

Es importante mencionar que, si bien existen niveles de oxidación de lípidos, tanto para los músculos LT como PM frescos y conservados, los valores de TBARS obtenidos pueden ser considerados muy por debajo del valor límite (2 mg MDA/kg) que determina menos aceptación de la carne por parte de un panel de consumidores durante un estudio sensorial (Campo et al., 2006).

En relación con la concentración de Se, se puede concluir que existe efecto de la dieta sobre esta variable para el músculo PM y LD. La carne proveniente de animales suplementados con Se orgánico presenta mayor contenido de Se en relación con la obtenida de animales sin suplementar para el músculo PM, mientras que la carne proveniente de animales suplementados con Se inorgánico presenta mayor contenido de Se en relación con la obtenida de animales sin suplementar para el músculo LD. Estos resultados evidencian que la suplementación de la dieta con selenio incide en el enriquecimiento de la carne, derivando en un mayor aporte de Se dietario a los consumidores. D'Amato et al. (2020) señalan que la biofortificación de alimentos con

Selenio, tanto de origen animal como vegetal, puede beneficiar la salud humana cuando este tipo de alimentos son incorporados a la dieta.

En adición a lo anterior, y teniendo en cuenta que el contenido de selenio que se incorporó a los músculos no se pierde cuando se conserva (figura 1), es de interés resaltar la importancia de este resultado. Al no variar el contenido de Se con la conservación, y considerando que se consume carne de cerdo que tiene un período de conservación al vacío, por ejemplo, se mantendrán los valores de Se obtenidos producto del enriquecimiento, llegando al consumidor una carne enriquecida con Selenio, aspecto positivo y de gran importancia para la salud de los consumidores (Barchielli et al., 2022).

3.2. *Parámetros físico-químicos, estatus oxidativo y contenido de selenio en los músculos traseros frescos*

3.2.1 *pH, color y drip loss*

Los resultados de pH, color L*,a*,b* se muestran en las tablas 4, 5, 6 y 7 para los músculos estudiados en fresco.

Tabla 4. Efecto de la suplementación de selenio (0,3 mg/kg de la dieta), orgánico e inorgánico, sobre los parámetros físico-químicos en el músculo *biceps femoral* fresco.

<i>Biceps femoral</i>		Fuente de selenio		
Ítem	Control	Se orgánico	Se inorgánico	<i>p</i>
pH	5,71 ± 0,09	5,55 ± 0,06	5,60 ± 0,05	ns
Drip loss, %	7,45 ± 0,49	7,47 ± 0,85	5,58 ± 0,97	ns
Color				
L*	43,66 ± 1,83	45,89 ± 1,23	42,55 ± 2,16	ns
a*	9,08 ± 1,48 a	5,3 ± 0,72 b	7,7 ± 0,32 ab	< 0,02
b*	12,84 ± 0,56	12,24 ± 0,45	13,12 ± 0,70	ns
C*	15,91 ± 1,03 a	13,46 ± 0,46 b	15,24 ± 0,64 a	< 0,05
h	62,81 ± 6,76	77,98 ± 3,29	70,38 ± 2,09	ns

Los datos son la media ± error estándar de la media. El efecto de la dieta sobre las variables estudiadas fue analizado a través de ANOVA una vía. ns = no significativo.

Tabla 5. Efecto de la suplementación de selenio (0,3 mg/kg de la dieta), orgánico e inorgánico, sobre los parámetros físico-químicos en el músculo *cuadriceps femoral* fresco.

<i>Cuadriceps femoris</i>		Fuente de selenio		
Item	Control	Se orgánico	Se inorgánico	p
pH	5,87 ± 0,09	5,83 ± 0,12	5,92 ± 0,10	ns
Drip loss, %	8,12 ± 1,28 a	6,93 ± 1,32 ab	3,63 ± 0,71 b	< 0,05
Color				
L*	34,76 ± 1,87	35,91 ± 1,59	36,65 ± 1,82	ns
a*	10,03 ± 1,54	8,91 ± 0,85	7,96 ± 1,12	ns
b*	8,89 ± 0,50	9,74 ± 0,52	9,71 ± 0,89	ns
C*	13,67 ± 1,19	13,39 ± 0,51	12,86 ± 0,93	ns
h	40,98 ± 7,9	49,48 ± 6,42	55,39 ± 8,54	ns

Los datos son la media ± error estándar de la media. El efecto de la dieta sobre las variables estudiadas fue analizado a través de ANOVA una vía. ns = no significativo.

Tabla 6. Efecto de la suplementación de selenio (0,3 mg/kg de la dieta), orgánico e inorgánico, sobre los parámetros físico-químicos en el músculo *gluteus medius* fresco.

<i>Gluteus medius</i>		Fuente de selenio		
Ítem	Control	Se orgánico	Se inorgánico	p
pH	5,59 ± 0,04	5,62 ± 0,09	5,52 ± 0,09	ns
Drip loss, %	5,09 ± 0,55 b	4,21 ± 0,78 b	7,86 ± 0,49 a	< 0,006
Color				
L*	41,68 ± 2,55	44,13 ± 1,05	43,83 ± 0,97	ns
a*	6,95 ± 1,06	6,53 ± 0,89	6,66 ± 0,39	ns
b*	11,9 ± 0,96	12,05 ± 0,40	12,51 ± 0,42	ns
C*	14 ± 0,96	13,83 ± 0,68	14,2 ± 0,5	ns
h	69,02 ± 6,43	72,96 ± 3,88	74,04 ± 1,26	ns

Los datos son la media ± error estándar de la media. El efecto de la dieta sobre las variables estudiadas fue analizado a través de ANOVA una vía ns = no significativo.

Tabla 7. Efecto de la suplementación de selenio (0,3 mg/kg de la dieta), orgánico e inorgánico, sobre los parámetros físico-químicos, en el músculo *semitendinosus* fresco.

<i>Semitendinosus</i>		Fuente de selenio		
Ítem	Control	Se orgánico	Se inorgánico	p
pH	5,49 ± 0,07	5,58 ± 0,07	5,68 ± 0,09	ns
Drip loss, %	5,45 ± 1,31	4,48 ± 1,01	4,45 ± 1,06	ns
Color				
L*	40,71 ± 1,78	44 ± 2,71	39,56 ± 1,27	ns
a*	6,8 ± 0,81	6,11 ± 0,92	6,91 ± 0,74	ns
b*	11,07 ± 0,65	12,14 ± 0,69	10,3 ± 0,56	ns
C*	13,09 ± 0,83	13,89 ± 0,35	12,54 ± 0,65	ns
h	68,67 ± 4,2	71,27 ± 2,65	64,85 ± 4,98	ns

Los datos son la media ± error estándar de la media. El efecto de la dieta sobre las variables estudiadas fue analizado a través de ANOVA una vía. ns = no significativo.

La suplementación con selenio no afectó el pH, pero disminuyó el enrojecimiento y el croma en *biceps*, y mejoró la retención de agua en *cuadriceps* y *gluteus*, si bien la

respuesta es dependiente de la fuente de selenio y del tipo de músculo. El tipo de músculo condiciona las respuestas de selenio, siendo probablemente el pH de cada uno que incide en la mejora o no del selenio en la pérdida de agua y el color (Calvo et al, 2017), resultando *cuadriceps femoris* el músculo con el pH más alto donde se da la mejor respuesta del selenio sobre el *drip loss* (tabla 5).

3.2.2 Contenido de selenio y oxidación lipídica

Se determinó el contenido de Se y la oxidación lipídica a través de la cuantificación de los TBARS en los músculos traseros de los cerdos Pampa Rocha suplementados con dos fuentes de selenio (orgánico e inorgánico; Figura 2).

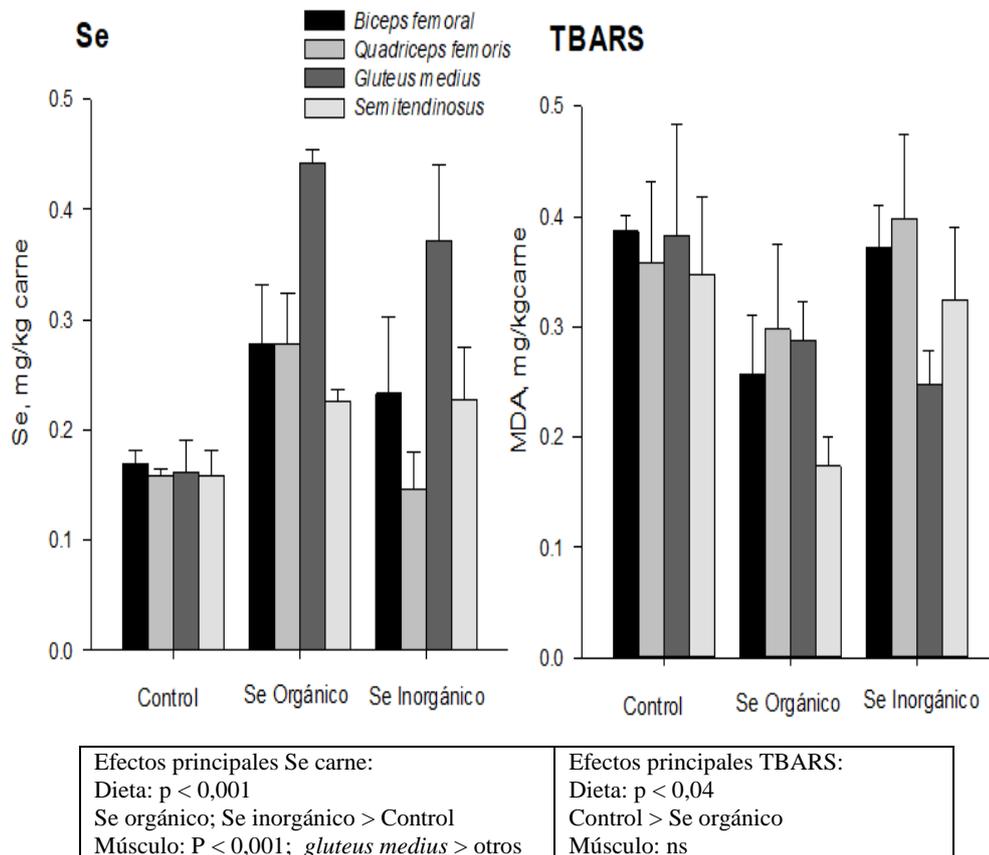


Figura 2. Efecto de la suplementación con selenio orgánico e inorgánico (0,3 mg/kg) en la dieta de cerdos Pampa Rocha criados en sistema al aire libre con pasturas sobre el contenido de selenio (mg/kg) y el estatus oxidativo de los lípidos (TBARS; MDA, mg/kg) en los músculos *biceps femoral*, *cuadriceps femoris*, *gluteus medius* y *semitendinosus* frescos. Los datos representan la media \pm error estándar de la media de $n = 4$. Los datos se analizaron mediante Anova GLM con la dieta, el músculo y la interacción dieta x músculo, como efectos principales para cada variable considerada y, *post hoc*, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$).

Se observó un enriquecimiento significativo con ambas fuentes de selenio, lo que depende del tipo de músculo, siendo *gluteus medius* quien presentó un mayor enriquecimiento respecto a los otros músculos. En lo que respecta a la respuesta de las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico, se observa un efecto significativo del selenio orgánico de la dieta en la disminución de la oxidación lipídica de los músculos, sin efecto del músculo. Este efecto se espera impacte en el producto terminado como jamón cocido que se analizará en la sección 3.3 siguiente.

3.3 Parámetros físico-químicos, estatus oxidativo y contenido de selenio en el jamón cocido

3.3.1. Parámetros tecnológicos del jamón

El jamón cocido elaborado mostró, para cada tratamiento, adecuados parámetros tecnológicos de acuerdo a los requisitos de la industria nacional (tabla 8).

La relación humedad/proteína, un parámetro indicativo de una buena elaboración, está de acuerdo con la citada en la bibliografía (Uruguay-Poder Legislativo, 2008) para este tipo de producto. El agregado de Se a las dietas de los animales no afectó estos parámetros en este estudio. El contenido de ceniza sí fue distinto para lo cual no disponemos de una explicación.

Tabla 8. Parámetros tecnológicos del jamón cocido elaborado a partir de los músculos *semitendinosus*, *gluteus medius*, *cuadriceps femoris* y *biceps femoral* de animales que recibieron una dieta sin selenio (control) y con 0,3 mg/kg de selenio orgánico o inorgánico.

Parámetros tecnológicos				
Item	Control	Selenio orgánico	Selenio inorgánico	p
Humedad (g/100g)	71.7 ± 1.63	70.51 ± 0.87	68.30 ± 1.6	ns
Cenizas	3.78 ± 0.02 a	3.19 ± 0.2 b	2.76 ± 0.12 b	< 0,001
Proteína (g/100g)	16.92 ± 0.36	19.13 ± 1.12	19.23 ± 1.23	ns
Relación agua/proteína	4.25 ± 0.16	3.76 ± 0.22	3.65 ± 0.3	ns

Los valores representan la media ± el error estándar de la media de n = 6-7. P < 0,05 significa diferencia estadística por ANOVA 1 vía y, *post hoc*, test de Tukey Kramer (p < 0,05)*

Los valores obtenidos concuerdan con los reportados en la bibliografía internacional respecto a estos parámetros y para el mismo producto (Loset al., 2016, Tomović et al., 2013, Frontela et al., 2006).

3.3.2. pH, color y drip loss

Los resultados de las variables pH, color y *drip loss* de jamón cocido elaborado a partir de los músculos *semitendinosus*, *gluteus medius*, *cuadriceps femoris* y *biceps femoral* de cerdos Pampa Rocha suplementados con dos fuentes de selenio se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Efecto de la suplementación de selenio (0,3 mg/kg de la dieta), orgánico e inorgánico, sobre los parámetros físico-químicos y tecnológicos del jamón cocido.

Ítem	Control	Se orgánico	Se inorgánico	p
pH	6,24 ± 0,02 b	6,30 ± 0,01 a	6,27 ± 0,02 ab	< 0,01
Drip loss, %	1,33 ± 0,17	1,56 ± 0,45	1,22 ± 0,24	ns
Color				
L*	49,23 ± 2,14	49,47 ± 0,98	48,93 ± 1,07	ns
a*	8,97 ± 0,28 b	9,09 ± 0,61 b	10,95 ± 0,67 a	< 0,04
b*	10,3 ± 0,62	9,27 ± 0,27	10,32 ± 0,34	ns
C*	13,68 ± 0,57 ab	13,01 ± 0,46 b	15,1 ± 0,45 a	< 0,02
h	52,34 ± 2,98	46,81 ± 4,14	41,99 ± 4,40	ns

Los datos son la media ± error estándar de la media. Las variables fueron analizadas a través de un ANOVA una vía y, *post hoc*, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). ns = no significativo.

Se puede observar que el selenio modificó la respuesta del pH del jamón, aumentándolo significativamente cuando el jamón se elaboró con los músculos traseros de animales que recibieron selenio orgánico en su dieta. Los valores de pH obtenidos fueron similares a los reportados por Loset al. (2016) en jamón cocido elaborado a partir de jamón congelado en situaciones similares a la de este trabajo; y a los obtenidos por Tomović et al. (2013) para jamón cocido con 20 % de inyección y por Li et al. (2011), también para jamón cocido, pero con un período de masaje de 6 horas.

Respecto al color, el selenio inorgánico mejoró significativamente el enrojecimiento y el croma de los jamones. Es importante tener en cuenta, para este parámetro, que la carne proveniente de cerdos Pampa Rocha se caracteriza por presentar tonalidades más

oscuras respecto a la de animales híbridos (Carballo et al., 2017). Algunos investigaciones reportan valores de L* que oscilaron entre 61,42 y 66,11 (Lozet al., 2016) o valores de 61,80 reportados por Li et al. (2011). En esta investigación, se reportan valores de 49,23; 49,47 y 48,93 para control, se orgánico y se inorgánico, respectivamente, siendo estos menores a los valores mencionados anteriormente, reportados en otros trabajos. A nivel industrial, es muy frecuente la utilización de colorantes en la formulación del producto para obtener un color carmín o rosa en el jamón cocido (Dias et al., 2020). No obstante, para la elaboración del jamón cocido producido en este trabajo, este ingrediente no fue utilizado, por lo cual las diferencias pueden estar explicadas por este aspecto.

Ningún efecto se observó sobre la pérdida por goteo en los jamones de cualquiera de los tratamientos. Los valores obtenidos para esta variable son muy bajos y pueden explicarse por la capacidad de retención de agua de la materia prima cárnica. Li et al. (2011) señalan que las condiciones del masaje y la cocción son dos puntos críticos para producir jamones cocidos de alta calidad. El masaje se aplica para acelerar la difusión de la salmuera en el músculo promoviendo la extracción y solubilización del complejo proteico miofibrilar ante la presencia de sal y fosfato (Torres et al., 2012), lo que aumenta la capacidad de unión y de retención de agua de los productos cárnicos. Estos resultados reflejan, entonces, las óptimas condiciones de procesamiento en las que se elaboró el jamón cocido de esta investigación.

Este interesante efecto del selenio en un mayor pH del jamón cocido es de interés por su asociación a un menor entrelazamiento de las proteínas que le dan funcionalidad al producto o a la carne (Zhang et al., 2013). Probablemente, el efecto del selenio inorgánico en el más alto a* y C* (tabla 9) pueda estar relacionado con el mismo efecto. Más investigación se requiere para consolidar esta hipótesis.

3.3.3. Contenido de selenio y oxidación lipídica

Los resultados de enriquecimiento de la carne en selenio y el efecto sobre la oxidación lipídica del jamón cocido elaborado a partir de los músculos traseros de cerdos Pampa

Rocha suplementados con dos fuentes de selenio (orgánico e inorgánico) se muestran en la figura 3.

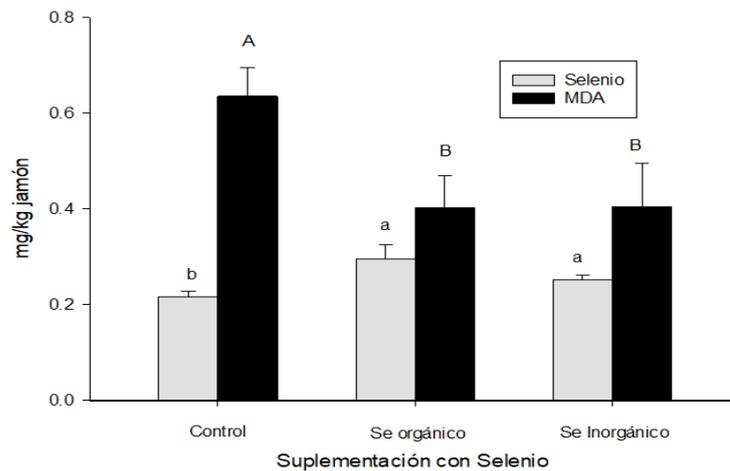


Figura 3. Contenido de Se total (mg/kg) y estatus oxidativo de los lípidos medido como sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARs, MDA, mg/kg) en el jamón cocido resultante del proceso de los músculos traseros de cerdos Pampa Rocha en sistema al aire libre y recibiendo una dieta suplementada en selenio orgánico e inorgánico (0.3 mg/kg alimento) versus no suplementados (control). Los valores representan la media \pm desvío estándar de la media de n = 6-7 jamones. a,b, significa diferencia significativa en contenido de Se entre dietas por ANOVA de una vía y, *post hoc*, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). A,B significa diferencia significativa en MDA entre dietas por ANOVA de una vía y, *post hoc*, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$).

Los resultados evidencian que existe un efecto de la dieta sobre la concentración de selenio en el jamón, incrementando el contenido de selenio en el orden del 36 % respecto al control en aquellos jamones que fueron elaborados con base en carne enriquecida con selenio orgánico (0,30 mg/kg vs. 0,22 mg/kg para SO y C, respectivamente).

Como se mencionó anteriormente, si bien el enriquecimiento de los músculos traseros estuvo sujeto al tipo de músculo y a la naturaleza de este, estos respondieron a la adición de selenio en sus distintas fuentes, lo que resultó en un enriquecimiento del producto final. Estos resultados coinciden con los preliminares obtenidos por Janiszewski et al. (2011), quienes, evaluando el efecto de diferentes fuentes de selenio

(orgánico e inorgánico), encontraron que la suplementación de raciones de engorde, particularmente con fuentes de selenio orgánico, trae como resultado un mayor contenido de selenio en la carne y en el jamón cocido.

En lo que respecta a la oxidación de los lípidos, existió un efecto de la dieta sobre este parámetro, obteniendo menores valores de TBARS los jamones enriquecidos con selenio, en relación con el control. Estos resultados coinciden con los obtenidos a lo largo de esta investigación, en donde el selenio ha cumplido un rol preponderante en la estabilidad oxidativa de los alimentos. Se puede concluir, entonces, que la suplementación con selenio sería una solución para prevenir la peroxidación y, de esa forma, preservar la calidad del producto, en el entendido de que durante el procesamiento, la manipulación y el almacenamiento de la carne el daño oxidativo continúa y es, tal vez, la etapa más crítica (Del Puerto, 2017).

4. Conclusiones

La suplementación con selenio en la dieta de cerdos Pampa Rocha en terminación ha mejorado la estabilidad oxidativa, reduciendo los TBARS en los músculos LT y PM durante la conservación en los músculos traseros frescos BF, CF, GM y S, y en el producto elaborado con estos, el jamón cocido. Este efecto ha sido dependiente del tipo de músculo así como de la fuente de selenio, orgánico o inorgánico. Sin embargo, este efecto no fue acompañado por cambios sustanciales en el color, el pH o el *drip loss*. Por último, se observa un enriquecimiento en selenio en todos los músculos estudiados, así como en el jamón elaborado, siendo esto particularmente importante para mejorar la calidad nutricional de esta carne.

Referencias

- Albernaz-Gonçalves, R., Olmos, G., & Hötzel, J. (2021). My pigs are ok, why change? – Animal welfare accounts of pig farmers. *Animal*, 15(3).
<https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100154>
- Apostolidis, C., & McLeay F. (2019). To meat or not to meat? Comparing empowered meat consumers' and anti-consumers' preferences for sustainability labels.

- Food Quality and Preference*, 77, 109-122.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.04.008>
- Barchielli G., Capperucci, A., & Tanini, D. (2022). The Role of Selenium in Pathologies: An Updated Review. *Antioxidants*, 11(2), 251.
<https://doi.org/10.3390/antiox11020251>
- Brewe, M. (2014). Chemical and physical characteristics of meat: water-holding capacity. Reference Module in Food Science. En C. Devine & M. Dikeman (Eds.), *Encyclopedia of Meat Sciences second edition* (pp. 274-282). Elsevier.
- Cabrera, C., Ramos, A., Saadoun, A., & Brito, G. (2010). Selenium, copper, zinc, iron and manganese content of seven meat cuts from Hereford and Braford steers fed pasture in Uruguay. *Meat Science*, 84(3), 518-528.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.10.007>
- Carballo, C., Espino, N., & Vodanovich, A. (2021). Producción de cerdos al aire libre como estrategia productiva a escala familiar. En J. Palma & J. Cruz (Eds.), *Tecnologías sociales en la producción pecuaria de América Latina y el Caribe* (pp.175-184). Universidad de Colima.
- Carballo, C., Terevinto, A., Barlocco, N., Saadoun, A., & Cabrera, C. (2017). pH, Drip Loss, Colour, Lipids and Protein Oxidation of Meat from Pampa-Rocha and Crossbreed Pigs Produced Outdoor in Uruguay. *Journal of Food and Nutrition Research*, 5(5), 342-346. <https://DOI:10.12691/jfnr-5-5-9>
- Carballo, C. (2013). Oxidación lipídica y proteica de carne de cerdos Pampa Rocha producidos sobre pasturas. (Tesis de Maestría, Facultad de Agronomía). Colibrí, Udelar. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/8828>
- Calvo, L., Toldrá, F., Rodríguez, A., López-Bote, C., & Rey, A. (2017). Effect of dietary selenium source (organic vs. mineral) and muscle pH on meat quality characteristics of pigs. *Food science & nutrition*, 5(1), 94-102.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.368>
- Campo, M., Nute, G., Hughes, S., Enser, M., Wood, J., & Richardson, R. (2006). Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*. 72(2), 303-311.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.07.015>

- Cicia, G., Caracciolo, F., Cembalo, L., Del Giudice, T., Grunert, K., Krystallis, A., Lombardi, P., & Zhou, Y. (2016). Food safety concerns in urban China: Consumer preferences for pig process attributes. *Food Control*, 60, 166-173. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.07.012>
- CIE. 1976. Commission Internationale de l'Eclairage, 18th Session, London, UK. September 1975. CIE publication 36.
- D'Alessandro, G., Maiorano, G., Kowaliszyn, B., Loiudice, P., & Martemucci G. (2012). How the nutritional value and consumer acceptability of suckling lambs meat is affected by the maternal feeding system. *Small Ruminant Research*, 106(2-3), 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.02.001>
- Dalgaard, T., Briens, M., Engberg, R., & Lauridsen, C. (2018). The influence of selenium and selenoproteins on immune responses of poultry and pigs. *Animal feed science and technology*, 238, 73-83. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.01.020>
- D'Amato, M., Regni, L., Falcinelli, B., Mattioli, S., Benincasa, P., Dal Bosco, A., Pacheco, P., Proietti, P., Troni, E., & Santi, C. (2020). Current Knowledge on Selenium Biofortification to Improve the Nutraceutical Profile of Food: A Comprehensive Review. *Journal of agricultural and food chemistry*, 68(14), 4075-4097. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c00172>
- Del Campo, M., Manteca, X., Soares de Lima, J. M., Brito, G., Hernández, P., Sañudo, C., & Montossi, F. (2021). Effect of different finishing strategies and steer temperament on animal welfare and instrumental meat tenderness. *Animals*, 11(3), 859. <https://doi.org/10.3390/ani11030859>
- Del Puerto, M., Gigante, S., Terevinto, A., Vique, C. C., & Saadoun, A. (2021). Oxidative, antioxidant, selenium status, and consumers' acceptability of poultry meat enriched with selenium by dietary supplementation. *Archivos de zootecnia*, 70(271), 291-302. <https://doi.org/10.21071/az.v70i271.5511>
- Del Puerto M. (2017). Selenio dietario y calidad de carne de ave. (Tesis de Doctorado, Facultad de Agronomía).

- Dias, S., Castanheira, E., Fortes, A., Pereira, D., Rodrigues, A., Pereira, R., & Gonçalves, M. (2020). Application of natural pigments in ordinary cooked ham. *Molecules*, 25(9), 2241. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules25092241>
- Fernandes, N., Hemsforth, H., Coleman, J., & Tilbrook, J. (2021). Costs and Benefits of Improving Farm Animal Welfare. *Agriculture*, 11(2), 104. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020104>
- Food and Drug Administration. (2002). Food additives permitted in feed and drinking water of animals; selenium yeast. (Register No. 67/137/2017).
- Food and Drug Administration. (1987). Correction Food additives permitted in feed and drinking water of animals. Selenium. (Register No. 52/21001).
- Franco, J., Simeone, A., Beretta, V., Realini, C., Saadoun, A., Terevinto, A., Cabrera, C., Costanzo, A., Ravecca, G., Goyeneche, A., Delpiazzo, R., & Bentancur, O. (2020). Efecto de la suplementación con selenio orgánico sobre la calidad de la canal y la vida útil de la carne de vaquillonas terminadas en feedlot. *Veterinaria (Montevideo)*, 56(214). <https://doi.org/10.29155/vet.56.214.5>
- Frontela, C., López, G., Ros, G., & Martínez, C. (2006). Relación entre los parámetros sensoriales, Físico-químicos e instrumentales en el jamón cocido. *Anales de Veterinaria de Murcia*, 22, 67-78. <https://doi.org/10.6018/analesvet>
- Gigante, S. (2020). Selenio dietario y estatus oxidativo, antioxidante y mineral de los músculos *Gastrocnemius* y *Pectoralis* aviares. (Tesis de Maestría, Facultad de Agronomía). Colibrí, Udelar. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/29534>
- Honikel K. (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*, 49(4): 447-457. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00034-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00034-5)
- Janiszewski, P., Borzuta, K., Borys, A., Grześkowiak, E., Strzelecki, J., Lisiak, D., & Batorska, M. (2011, August 7-11). *Influence of supplementation organic or mineral Selenium on content Selenium in fresh, cooked, roasted and grilled loin (muscle longissimus dorsi) and ham* [paper presentation]. 57th International Congress of Meat Science and Technology. Ghent, Belgium.

- Jia, X., Li, J., Li, S., Zhao, Q., Zhang, K., Tang, C., & Qin, Y. (2022). Effects of dietary supplementation with different levels of selenium yeast on growth performance, carcass characteristics, antioxidant capacity, and meat quality of Tan sheep. *Livestock Science*, 255, 104783. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104783>
- Juncher, D., Rønne, B., Mortensen, E., Henckel, P., Karlsson, A., Skibsted, L., & Bertelsen, G. (2001). Effect of pre-slaughter physiological conditions on the oxidative stability of colour and lipid during chill storage of pork. *Meat science*, 58(4), 347-357. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00156-X](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00156-X)
- Juska, R., Juskiene, V., & Leikus, R. (2013). The influence of a free-range housing system on pig growth, carcass composition and meat quality. *Journal of applied animal research*, 41(1), 39-47. <https://doi.org/10.1080/09712119.2012.738215>
- Kristensen, L., & Purslow, P. P. (2001). The effect of ageing on the water-holding capacity of pork: role of cytoskeletal proteins. *Meat science*, 58(1), 17-23. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00125-X)
- Li, C., Szczepaniak, S., Steen, L., Goemaere, O., Impens, S., Paelinck, H., & Zhou, G. (2011). Effect of tumbling time and cooking temperature on quality attributes of cooked ham. *International journal of food science & technology*, 46(10), 2159-2163. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02731.x>
- Lisiak, D., Janiszewski, P., Blicharski, T., Borzuta, K., Grzeskowiak, E., Lisiak, B., & Hammermeister, A. (2014). Effect of selenium supplementation in pig feed on slaughter value and physicochemical and sensory characteristics of meat. *Annals of Animal Science*, 14(1), 213. <https://doi.org/10.2478/aoas-2013-0063>
- López-Bellido, G., & López, L. (2013). Selenium and health; reference values and current status of Spanish population. *Nutrición hospitalaria*. 28(5), 1396-1406. <https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.5.6634>
- Los, F., Prestes, R. C., Granato, D., Simoes, D., Roman, S., & Demiate, M. (2016). Assessing the use of frozen pork meat in the manufacture of cooked ham. *Food*

Science and Technology, 36, 124-131 .<http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.0066>

- 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. [https://doi.org/10.1016/S0022-2275\(20\)35737-0](https://doi.org/10.1016/S0022-2275(20)35737-0)
- Mkwanazi, V., Ncobela, N., Kanengoni, T., & Chimonyo, M. (2019). Effects of environmental enrichment on behaviour, physiology and performance of pigs—A review. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 32(1), 1-13. <https://doi.org/10.5713%2Fajas.17.0138>
- Mondéjar-Jiménez, J. A., Sánchez-Cubo, F., & Mondéjar-Jiménez, J. (2022). Consumer Behaviour towards Pork Meat Products: A Literature Review and Data Analysis. *Foods*, 11(3), 307. <https://doi.org/10.3390/foods11030307>
- Montenegro, M., Carballo, C., Barrios, P. G., Castro, G., Barlocco, N., & Llambí, S. (2019). Inclusion of Rice Bran in Diets for Post-weaning Piglets. *Agrociencia Uruguay*, 23(1), e67. <https://doi.org/10.31285/AGRO.23.1.11>
- Nache, M., Hinrichs, J., Scheier, R., Schmidt, H., & Hitzmann, B. (2016). Prediction of the pH as indicator of porcine meat quality using Raman spectroscopy and metaheuristics. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 154, 45-51. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2016.03.011>
- Pedersen, L. (2018). Overview of commercial pig production systems and their main welfare challenges. *Advances in Pig Welfare*, 3–25. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101012-9.00001-0>
- Rivero, M. J., Rodríguez-Estévez, V., Pietrosevoli, S., Carballo, C., Cooke, A. S., & Kongsted, A. G. (2019). Forage consumption and its effects on the 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>
- Stampa, E., Schipmann-Schwarze, C., & Hamm, U. (2020). Consumer perceptions, preferences, and behavior regarding pasture-raised livestock products: A

- review. *Food Quality and Preference*, 82, 103872.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103872>
- Tomović, V. M., Jokanović, M. R., Petrović, L. S., Tomović, M. S., Tasić, T. A., Ikonić, P. M., & Šošo, M. 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.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.07.015>
- Torres, O., Hernández, J., & Sánchez, T. (2012). Evaluación de los cambios fisicoquímicos producidos por la composición de sal en la formulación de jamón cocido. *Vitae*, 19(1), 400-402. ISSN: 0121-4004.
- Traore, S., Aubry, L., Gatellier, P., Przybylski, W., Jaworska, D., Kajak-Siemaszko, K., & Sante-Lhoutellier, V. (2012). Higher drip loss is associated with protein oxidation. *Meat science*, 90(4), 917-924.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.11.033>
- United States Department of Agriculture. (2018). Livestock and Poultry: World Markets and Trade. Foreign Agricultural Service (April 2018).
<https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/73666448x?locale=en>
- Uruguay, Poder Legislativo. (2019). Decreto N° 60/019.
<https://www.impo.com.uy/bases/decretos/60-2019>
- Uruguay, Poder Legislativo. (2008). Decreto N° 588/008.
<https://www.impo.com.uy/bases/decretos/588-2008>
- Warriss, P. D., Kestin, S. C., & Robinson, J. M. (1983). A note on the influence of rearing environment on meat quality in pigs. *Meat Science*, 9(4), 271-279.
[https://doi.org/10.1016/0309-1740\(83\)90037-2](https://doi.org/10.1016/0309-1740(83)90037-2)
- Yu, Q., Cooper, B., Sobreira, T., & Kim, Y. (2021). Utilizing pork exudate metabolomics to reveal the impact of aging on meat quality. *Foods*, 10(3), 668.
<https://doi.org/10.3390/foods10030668>
- Zhan, X., Wang, M., Zhao, R., Li, W., & Xu, Z. (2007). Effects of different selenium source on selenium distribution, loin quality and antioxidant status in finishing

pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 132(3-4), 202-211.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.03.020>

Zhang, R., Yang, Y., Min, M., & Li, Y. (2022). Effect of dietary supplements on Se bioavailability: A comprehensive in vitro and in vivo study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 231, 113193.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113193>

Zhang, W., Xiao, S., & Ahn, U. (2013). Protein oxidation: basic principles and implications for meat quality. *Critical reviews in food science and nutrition*, 53(11), 1191-1201. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.577540>