

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE CIENCIAS
Programa de Maestría en Ciencias Nutricionales

Efecto de la suplementación con Selenio en la dieta de los cerdos Pampa Rocha sobre la composición en macro y minerales traza, y formas del hierro de la carne fresca y procesada.

Por María Virginia Palleiro Migues

TESIS presentada como uno de los requisitos para obtener el título de Magister en Ciencias Nutricionales



MONTEVIDEO

URUGUAY

Diciembre 2023

Tesis aprobada por el tribunal integrado por Dra. Ing. Agr. Cecilia Carballo, Ing. Alimentos MBA Leonardo Salle y Dra. Lic. Biología Vanessa Atháide García, el día 21 de diciembre de 2023. Autor: QF María Virginia Palleiro Miguez. Directora: Dra. Ing. Agr. Cristina Cabrera Codirectora: Dra. Ing. Agr. Marta Del Puerto

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada, mi agradecimiento a Cristina Cabrera por su dedicación y apoyo incondicional en el desarrollo de esta investigación. Su compromiso con la excelencia académica ha sido una guía invaluable, y a la generosidad que tiene para compartir conocimientos, que me han enriquecido y guiado. Aprecio sinceramente su orientación constante, motivación y liderazgo inspirador.

A mi amoroso esposo, Ariel, quiero darle las gracias por el inquebrantable apoyo y paciencia durante todo este desafiante proceso. Su amor y aliento han sido como un faro en los momentos difíciles, guiándome con cariño y comprensión. También a mis hermanas, sobrinas, sobrinos y a mis cuñados, y a mis grandes amigas que también fueron parte de todo este proceso.

Quiero reconocer y agradecer al dedicado equipo de trabajo que está vinculado a los cerdos Pampa Rocha, a su compromiso y colaboración, que han sido y son fundamentales. A cada miembro del equipo de investigación que ha contribuido de manera significativa, y estoy agradecida por esta oportunidad de trabajar con profesionales tan talentosos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	7
SUMMARY	8
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. ANTECEDENTES	11
1.1.1. Breve reseña del cerdo Pampa Rocha.....	12
1.1.2. Aspecto de calidad de la carne de cerdo.....	14
1.1.3. Calidad de los productos de cerdo elaborados, y elaboración de un jamón.....	15
1.1.4. Calidad nutricional de la carne de cerdo.....	16
1.1.5. Contenido mineral en la carne de cerdo.....	18
1.1.6. El hierro y sus formas en la nutrición humana	21
1.1.7. El selenio.....	23
1.2 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	22
1.2.1. Hipótesis.....	22
1.2.2. Objetivo principal.....	22
1.2.3. Objetivos específicos.....	23
2. MATERIALES Y MÉTODOS	23
2.1. Descripción de animales, alojamiento y dieta.....	23
2.2 Elaboración del jamón.....	26
2.2.1. Materia prima cárnica.....	26
2.2.2. Materias primas no cárnicas.....	26
2.2.3. Descripción de las etapas del proceso de elaboración.....	27
2.3. DETERMINACIONES ANALITICAS	29
2.3.1. pH, proteína bruta, cenizas totales, humedad en el jamón.....	29
2.3.2. Contenidos minerales y formas del hierro	29
Selenio	29
Fosforo, calcio, magnesio, sodio, potasio, zinc, cobre, manganeso.....	30
Formas de hierro: total, hemínico, heme.....	31
2.4. ANALISIS ESTADISTICO	31
3. RESULTADOS y DISCUSIÓN	32
3.1. Efecto de la suplementación de Selenio(0,3mg/kg) orgánico e inorgánico en la dieta de los cerdos sobre los parámetros tecnológicos del jamón.	32
3.2.1 Efecto de la suplementación con Selenio(0,3mg/kg) orgánico e inorgánico sobre el contenido de selenio en los músculos traseros.....	33
3.2.2. Efecto de la suplementación Se (0,3mg/kg) sobre contenido de Selenio en el jamón	37
3.2.3. Efecto de la suplementación con Se(0,3mg/kg) sobre contenido de los macrominerales en los músculos traseros.....	39
3.2.4. Efecto de la suplementación con Se (0,3mg/kg) sobre contenido de los macrominerales en jamón.....	44
3.2.5. Efecto de la suplementación con Se(0,3mg/kg) sobre contenido elementos traza en los músculos traseros.....	45
3.2.6. Efecto de la suplementación con Se(0,3mg/kg) sobre contenido de los elementos traza en el jamón	48
3.2.7. Efecto de la suplementación con Se(0,3mg/kg) sobre contenido de las formas de hierro en los músculos traseros.....	49

3.2.8. Efecto de la suplementación con Se(0,3mg/kg) sobre contenido de las formas de hierro en el jamón.....	51
4. CONCLUSIONES	52
5. REFERENCIAS.....	54

LISTA DE CUADROS, FIGURAS Y TABLAS

CUADROS

Cuadro 1. Estado químico de la mioglobina.....	14
--	----

FIGURAS

Figura 1. Mioglobina y estados de oxidación y reducción.....	14
Figura 2. Fotografía extraída de INAC del manual de cortes de carnes alternativas para abasto	25
Figura 3a. Efecto suplementación con selenio (0,3mg/kg), en músculos traseros cerdo Pampa Rocha sobre el contenido de selenio.....	34
Figura 3b. Efecto suplementación con selenio (0,3mg/kg), en músculos traseros cerdo Pampa Rocha sobre el contenido de selenio.....	34
Figura 4. Efecto de la adición de selenio(0,3mg/kg) sobre el contenido de selenio en el jamón.....	38
Figura 5a. Efecto de la suplementación con selenio (0,3mg/kg) sobre el contenido de macrominerales, calcio (Ca) en los músculos traseros.....	40
Figura 5b. Efecto de la suplementación con selenio (0,3mg/kg) sobre el contenido de macrominerales, sodio (Na) en los músculos traseros.....	40
Figura 6a. Efecto de la suplementación con selenio (0,3mg/kg) sobre el contenido de macrominerales, calcio (Ca) en el jamón.....	45
Figura 6b. Efecto de la suplementación con selenio (0,3mg/kg) sobre el contenido de macrominerales, sodio (Na) en el jamón.....	45
Figura 7a. Efecto de la suplementación con selenio (0,3mg/kg) sobre el contenido de microminerales, zinc (Zn) en los músculos traseros.....	47
Figura 7b. Efecto de la suplementación con selenio (0,3mg/kg) sobre el contenido de microminerales, manganeso (Mn) en los músculos traseros.....	47

TABLAS

Tabla 1. Composición química analizada de las dietas experimentales (en base tal cual ofrecida)	25
Tabla 2. Composición en ingredientes (%) que integran la fórmula utilizada.....	27
Tabla 3. Efecto de la suplementación con Se (0,3 mg/kg) orgánico (O), inorgánico (I) versus sin selenio (C), en la dieta de los cerdos Pampa Rocha sobre los parámetros tecnológicos de los jamones cocidos, elaborados con los músculos traseros.....	33
Tabla 4. Efecto de la suplementación con selenio (0,3mg/kg) orgánico, inorgánico versus control, sobre el contenido de selenio en los músculos traseros.....	34
Tabla 5. Efecto de la suplementación con selenio (0,3mg/kg) orgánico, inorgánico vs control, sobre el contenido de selenio en el jamón cocido.....	37
Tabla 6. Efecto de la suplementación con Se (0,3mg/kg) orgánico, inorgánico vs control, sobre el contenido de los macrominerales en los músculos traseros.....	39

Tabla 7. Efecto de la suplementación con Se (0,3mg/kg) orgánico, inorgánico vs control, sobre el contenido de los macrominerales en los jamones.....	44
Tabla 8. Efecto de la suplementación con Se (0,3mg/kg) orgánico, inorgánico vs control, sobre el contenido de los elementos traza (mg/kg de carne fresca) en los músculos traseros.....	46
Tabla 9. Efecto de la suplementación con Se (0,3mg/kg) orgánico, inorgánico vs control, sobre el contenido de los elementos traza en el jamón.....	48
Tabla 10. Efecto de la suplementación con Selenio (0,3mg/kg) orgánico, inorgánico vs control, sobre el contenido de las formas del hierro, Fe total, Fe Hemo, Fe No Hemo, y la relación Fe Hemo/Fe total.....	49
Tabla 11. Efecto de la suplementación con Se (0.3 mg/kg) orgánico, inorgánico vs control, sobre el contenido de las formas de Hierro (Fe total, Fe Hemo, Fe No Hemo y la relación Fe Hemo/Fe total) del producto Jamón Cocido.....	51

ABREVIATURAS

ANOVA – análisis de la varianza
 BF – *Biceps femoral*
 Ca – Calcio
 Cu –Cobre
 EDG – Espesor Grasa Dorsal
 Fe –Hierro
 GLM – modelo lineal generalizado
 GM – *Gluteus medius*
 GPx – glutatión peroxidasa
 K – Potasio
 Mg – Magnesio
 Mn – Manganeseo
 Na – Sodio
 P – Fosforo
 QF – *Cuadriceps femoris*
 ROS – especies reactivas del oxígeno
 Se – Selenio
 SEM – error estándar (del inglés: Standard Error of Mean)
 ST – Semitendinosus
 Zn –Zinc

RESUMEN

La carne de cerdo es una importante fuente de proteínas de alta calidad, minerales y vitaminas. La producción de carne de cerdo al aire libre es valorizada por ofrecer una imagen amigable al consumidor, menor impacto al ambiente y confort para el animal, y se adapta a la cría de razas locales como el Pampa Rocha, para generar un producto comercial diferenciado. En el cerdo, a través de la dieta, pueden incorporarse nutrientes para mejorar la calidad nutricional de la carne y al mismo tiempo protegerla del deterioro oxidativo en el procesamiento. Durante la elaboración de los productos a base de carne de cerdo ocurren procesos oxidativos que, además de afectar parámetros de calidad, pueden afectar el contenido de nutrientes, como el hierro y el zinc, entre otros, todos importantes para la salud. Para este doble rol, el selenio dietario, por su capacidad de incorporarse a la carne, le confiere un mayor aporte de esta mineral traza al consumidor y a su vez, por su rol antioxidante, protegería a la carne y al producto cárnico del deterioro oxidativo. En esta tesis se estudió el efecto de la suplementación con selenio (0.3 mg/kg) orgánico e inorgánico versus un control sin suplementación, en la dieta de cerdos Pampa Rocha en sistema de cría al aire libre, sobre el contenido en minerales macro (Ca, P, Mg, Na y K), elementos traza (Zn, Mn, Cu), y sobre las formas del hierro (total, hemínico y no hemínico) en la carne y en un producto elaborado, jamón cocido. Se estudiaron los músculos traseros, *Biceps femoral* (BF), *Cuadriceps femoris* (QF), *Gluteus medius* (GM), y *Semitendinosus* (ST), y el producto jamón cocido elaborado con estos músculos.

La suplementación con selenio resultó en un aumento en el contenido de selenio en la carne fresca y en el jamón cocido, siendo el selenio orgánico el que se incorporó en mayor cantidad. Por otro lado, se observó una disminución en el contenido de Ca y Na en los músculos y en el jamón. El mayor contenido de selenio, particularmente el selenio orgánico en el jamón modificó el contenido de Fe no heme y la proporción Fe heme/Fe total, sugiriendo un efecto antioxidante protector de la oxidación del hierro. En un contexto de valor nutricional de la carne y del producto elaborado estudiado aquí, los valores de macro y microminerales, en particular Mg, K, Zn y Cu, y Fe heme son una importante contribución a la nutrición humana, sobre todo de niños. Se concluye que la carne de esta raza local en sistema al aire libre y en cuya dieta se incluyó una suplementación con selenio orgánico e inorgánico se enriqueció en este mineral, el cual tuvo a su vez, un rol antioxidante a nivel del producto procesado.

Palabras clave: selenio, minerales, formas de hierro, jamón, cerdo Pampa Rocha.

SUMMARY

Pork is an important source of high-quality protein, minerals, and vitamins. Outdoor pork production is valued for offering a friendly image to the consumer, less impact on the environment and comfort for the animal and is adapted to the rearing of local breeds such as the Pampa Rocha, to generate a differentiated commercial product. Nutrients can be incorporated into pork, through the diet, to improve the nutritional quality of the meat and at the same time protect it from oxidative deterioration in processing. During the production of pork-based products, oxidative processes not only affect quality parameters but also the content of nutrients, such as iron and zinc, among others, which are important for health. For this dual role, dietary selenium, due to its ability to be incorporated into meat, confers a greater contribution of this trace mineral to the consumer and in turn, due to its antioxidant role, it would protect meat and the meat product from oxidative deterioration. This thesis studies the effect of supplementation with organic and inorganic selenium (0.3 mg/kg) versus a control without supplementation, in the diet of Pampa Rocha pigs in an open-air rearing system, on the content of macro minerals (Ca, P, Mg, Na and K), trace elements (Zn, Mn, Cu), and on the forms of iron (total, heme and non-heme) in meat and in a processed product, cooked ham. The study involved the rear muscles, *Biceps femoris* (BF), *Cuadriceps femoris* (QF), *Gluteus medius* (GM), and *Semitendinosus* (ST), and the cooked ham product made with these muscles.

Selenium supplementation resulted in an increase in selenium content in fresh meat and cooked ham, with organic selenium being incorporated in the greatest amount. On the other hand, a decrease in Ca and Na content was observed in the muscles and the ham. The higher selenium content, particularly organic selenium in the ham, modified the non-heme Fe content and the heme Fe/total Fe ratio, suggesting a protective antioxidant effect against iron oxidation. In a context of nutritional value of meat and the processed product studied here, the values of macro- and microminerals, in particular Mg, K, Zn and Cu, and Fe heme are an important contribution to human nutrition, especially of children. It is concluded that the meat of this local breed in an open-air system and whose diet included supplementation with organic and inorganic selenium was enriched in this mineral, which in turn had an antioxidant role at the level of the processed product.

Keywords: selenium, minerals, iron forms, ham, Pampa Rocha pork.

1.- INTRODUCCIÓN

En el año 2022, la producción mundial de carne de cerdo alcanzó aproximadamente 109,8 millones de toneladas, con un volumen de comercialización de 9.5 millones de toneladas. Según las cifras proporcionadas en el capítulo de la Cadena de carne de cerdo del Anuario de OPYPA 2022, titulado "Situación y Perspectiva", se destacó que la producción mundial de carne porcina experimentó un incremento del 2% en el año 2022 en comparación con el año 2021 (Gorga 2022). En la publicación de OCDE FAO de Perspectivas Agrícolas 2022-2031, informan que el consumo de China en el 2020 de carne bajó en términos per cápita más de un 11% respecto de su máximo histórico en el año 2018, pero se espera que retome su tendencia a medida que disminuye las repercusiones de la Peste porcina (PPA). Se estima para el año 2031, cuando el consumo de carne de cerdo en China se recupere, tendrá un volumen de 35,6kg/año en equivalente en peso al menudeo. También prevé que, a nivel mundial, para ese mismo periodo la disponibilidad de proteínas provenientes de las carnes de aves de corral, cerdo, vacuno, y ovino crecerá.

El crecimiento de la producción fue liderado por China, que se está recuperando de los efectos de la PPA. Para año 2023 se esperaba un aumento en la producción. Por otro lado, las importaciones a nivel nacional de la carne de cerdo en el año 2022 aumentaron con Brasil como el principal origen y de Paraguay. El aumento del volumen en el mercado interno de carne porcina fue con un crecimiento de la participación de la carne importada (OPYPA, 2022)

En el Uruguay la carne de cerdo en los últimos años ha tenido un importante crecimiento; en el año 2010 el consumo fue de 9,7 kg/habitante/año, en el año 2020 fue de 16,6 kg/habitante/año y en el 2022 fue de 20,5 kg/habitante/año. Profundizando en la evolución del consumo total de carnes, se halló que en el año 2020 fueron de 85,6 kg/habitante/año, de los cuales la carne bovina tuvo un consumo de 45,7 kg, y la carne aviar fue de 20,8 kg (INAC, 2020), y en el año 2022 el consumo total de carne llegó a 92,5 Kg per cápita, datos del informe del Anuario estadístico de INAC. (INAC, 2022)

En la publicación de OPYPA del año 2020 acerca de los Desafíos y Oportunidades en la cadena de carne porcina en Uruguay, se presentó un análisis detallado de la situación a la que se enfrentaban los pequeños y medianos productores del sector, en la que ellos

no lograban vender su producción a la industria, no solo por el precio sino porque buena parte de la producción nacional no cumplía con los estándares de calidad y uniformidad del producto (porcentaje de grasa, peso del animal, etc.). Solamente las empresas integradas lograban un cerdo uniforme en conformación y calidad, trabajando con un sistema de producción intensivo (en confinamiento); en estas se concentra una cantidad de animales por unidad de superficie, realizan el ciclo completo, trabajan a gran escala, con una alta inversión inicial, y con altos costos operativos, ya que utilizan raciones balanceadas para todas las categorías nutricionales (Durán et al., 2020).

La oportunidad de valorizar otros sistemas productivos de cerdo, de menor escala, adaptados a una producción de tipo familiar, que reúnan un sistema de producción a cielo abierto cuyos parámetros de producción y calidad estén certificados, es un camino de interés a abordar. En este sentido se ha asociado al cielo abierto, en pasturas y con un tipo genético local en la fase de terminación del cerdo, a un proceso que ha iniciado la Facultad de Agronomía, con la introducción del cerdo Pampa Rocha. Este cerdo es un recurso zoogenético con particularidades de rusticidad, que permite asociarlo a sistemas de producción, donde la terminación del animal se haga sobre pasturas (Carballo et al., 2010; Carballo et al., 2017; Carballo (2023)). La valorización de esta carne ya sea fresca, o procesada, constituye un objetivo general del proyecto Cerdo Pampa. En la investigación de Carballo (2023) se reportó que el sistema de producción impacta en el contenido de hierro, en particular en el hierro de mayor biodisponibilidad, la relación es mayor de Fe Hemo/Fe Total en carnes del Pampa Rocha producidas en un sistema con pasturas, con respecto al sistema de confinamiento denominado cama profunda. Por lo tanto, las carnes producidas sobre pasturas al aire libre presentan algunas ventajas que puede interesar a consumidores por la asociación del bienestar animal. Reportó además que en ambos sistemas la carne resultó muy adecuada desde el punto de vista tecnológico y nutricional, para el consumo y procesamiento, fresca o conservada (Carballo et al. 2021; Carballo et al. 2022).

En ese marco de valorización de este sistema de producción y su potencial interés en el desarrollo de productos con valor agregado se realizaron también trabajos con suplementación de selenio (Espino, 2022; Vodanovich, 2022) y se continúa en esta tesis, enfatizando en las modificaciones que la suplementación con selenio (0,3 mg/kg de ración), orgánico e inorgánico, provocaría algún efecto en el contenido de la composición

mineral, en macro y elementos traza, y en los cambios del hierro como un marcador oxidativo, tanto en carne fresca como en producto elaborado.

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1 Breve reseña del cerdo Pampa Rocha

El cerdo Pampa Rocha tiene una vinculación con el departamento de Rocha, en Uruguay. En este existe un ecosistema denominado Bañados del Este que está formado por bañados, esteros y lagunas. En este territorio se encuentra una pradera natural herbácea asociada a pajonales y gran presencia de palmas Butiá Capitata (Barlocco y Vadell, 2005). Sus orígenes se vinculan a animales introducidos en la época de colonizadores españoles y portugueses y a posteriores aportes de otras razas como Berkshire & Poland China (Urioste et al., 2002).

Las características morfológicas de los cerdos Pampa Rocha incluyen un pelaje negro con 6 puntos blancos en las cuatro extremidades, el hocico y la punta del rabo, orejas célticas y perfil entre subcóncavo y rectilíneo, posee una papada predominante, pescuezo corto y grueso, vientre pronunciado y jamones pequeños (Barlocco y Vadell, 2005).

Como atributos de la raza se nombran, la longevidad productiva de las cerdas, mansedumbre, adaptación al pastoreo y buena habilidad materna asociada a una importante producción de leche (Barlocco y Vadell, 2011)

Con respecto a las características reproductivas de acuerdo con los estudios realizados en la Unidad de Producción de Cerdos del Centro Regional Sur, Facultad de Agronomía, en los años 1997-2000, sobre hembras reproductoras y lechones de 80 días, revelaron docilidad y tranquilidad en el comportamiento maternal. Como ventaja se destaca la rusticidad, con infiltración de grasa, carnes más coloreadas, características determinantes de calidad de carne, como pH, sabor y terneza (Castro y Fernández, 2004). Un estudio realizado por Barlocco et al., (2000), en el cual se evaluó diferencias en rendimiento de la canal entre 4 genotipos- Pampa Rocha, ½ Pampa- ½Duroc, ¼ Pampa- ¾ Duroc y ¼ Pampa-¼ Duroc-½Large, se observaron los siguientes hallazgos: no se evidenciaron diferencias entre los 4 genotipos en el rendimiento de las carcasas, ni en el largo de la canal; si se encontraron diferencias significativas en la evaluación del

engrasamiento medida a través de espesor de grasa dorsal (EDG), los cerdos Pampa tienen mayor EDG al peso de faena requerido en esa época por el sector industrial. Sin embargo, las investigaciones recientes han puesto en evidencia una disminución del contenido de lípidos totales (Carballo, 2023; Espino, 2022) además de una composición nutricional de interés para la nutrición humana.

La raza cuenta con características propias de adaptación a sistemas de producción a campo abierto con el uso permanente de pasturas y ocasionalmente con alimentos concentrados, con muy buena habilidad para producirse en condiciones ambientales desfavorables, en las cuales otra genética no ha prosperado (Urioste et al., 2002).

El Uruguay posee condiciones favorables para la producción de pasturas sembradas durante todo el año, lo que ha permitido complementar la alimentación de los cerdos mediante el libre acceso a dichos ecosistemas pastoriles.

1.1.2. Aspectos de calidad de la carne de cerdo

El concepto de calidad de carne es un término complejo, y depende de la etapa de la cadena agroindustrial que se está considerando (producción, industrialización, comercialización, etc.). Según las diferentes perspectivas de cada eslabón, se presentan diferentes matices de los valores óptimos de los atributos de calidad. En líneas generales estos están influenciados por factores como la genética del animal, la alimentación y el manejo pre mortem y post mortem (Jiménez et al., 2013). Se puede hablar de calidad desde el punto de vista de la seguridad alimentaria, higiene microbiológica, ausencia de patógenos, ausencia de residuos, de metales, de residuos de pesticidas, de antibióticos o desde un punto de vista de atributos organolépticos (color, terneza-jugosidad, veteado de grasa). La calidad nutritiva se puede analizar por el contenido de grasa, de la composición en ácidos grasos, del valor proteico, de la composición en minerales, y de enriquecimientos. Y desde un ángulo tecnológico podemos nombrar pH, capacidad de retención de agua (CRA), consistencia de la grasa, estabilidad oxidativa. Por último, podemos abordar desde un punto de vista social, sobre el bienestar animal y del medio ambiente (Coma y Piquer, 1999).

Los autores Echenique y Capra, realizaron en el 2006 un diagnóstico sobre sistemas de producción de la carne porcina para consumo fresco en el Uruguay. El estudio abarcó cerdos de biotipos genéticos híbridos comerciales, de diferentes orígenes

(brasileño, argentino, español) y en todos los casos, los autores concluyen que la etapa de la recría-terminación había sido en confinamiento, con dietas en raciones balanceadas (Echenique y Capra, 2006), afectando varios parámetros de calidad, principalmente pH, lo cual podría deberse a factores relacionados al estrés (Echenique y Capra, 2006).

También se realizaron estudios más recientes de cruzamientos de cerdos Pampa Rocha con cerdos biotipo Duroc, y Large White, para analizar cómo afectaban estos cruzamientos a factores de calidad, como el pH, pérdida de agua, color, oxidación de lípidos y proteínas (Carballo et al., 2017). De estos estudios surgen nuevas interrogantes en cuanto al potencial de calidad que pueda presentar un tipo genético local con menos grado de mejora genética que los híbridos comerciales, lo cual justifica los estudios que se vienen realizando, teniendo como base la unidad experimental de producción de cerdo Pampa Rocha en el Centro Regional Sur (Carballo, 2013).

Respecto a los atributos de calidad de carne, y en particular referidos al color de la carne de cerdo, interesa tanto en la materia prima como en el producto final. Este se ve influenciado en la carne por multi-factores, que interactúan entre sí, factores ante mortem (raza, edad, sexo, dieta, estrés en el transporte), factores de la etapa del sacrificio (velocidad de enfriamiento, el sangrado), y factores post mortem, ya sea tratamientos aplicados durante la maduración, así como la conservación posterior (Honikel, 1998; Goenaga, 2010).

Se puede considerar que el color rojo de la carne es principalmente el resultado de la concentración del pigmento mioglobina. Esta proteína pertenece a las proteínas sarcoplásmicas, solubles en agua. Consiste en una cadena polipeptídica globina y un grupo prostético llamado hemo con un átomo de hierro en el centro. Uno de los factores que determina el color es el estado de oxidación del hierro y de los compuestos unidos a la molécula, ya sea el oxígeno, el agua, óxido nítrico, etc. A su vez, el cambio en el color indica cambios en las formas de hierro (Mancini y Hunt, 2005; Coria et al., 2020). Cuando el hierro (ion ferroso) presente en la mioglobina en condiciones normales, está unido al oxígeno forma oximioglobina, es de color rojo brillante, generalmente se aprecia en la superficie de la carne. En el interior si no hay oxígeno se forma deoximioglobina, de color rojo-púrpura intenso y oscuro. Estas dos formas son interconvertibles, dependen de la presencia de oxígeno y de la superficie de contacto. El color en resumen dependerá de la valencia del hierro de la mioglobina y de la hemoglobina, el color del ion ferroso (Fe^{+2})

es rojo y en estado ion férrico (Fe^{+3}) el color es un tono marrón (Oyagüe, 2007), como se aprecia en la Figura 1.

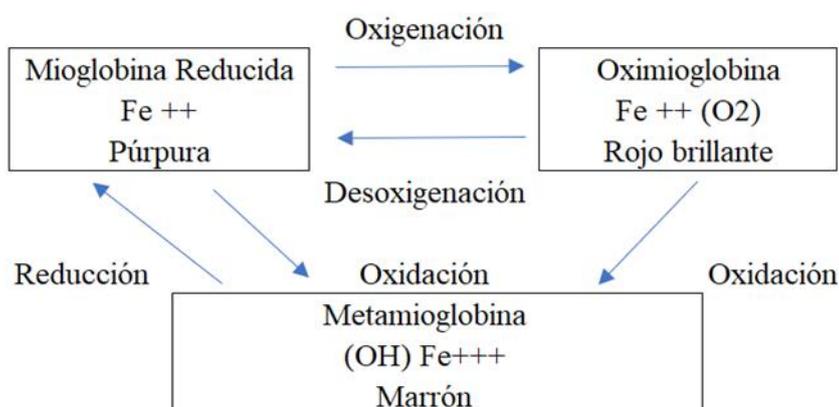


Figura 1. Mioglobina y estados de oxidación/reducción. Fuente Oyagüe (2007)

Los colores según el compuesto unido al grupo prostético, y el color resultante se aprecia en el Cuadro 1.

Tipo de unión	Compuesto	Color	Nombre
Fe^{++} Ferroso (covalente)	$:H_2O$	Morado	Mioglobina reducida
	$:O_2$	Rojo	Oximioglobina
	$:NO$	Rosa	Oxido nítrico mioglobina
	$:CO$	Rojo	Carboxymioglobina
Fe^{+++} Ferrico (ionico)	$-CN$	Rojo	Cianometamioglobina
	$-OH$	Café	Metamioglobina
	$-SH$	Verde	Sulfomioglobina
	$-H_2O_2$	Verde	Coleglobina

Cuadro 1. Estado químico de la mioglobina. Información extraída de Oyagüe (2007).

1.1.3. Calidad de los productos de cerdo elaborados, y elaboración de un jamón.

La Normativa en el Uruguay para los embutidos, está en el Reglamento Bromatológico Nacional del Decreto 315/994. En él se define a los chacinados como los productos preparados a base de carne y/o subproductos cárnicos comestibles, adicionados o no de otros ingredientes autorizados. En el decreto incorporado a este mismo reglamento con el número 60/019, se define al jamón cocido, como una salazón cocida y se encuentran aditivos autorizados y sus dosis. El jamón cocido por lo tanto es una salazón, preparada con las piezas de carne identificables, correspondientes al despiece total o parcial de los

miembros posteriores de cerdos, siendo estos aptos para el consumo, separados de la semicanal en un punto no anterior al extremo del hueso de la cadera, excluyéndose la carne triturada, la recuperada mecánicamente y la picada.

El jamón cocido podrá denominarse Jamón cocido "Extra" cuando cumpla también con los siguientes parámetros: de 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 (Reglamento Bromatológico Nacional 315-994 - Chacinados, Decreto 588/2008).

La calidad de las materias primas cárnicas, que se usan para la elaboración de jamones son importantes, y afectan al producto final, por ejemplo, se cita especificaciones de valor de pH, de capacidad de retención de agua (CRA), de temperatura y la calidad microbiológica, etc (Mora, 2010). En el producto final el jamón, también influye el proceso tecnológico usado para la elaboración, así como el envasado y la conservación durante el periodo de vida útil. Valores óptimos de pH para la carne, están recomendados en un rango de 5,8 a 6,2 (Mora, 2010). En estos valores de pH se está lejos del punto isoelectrico de las proteínas cárnicas, en el punto isoelectrico es donde la CRA tiene su valor mínimo.

1.1.4. Calidad nutricional de la carne de cerdo

La carne es una valiosa fuente de proteínas y aminoácidos esenciales, contiene aproximadamente 19 por ciento de proteína de calidad y contiene hierro. La cantidad de grasa intramuscular o subcutánea constituye una valiosísima fuente de energía y depende del animal del que se obtiene, como del tipo de corte, el valor energético de la carne se incrementa según el contenido de grasa. (Latham, 2002). Los ácidos grasos de los alimentos se dividen en 3 grupos, ácidos grasos saturados, monos insaturados y poliinsaturados. Existe variaciones importantes en la composición de los ácidos grasos de la carne ya que esta influenciado por tipo de alimentacion, sistema de producción (Saadoun y Cabrera, 2013). En la publicación de Echenique (2007), explica como la alimentación del cerdo condiciona en forma cualitativa, y cuantitativa a la deposición del tejido adiposo, pero en cambio en el tejido magro dada la bioquímica de la síntesis proteica, el manejo de la alimentacion solo afectaría modificaciones cuantitativas. Hay varios estudios realizados con diferentes dietas y tratamientos, en los cuales se analizaron

como afectaba esto la composición nutricional de la carne de cerdo (Vodanovich, 2022; Carballo, 2023).

Respecto a los micronutrientes, están presentes en la carne los siguientes minerales, el fósforo, selenio, sodio, zinc, potasio, cobre, magnesio, y hierro (Ramos et al., 2010). El equipo de investigación de Cabrera et al., (2010) asocia a la carne a una «canasta» de nutrientes, indispensable para una nutrición óptima y preventiva para la salud humana. Es importante resaltar que estos minerales en la carne generalmente se encuentran en formas con buena biodisponibilidad. Sin embargo, el contenido de estos y su biodisponibilidad, puede variar según el corte de carne considerado (Cabrera et al., 2010), el tipo de animal (Cabrera et al., 2010; Ramos et al., 2012; Terevinto, 2010), también por el sistema de producción ya que este puede provocar variaciones en los contenidos (Saadoun et al., 2011).

La carne de cerdo y sus productos han sido desvalorizados por su contenido en lípidos asociados al riesgo de patologías de tipo cardiovascular o la obesidad. Sin embargo, estas grasas son del tipo mono insaturadas mayormente y también es posible modificarlas a un mejor perfil con la dieta de los animales (Montenegro et al., 2019). Al igual que otras carnes, la porcina posee cualidades nutricionales similares a las carnes rojas (bovina, cordero) y a las carnes blancas (aves, pescado) (Jiménez et al., 2013).

1.1.5. Contenido mineral en la carne de cerdo

Los minerales son los elementos inorgánicos que permanecen en la ceniza cuando se incineran los alimentos. Los minerales tienen diversas funciones en el cuerpo humano (electrolitos, constituyentes de enzimas, materiales de construcción en huesos y dientes) y deben ser obtenidos de la dieta porque no pueden ser sintetizados. Hay bibliografía que describe dos grupos minerales, los macrominerales (elementos principales) y micro minerales (elementos traza), y otros autores dividen el contenido en minerales en tres grupos, los elementos principales como macrominerales, oligoelementos microminerales y ultra-oligoelementos. Los macrominerales (Na, K, Ca, Mg, Cl, P, S) son esenciales para el ser humano necesidad mayor o igual a 100 mg/día. Los oligoelementos microminerales (Fe, I, F, Zn, Se, Cu, Mn, Cr, Mo, Co, Ni) son esenciales en contenidos menores a 100 mg / día. Si se dividen en tres grupos, este incluye a los ultra-oligoelementos son: Al, As, Ba, Bi, B, Br, Cd, Cs, Ge, Hg, Li, Pb, Rb, Sb, Si, Sm, Sn, Sr, Tl, Ti y W (Belitz et al.,

2009; Galián, 2008). Deficiencia en los oligoelementos dan lugar a trastornos metabólicos, y estos se asocian principalmente con la ausencia o disminución de la actividad de las enzimas metabólicas. Algunos elementos minerales son necesarios en cantidades muy pequeñas en las dietas humanas, pero son vitales para fines metabólicos; se denominan «elementos traza esenciales». Una nutrición adecuada con oligoelementos es importante para la protección contra infecciones (Failla, 2003).

Macrominerales.

La revisión de Gharibzahedi y Jafari (2017) señala respecto al fósforo que se encuentra ampliamente en las plantas, y es probable que no se presenten carencias de este en casi ninguna dieta. Por otro lado, el potasio, el sodio y el cloro se absorben con facilidad y fisiológicamente son más importantes que el fósforo. El azufre se consume sobre todo como parte de los aminoácidos que contengan este mineral; por lo tanto, cuando hay carencia de azufre, se relacionaría con carencia de proteína. Respecto al calcio y al fósforo es importante la función como componentes principales del esqueleto. Además, son importantes en funciones metabólicas, como la función muscular, el estímulo nervioso, actividades enzimática y hormonal y el transporte del oxígeno. Cantidades pequeñas de calcio, se encuentran presentes en los líquidos extracelulares, sobre todo en el plasma de la sangre, y en células corporales. En el suero, la mayor parte del calcio se encuentra en dos formas, ionizada y fija a la proteína. Los laboratorios generalmente miden sólo el calcio total del plasma; cuyo rango normal es de 8,5 a 10,5 mg/dl (2,1 a 2,6 mmol/litro). Una caída en el nivel de calcio a menos de 2,1 mmol/litro se denomina hipocalcemia y puede ocasionar diversos síntomas. La vitamina D es esencial para la absorción adecuada del calcio, con carencia de vitamina D se absorbe muy poco calcio, aunque el consumo de calcio sea más que adecuado. Los fitatos, fosfatos y oxalatos en los alimentos reducen la absorción del calcio (Gharibzahedi y Jafari, 2017). Respecto al magnesio colabora en el equilibrio del sistema nervioso central (ligera acción sedante), es importante para la correcta transmisión de los impulsos nerviosos y aumenta la secreción de bilis (favorece una buena digestión de las grasas y la eliminación de residuos tóxicos).

Elementos traza.

Según Gharibzahedi y Jafari (2017), el zinc es un elemento esencial en la nutrición humana, se encuentra en muchas enzimas importantes y esenciales para el metabolismo. El contenido en un adulto sano es de 2 a 3 g de zinc y necesita alrededor de 15 mg de zinc dietético por día. La mayoría del zinc en el cuerpo se halla en el esqueleto, pero otros tejidos (como la piel y el cabello) y algunos órganos (sobre todo la próstata) tienen altas concentraciones. El zinc se encuentra en la mayoría de los alimentos de origen vegetal y animal, pero las fuentes más ricas tienden a ser alimentos ricos en proteínas, como la carne, alimentos de mar y huevos. Como ocurre con el hierro, la absorción del zinc de la dieta se puede inhibir por constituyentes de los alimentos como fitatos, oxalatos y taninos. En relación con el selenio, se hace aquí una breve reseña y se profundiza más adelante, él tiene propiedades desintoxicantes y además es un potente antioxidante, por lo que previene el envejecimiento de los tejidos. También se utiliza para el tratamiento de la caspa y alivia los sofocos y el malestar de la menopausia. Respecto al cobre este es necesario para colaborar en el cambio del hierro almacenado en el organismo en hemoglobina y para asimilar correctamente el de los alimentos. También participa en la asimilación de la vitamina C. Respecto al manganeso este activa las enzimas que intervienen en la síntesis de las grasas y participa en el aprovechamiento de las vitaminas C, B1 y biotina (Gharibzahedi y Jafari, 2017).

Como se comentó anteriormente hay estudios previos del equipo de investigación que han demostrado que el cerdo Pampa Rocha presenta un perfil mineral valioso respecto de sus cruces con Duroc o Large White (Ramos et al., 2010), siendo más rica en Zn, en la carne de animales en sistema pastoril. La carne de los Pampa Rocha es más rica en hierro hemínico (Cabrera et al., 2007), cuando están en sistemas al aire libre (Carballo et al., 2021).

1.1.6. El hierro y sus formas en la nutrición humana

La deficiencia del hierro está asociada a complicaciones como la anemia, la cual produce una disminución importante en el desarrollo mental, psicomotor, y también afecta al sistema inmunológico. Esta carencia de hierro se da en todas partes del mundo (Latham, 2002). Es en un porcentaje importante de la población mundial, y la OMS (Organización Mundial de la Salud) la considera a la deficiencia de hierro, como el primer desorden nutricional en el mundo.

El contenido de hierro del cuerpo es en el entorno de 4 a 5 g. La mayoría está presente en la hemoglobina (sangre) y pigmentos de mioglobina (tejido muscular). El metal también está presente en varias enzimas peroxidasa, catalasa, hidroxilasas, por lo que es un ingrediente esencial de la dieta diaria. El requerimiento de hierro depende según la edad y el sexo del individuo, se trata de 1,5-2,2 mg / día. El hierro suministrado en la dieta debe estar en el rango de 15 mg / día para cumplir este requerimiento diario. La gran variación en la ingesta puede explicarse por diferentes grados de absorción de las diversas formas de hierro presentes en los alimentos (hierro hemo vs inorgánicos) (Belitz et al., 2009). La fuente más utilizable es el hierro en la carne, para el cual el grado de absorción es del 20 al 30% (Belitz et al., 2009).

El hierro por lo tanto es esencial, participa en los procesos de oxidación-reducción, formando parte esencial de algunas enzimas, en la respiración celular, como transportador de electrones para el ser humano. Su elevado potencial redox, y su facilidad para promover la formación de compuestos tóxicos reactivos, determina que el metabolismo del hierro este sumamente controlado (Beck et al., 2014). Como principal función se nombra el transporte de oxígeno de los pulmones a todos los órganos. Es la hemoglobina que forma a los eritrocitos quien lleva el oxígeno desde los pulmones a los tejidos. La mioglobina, está en los tejidos muscular y el corazón, y es quien capta al oxígeno de la hemoglobina, y como ya se nombró el hierro también está en la peroxidasa, catalasa y los citocromos. El hierro en el organismo se almacena como ferritina, de modo especial en el hígado, bazo y médula ósea (Latham, 2002). Además, interviene en el crecimiento, en el desarrollo neurocognitivo, y en el funcionamiento del sistema inmunológico (Beck et al., 2014).

En el organismo, el hierro se conserva, se pierden cantidades minúsculas en descamaciones de la piel y en el intestino, en el cabello que se desprende, en las uñas y en la bilis. Cuando los eritrocitos envejecen, es liberado el hierro y se vuelve a utilizar en la producción de los nuevos eritrocitos. En circunstancias normales, en el entorno de 1 mg es lo que se excreta por orina, sudor y por pérdida de células epiteliales superficiales. Por este motivo, las mujeres postmenopáusicas y los varones adultos, todos sanos, tienen necesidades nutricionales más pequeñas de hierro; en cambio las mujeres en edad fértil necesitan recuperar las pérdidas de hierro por la menstruación, el parto, y en el embarazo, por lo que deben satisfacer necesidades adicionales, como en la lactancia. También los

niños tienen necesidades altas debido al rápido crecimiento, aumentos de tamaño corporal y de volumen sanguíneo (Latham, 2002).

Respecto a las necesidades dietéticas de hierro, son casi diez veces más que los requerimientos fisiológicos. Si mujeres postmenopáusicas sanas, requieren de 1mg de hierro por día, por las pérdidas diarias, las necesidades dietéticas serían en el entorno de 10 mg por día. Para las mujeres fértiles las necesidades dietéticas estarían cerca de 18 mg diarios (RDI, 2021). También es importante tener claro que un exceso de hierro por periodos prolongados puede llevar a siderosis o hematócrosis. (Latham, 2002).

Las proteínas de origen animal son la mayor fuente de hierro, encontrándose como hierro hemo y no hemo (Urdampilleta et al., 2010) impactando la biodisponibilidad y absorción posterior. Estudios previos han demostrado que cocinar, congelar, congelar-descongelar y almacenar carnes, disminuye el contenido de hierro hemo y aumenta el no hemo. Los procesos de cocimiento podrían tener también efecto en el contenido de los minerales, así como el cambio de las formas de hierro. (Purchas et al., 2004; Lombardini-Boccia, 2002).

La absorción del hierro se lleva a cabo en el intestino delgado, en la porción superior. La demanda fisiológica regula hasta cierto punto la absorción en personas sanas. Hay factores que afectan la absorción, por ejemplo, los fitatos, los fosfatos, los taninos, de los alimentos la reducen, mientras que por ejemplo el ácido ascórbico la aumenta. Las personas fisiológicamente sanas generalmente absorben desde un 5 a 10% del hierro de los alimentos, se cita en bibliografía que una dieta de 15 mg de hierro podría solo absorberse 0,75 a 1,5 mg. También importa la disponibilidad del hierro en los alimentos, el hierro hemínico en los alimentos de origen animal (carne, pollo, pescados) es más alta que el hierro no hemínico de los alimentos vegetales y este se absorbe pobremente (Latham, 2002). El hierro hemo tiene muy buena absorción a través del enterocito, aproximadamente entre el 10 y 25%, sin que existan factores que favorezcan o inhiban la absorción. La regulación de la absorción del hierro estaría determinada por los niveles de las reservas del organismo (Beck et al., 2014).

En resumen, la disponibilidad de hierro en los alimentos varía muchísimo, el hierro hemínico de los alimentos de origen animal se absorbe bien, sin embargo, el hierro no-hemínico en los productos vegetales, como trigo, maíz y arroz, se absorbe deficientemente. Los fitatos y los fosfatos, presentes en los granos de cereal, inhiben la

absorción de hierro. El consumo de alimentos ricos en vitamina C como frutas frescas y hortalizas en una comida puede, por lo tanto, facilitar la absorción de hierro. El té que se consume en una comida puede reducir el hierro que se absorbe en esa misma comida (Latham, 2002).

1.1.7. El Selenio (Se)

El Se forma parte esencial del metabolismo del ser humano y de los animales a través de las denominadas Se-proteínas. Algunas de estas cumplen funciones enzimáticas y dentro de estas enzimas se encuentra el glutatión peroxidasa, GPx, que su actividad es de antioxidante, se encuentra en otras enzimas que tienen funciones inmunológicas y están vinculadas a un papel de regeneración de los sistemas antioxidantes, y otras involucradas en la función de la hormona de la tiroides (López Bellido, 2013).

Las especies reactivas de oxígeno (ROS), son producidas de manera natural por varias fuentes extrínsecas e intrínsecas como la presencia de luz, calor o metales, como subproducto del metabolismo normal del oxígeno. Algunas de estas moléculas son iones de oxígeno, radicales libres y peróxidos tanto inorgánicos como orgánicos. Se trata de moléculas muy inestables, extraordinariamente reactivas y de vida efímera. Estas intervienen en su concentración normal en la señalización celular, importante para la comunicación y función de las células; son fundamentales para la producción de energía, la síntesis de compuestos biológicamente esenciales y la fagocitosis, un proceso crítico para el sistema inmune. La formación de estos compuestos estaría controlada por el sistema de antioxidante, pero en épocas de estrés ambiental los niveles de ROS pueden aumentar y producir daños perjudiciales a las estructuras celulares, esto lleva a una situación conocida como estrés oxidativo en la célula. Cuando ocurre alteración del balance en los mecanismos de producción y eliminación de las ROS y esto es causante de enfermedades, además de provocar daños celulares. Normalmente las células tienen la capacidad de defenderse contra estos daños mediante las enzimas que controlan a los ROS, como por ejemplo algunas enzimas como el superóxido dismutasa (SOD), la catalasa o el glutatión peroxidasa (GPx), pequeñas moléculas antioxidantes como el ácido ascórbico (vitamina C), la vitamina E o el ácido úrico (Casanueva Álvarez, 2016).

El papel fisiológico principal de las enzimas glutatión peroxidasa es antioxidante, disminuyendo los niveles de concentración de las especies de oxígeno reactivas (ROS)

de las especies de oxígeno y nitrógeno reactivas (RNOS) evitando así el daño oxidativo a membranas plasmática (Hernández-Mendoza et al., 2009). Los procesos oxidativos en la carne provocan un deterioro de la calidad de la carne. En la investigación de DeVore et al., (1982) encontraron que la enzima glutatión peroxidasa exhibió actividad durante el proceso de rigor y obtuvieron una correlación entre el glutatión peroxidasa y el selenio muscular.

Por todo lo anteriormente expuesto, se considera de interés estudiar y analizar cuál es el efecto de la adición de selenio orgánico e inorgánico a la dieta de cerdos Pampa Rocha, investigando si hay diferencias en el contenido final del selenio en los músculos traseros de los cerdos y en el producto elaborado con estos, y si esta suplementación impacta el contenido de los demás minerales, y sobre las formas del hierro, considerando que se estudiará la carne en fresco y procesada, ya que el proceso implicaría cambios en el hierro. Se incluye las formas de selenio, suplementado a 0,3 mg/kg, como selenio orgánico e inorgánico adicionado a la dieta de cerdos en la etapa de terminación, versus un grupo control el cual recibió una dieta sin enriquecimiento de selenio.

1.2. HIPOTESIS Y OBJETIVOS

1.2.1 Hipótesis

La suplementación de la dieta de los cerdos Pampa con selenio orgánico e inorgánico enriquece la carne y el producto final elaborado y puede modificar la composición de los minerales macro y elementos traza en la carne fresca y procesada, teniendo además un efecto antioxidante, ya que puede proteger al hierro del proceso oxidativo.

Por este motivo se plantearon los siguientes objetivos para este estudio:

1.2.2. Objetivo principal

Estudiar el efecto de la suplementación con selenio orgánico e inorgánico (0.3 mg/kg) versus un control sin adición de selenio, sobre el contenido de los minerales, macrominerales y elementos traza y de las formas del hierro, tanto en la carne, como en el producto cárnico de cerdos Pampa Rocha en sistema de cría al aire libre.

1.2.3. Objetivos específicos

-Determinar el efecto de la suplementación con selenio (0,3mg/kg), orgánico e inorgánico versus control sobre el contenido de selenio en los músculos traseros, *Biceps femoral* (BF), *Cuadriceps femoris* (QF), *Gluteus medius* (GM), *Semitendinosus* (ST) frescos y en el jamón cocido elaborado con estos.

-Determinar el efecto de la suplementación con selenio (0,3mg/kg), orgánico e inorgánico versus control sobre el contenido de los macrominerales Fosforo (P), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Potasio (K) en músculos y producto.

-Determinar el efecto de la suplementación con selenio (0,3mg/kg), orgánico e inorgánico versus control sobre el contenido de elementos traza el Zinc (Zn), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn) en músculos y producto.

-Determinar el efecto de la suplementación con selenio (0,3mg/kg), orgánico e inorgánico versus control sobre el contenido de las formas de Hierro (Fe): Fe total, Fe hemo y Fe no heme en músculos y producto.

-Determinar el efecto de la suplementación con selenio en la dieta de los cerdos sobre los parámetros de calidad del producto terminado jamón cocido, siendo éstos el contenido de proteínas, humedad, cenizas y valores de pH, para cada jamón según la dieta.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción de animales, alojamiento y dieta.

Se utilizaron 24 cerdos macho castrados (182 ± 4 días de edad, peso promedio $95,75 \pm 6$ kg) en un sistema al aire libre de base pastoril en la Unidad Experimental de Producción de Cerdos de la Facultad de Agronomía. Todos los procedimientos fueron incluidos en un protocolo experimental aprobado por la Comisión Honoraria de Experimentación Animal (CHEA, Exp. N° 020300-001720-18).

Durante el todo el periodo los animales estuvieron alojados en potreros de 1500 m², con acceso a refugios tipo parideras, alimentados en bateas grupales (1 batea cada dos animales), consumiendo agua ad libitum por medio de bebederos y con libre acceso a pastoreo. Se castraron dentro de los primeros 7 días de vida siguiendo el instructivo de la

Comisión Europea actualizado en 2018 y teniendo en cuenta las recomendaciones de la Federación de Veterinarios de Europa (2009). Se destetaron a los 45 días y a los 83 \pm 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 (orgánico e inorgánico) y el grupo sin selenio.

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 4500 m² y 1500 m² por tratamiento, divididos entre la zona de servicio y la zona de pastoreo, siendo la primera donde encuentran el refugio, los comedores y los bebedores.

Las dietas experimentales fueron las siguientes:

-Dieta Control: dieta base sin adición de Selenio, identificada con la letra C. Esta dieta 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, Rovabio max ap, sulfato de cobre, óxido de zinc, antioxidante, captor de toxinas, premix vitamínico mineral.

-Dieta Selenio orgánico: identificado con la letra O, es la dieta base suplementada con 0,3 mg/kg de selenio orgánico (Seleno-metionina hidroxianáloga:Se-OH-Met, producto comercial para la alimentación animal)

-Dieta Selenio inorgánico: identificado con la letra I, es la dieta base suplementada con 0,3 mg/kg de selenio inorgánico como selenito de sodio (Na₂SeO₃, producto comercial para la alimentación animal, con Se 1%).

El nivel de suplementación del Selenio utilizado fue de 0,3mg/kg, el cual se ajusta al límite de inclusión máximo sugerido por la FDA (2002, 1987)

Durante el periodo 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* (Trébol Blanco, 0,76%), *Trifolium pratense* (Trébol Rojo, 38,94%) y *Cichorium intybus* (Achicoria, 58,3%) y otras especies consideradas malezas (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:

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

Se consideró tener 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 periodo comprendido entre dos pesadas. A la edad de 184 ± 4 días, fueron todos faenados en una planta frigorífica habilitada por el Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, donde se sacrificaron de acuerdo con la normativa vigente en el Uruguay, cumpliendo con los requisitos de faena comercial. Se aplicó el mismo protocolo de la CHEA, Exp. N° 020300-001720-18. Se extrajo el cuarto trasero de cada animal de cada dieta para la obtención de los músculos traseros a estudiar. Los músculos traseros estudiados fueron *Biceps femoral* (BF), *Cuadriceps femoris* (QF), *Gluteus medius* (GM), *Semitendinosus* (ST).

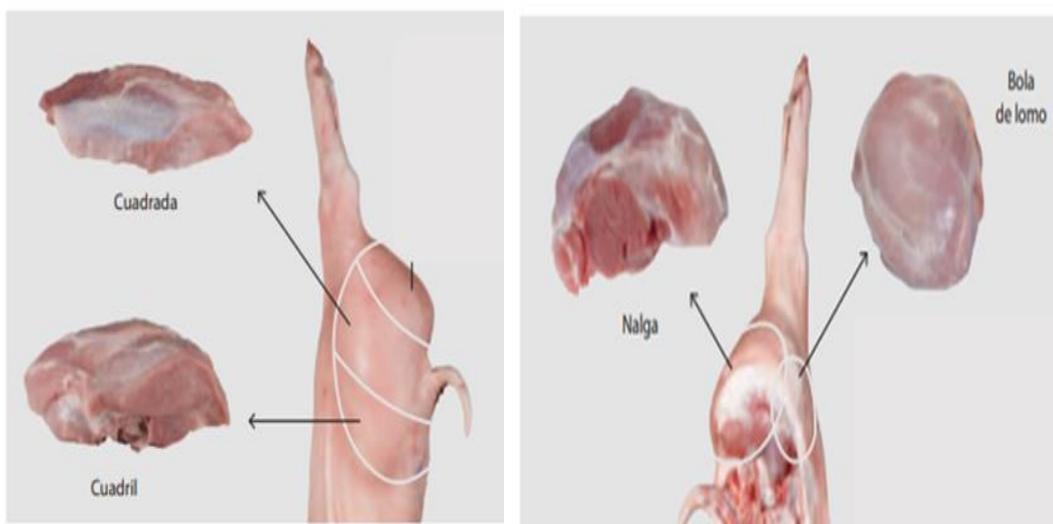


Figura 2 Fotografía extraída de INAC del Manual de cortes de carnes alternativas para abasto. Cuadrada es BF, Bola de lomo es QF, Cuadril es GM, Nalga es ST

En la Tabla 1 se presenta la composición química de las dietas experimentales utilizadas.

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

Ítems	Dietas experimentales		
	Control	Selenio Orgánico	Selenio Inorgánico
Humedad (%)	12,00	12,00	12,00
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

2.2. ELABORACION DEL JAMON

La elaboración del jamón implicó varias etapas, y los ingredientes se subdividen en materia prima cárnica, e ingredientes y aditivos, como se detalla a continuación.

2.2.1. Materia prima cárnica

La elaboración del jamón cocido fue realizada a partir de los músculos *Biceps femoral* (BF), *Cuadriceps femoris* (QF), *Gluteus medius* (GM), *Semitendinosus* (ST), que componen los cuartos traseros de los animales Pampa Rocha proveniente de cada dieta.

2.2.2 Materias primas no cárnicas

Las materias primas no cárnicas, correspondientes a los ingredientes y aditivos, fueron adquiridas de proveedores locales de la industria cárnica.

La elaboración de los jamones se realizó en la Planta Piloto de la Universidad Católica del Uruguay UCUDAL y se utilizó la siguiente maquinaria e instrumentos de medición:

Maquinas	Modelo	
Agitador	Promixer Blender – Immersion Blender	IB 350 CV'+BLD250
Inyectadora	Sunher AG Bremgarten	SWITZERLAND
Tiernizadora	----- Propio	De rodillos contra cortantes
Bombo –Tumbler	Sunher AG Bremgarten	SWITZERLAND
Carro metálico de 100kg	----- Propio	
CLipeadora –vacío	Bastor SA	
Balanza 1	Electronica sensibilidad 0.01g	
Balanza 2	Torrey -LPCR 20-URU	
pH metro	HI 2211pH/ORP Meter	HANNA Instruments

2.2.3. Descripción de las etapas del proceso de elaboración

Las materias primas cárnicas fueron los cuartos traseros del cerdo Pampa Rocha congelados. Estos se descongelaron en la Planta Piloto de la Universidad Católica UCUDAL en cámara frigorífica. Luego fueron acondicionados y preparados para la siguiente etapa del proceso, que es la inyección de salmuera. Se detalla más adelante.

Los ingredientes que componen la salmuera fueron: agua-hielo, fosfatos, sal (NaCl), nitrito de sodio, carragenina, eritorbato de sodio. La extensión teórica para el cálculo de elaboración de la salmuera fue de un 18%. Luego del proceso de inyección y tumbleado, se envasaron en bolsas cerradas, y se colocaron en moldes para el cocimiento dentro del envase, siendo el material del envase tripa de poliamida. Se cocinaron en agua a 80°C. La temperatura final de cocimiento en el centro térmico fue en promedio de 72.7°C.

La composición en ingredientes que componen la formula figura en la Tabla 2.

Tabla 2: Composición en ingredientes (%) que integran la fórmula utilizada

Ingredientes	Carne Cerdo	Agua/hielo	Sal	Fosfato	Nitrito	Eritorbato	Carrage -nina	Azúcar	TOTAL
%	84,75	11,60	1,80	0,45	0,015	0,045	0,34	1,00	100,00

Se utilizó un valor de 20% de proteína y 70 % de agua en la carne para el cálculo teórico.

Las etapas fueron:

Selección y Pulido de los cortes cárnicos

Previamente se realizó el descongelado de los cuartos traseros en refrigeración, a temperatura inferior a 5°C, durante 36 horas. Posteriormente al descongelado de los cuartos traseros Pampa Rocha, se realizó el pulido y acondicionamiento de las materias primas cárnicas. En esta etapa se quitó tejido conectivo, grasa, y resto de tendones, nervios. Con esto se consiguió materia prima con características para el estándar de calidad de un producto premium. Se midió el pH, y se observó el aspecto visual de las materias primas cárnicas preparadas antes de la inyección. Se tomaron muestras para los análisis fisicoquímicos de los 4 músculos usados para elaborar el jamón.

Preparación de Salmuera

Se pesaron todos los ingredientes secos de acuerdo con la fórmula. El porcentaje de hielo que se considero fue para conseguir una temperatura final de la salmuera por debajo de los - 2°C, -3°C. El orden de adición de los ingredientes secos al agua sería fosfatos, sal, nitrito, azúcar con la carragenina, eritorbato de sodio.

La maquinaria que se utiliza es el agitador mecánico, Promixer, Blender – Inmersión. IB 350 CV'+BLD250

Se controló la temperatura y el pH de la salmuera.

Inyección de la Salmuera

El porcentaje de la inyección se controló, y la temperatura inicial. Inyectora multiaguja con una presión de llenado 4kg/cm², agujas de 1mm de diámetro.

La maquinaria que se utiliza es la Inyectora Sunher AG Bremgarten. SWITZERLAND.

Tenderizado

El tipo de tenderizado fue con rodillos. Por ser un producto premium se realizó con una separación de rodillos, cuidando no romper excesivamente.

Masaje

Para esta calidad de jamón se utilizó un tumbleado, con tiempos de reposo. El trabajo del masaje fue en total de 10 horas. La maquinaria que se utilizó fue Tumbler, Sunher AG Bremgarten. SWITZERLAND.

Embutido

El embutido se realizó manualmente, en packaging de poliamida, con posterior envasado al vacío y clipeado, con clipeadora de vacío (Bastor S.A.). Se utilizaron moldes con tapa.

Cocimiento

Se cocinó en agua caliente con temperatura controlada del agua, a 80°C. Temperatura en el centro térmico 72.7°C. Luego de la cocción los moldes son enfriados con agua fría y guardados en la cámara.

2.3. DETERMINACIONES ANALÍTICAS

Las determinaciones se realizaron en el Laboratorio de Fisiología & Nutrición de la Facultad de Ciencias, y en el Laboratorio de Calidad de Alimentos & Productos de la Facultad de Agronomía. Las muestras fueron tomadas de los músculos del cuarto trasero, *Biceps femoral* (BF), y *Cuadriceps femoris* (QF), *Gluteus medius* (GM), *Semitendinosus* (ST) y de los jamones cocidos elaborados a partir de estos músculos. Las mediciones realizadas se detallan a continuación.

2.3.1 pH, proteína bruta, cenizas totales y humedad en el jamón

Medida del pH y contenido de proteína bruta y humedad para control del proceso. La humedad, se determinó por secado por estufa con aire forzado a 105°C por 24 horas hasta peso constante. El contenido de proteína bruta se determinó por el método de Kjeldahl, basado en la cuantificación de N total y llevado a proteínas por $N \times 6,25$. La medición del pH se utilizó un pHmetro marca OAKTON, con sonda de penetración marca Hanna. Se realizó un corte en las muestras y se introdujo el electrodo de penetración. Se realizaron 3 mediciones por muestra. Para la determinación del contenido de cenizas en las muestras de jamón se tomaron 2 gramos previamente liofilizadas y se llevaron a mufla a 580 ° C durante 48 horas o hasta cenizas blancas (AOAC, 2004). Con los datos de humedad y proteína bruta se calculó el coeficiente humedad/proteína, H/P.

2.3.2. Contenido de minerales y formas de hierro

Selenio

Se determinó el contenido de selenio en los músculos traseros BF, QF, GM, ST frescos utilizados para el proceso de elaboración, y en las muestras del jamón cocido. Para ello se pesó 10 gramos de cada muestra de carne o jamón y se liofilizaron por 48 horas en liofilizador Christ Alpha LSCbasic. La muestra liofilizada se colocó en crisol con tapa y se llevó a mufla a 580° C, para destruir la materia orgánica. Se realizó digestión ácida en plancha térmica a temperatura de sub-ebullición con 2 ml HCl 6M (Merck, ppa) y 2 ml ácido nítrico destilado 1M (Merck ppa, ultrapuro por destilación), durante 60 minutos, luego se filtró con filtro sin cenizas, Whatman 40 MN, y se llevó a 25 ml en matraz aforado, con agua desionizada (resistividad 18,2 MΩ.cm). El Se total se cuantificó por Espectrofotometría de Absorción Atómica con horno de grafito (EEA, Perkin Elmer, Analyst 300 y GF800) utilizando curva de calibración con estándar de Se (1mg/l, Perkin Elmer) y modificadores de matriz con base en paladio y nitrato de magnesio (Cabrera et al., 2010, Ramos et al., 2012). Los resultados se expresaron como mg Se/kg de carne fresca y mg Se /kg de jamón fresco.

P, Ca, Mg, Na, K, Zn, Mn, Cu

Muestras de carne o jamón, se secan en estufa de aire forzado a 105°C hasta peso constante. Luego son incineradas en mufla con control digital Thermolyne, a 580°C por 16 horas hasta obtener cenizas blancas. Las cenizas se digieren en proceso húmedo en un Erlenmeyer cubierta con bolita de vidrio para la condensación, y evitar proyecciones, con HCl 6M y HNO₃ 1M, en placa caliente (AOAC, 1990; Mader, Száková, & Miholová, 1998). Se cuantificó Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Mn y Cu por Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama (EAA-llama, Analyst 300, Perkin Elmer, USA) siguiendo el procedimiento descrito por Jorhem (2000) y Cabrera et al. (2010). El P se determina siguiendo el método colorimétrico de Fiske & Subarrow (1927). Todas las determinaciones se realizan por triplicado. Los recipientes de vidrio son desmineralizados en HNO₃ (sp. gr. 1.38) y enjuagados con agua desionizada (18,2 MΩ.cm). Las soluciones estándar de cada mineral son preparadas con apropiada dilución a partir de una solución de referencia de 1000 mg/l (Perkin Elmer o Fluka para EAA). El estándar de P se prepara a partir de KH₂PO₄ en agua desionizada, 18,2 MΩ.cm, acidificada al 5%.

Los macrominerales se expresan en mg/ kg de tejido fresco. Los elementos trazan se expresan en mg/kg fresco. El P se expresa en g/kg tejido fresco.

Formas del hierro

Se determinó el contenido de hierro total en la solución previamente preparada para medir macrominerales y elementos traza por Espectrofotometría de Absorción Atómica en llama y con curva de calibración usando estándar de hierro de 1000mg/l (Fluka, para EAA). El hierro hemínico se determinó con el método de Hornsey (1956) a través de la extracción de hemina con una solución de acetona acidificada, con modificaciones, según Ramos et al. (2009) y Ramos et al. (2012). Las muestras de músculo o jamón, de 2 g, se cortan finamente y se maceran con 9 ml de acetona acidificada (180 ml de acetona: 4 ml de HCl: 16 ml de agua desionizada) en tubos de vidrio durante 4 minutos. Los tubos se vortexearon, taparon y se colocaron en la oscuridad durante una hora. Luego se filtra con papel de filtro (Whatman GFA) y se mide la absorbancia a 640 nm en un espectrofotómetro GENESYS 6-UV (Thermo Corporation, USA). El contenido de Fe hemínico se calculó usando el factor 0,0882 $\mu\text{g Fe}/\mu\text{g}$ de hematina (Hornsey, 1956). Los resultados se expresaron en mg/kg músculo fresco ó jamón fresco, y para poder corregir por contenido de agua en la muestra, se pesan 2 g de la muestra fresca y se secan en estufa a 105 °C durante 48 horas. El contenido de hierro no heme se determinó por el método de Ferrozina, según protocolo de Ahn et al., (1993). Para el ensayo se liofilizaron las muestras congeladas a -20°C por 70 horas a -60° C y 50 pascales de presión. Luego se muele en mortero aproximadamente 2 gramos de muestra y se disuelve 0.5 gramos de esta en 3 ml de buffer citrato-fosfato 0.1M pH 5.5. A esta disolución se le agrega 1ml de ácido ascórbico 2% en 0.2M de HCl. Se deja reposar por 15 minutos a temperatura ambiente y a continuación se agrega 2 ml de TCA 11.3%. Luego se centrifuga a 3000 g por 10 min (5000 rpm). Se recogió 2 ml se sobrenadante y a este se le agregó 0.8 ml de acetato de amonio y 0.2 ml de reactivo de ferrozina. Para la determinación se midió la absorbancia en un Espectrofotómetro GENESYS 6-UV (Thermo Corporation, USA) a una longitud de onda de 562 nm contra una curva estándar de FeCl₃. Se utilizaron reactivos de calidad analítica (p.p.a., Merck) y agua desionizada 18,2 M Ω .cm durante todo el proceso.

2. 4 ANALISIS ESTADISTICO

Los resultados se expresaron como la media \pm el desvío de la media (SEM, por sus siglas en ingles), de n=4 para cada músculo trasero y n=6-7 para los jamones cocidos.

Los datos obtenidos de cada mineral en los músculos se analizaron por ANOVA por el procedimiento GLM, siendo los efectos principales la dieta y tipo de musculo, y las interacciones dieta x musculo, también fue así para las formas de hierro, hierro total, hierro hemo y hierro no hemo. Post hoc, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). Los datos obtenidos de cada mineral en los jamones se analizaron por ANOVA de una vía y post hoc, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). Para los datos obtenidos de los parámetros fisicoquímicas de los jamones, se analizaron a través de ANOVA de una vía y post hoc, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). Fueron revisados los supuestos para el ANOVA GLM, las varianzas fueron homogéneas (Test de Barlett), las variables continuas (Test de normalidad), no se registraron outliers. El programa estadístico utilizado para procesar los datos fue el software NCSS (2019).

3. RESULTADOS Y DISCUSION.

Resultados del efecto de la suplementación con Se (0.3 mg/kg) en la dieta de los cerdos Pampa Rocha, siendo las dietas, dieta control sin adición de Selenio (C), dieta con adición de Se orgánico (O), y dieta con adición de Se inorgánico (I), sobre los músculos traseros de cerdos Pampa Rocha y en los jamones elaborados a partir de estos. Los músculos son el *Biceps Femoral* (BF), *Cuadriceps Femoris* (QF), *Gluteus Medius* (GM), *Semitendinosus* (ST).

3.1. Efecto de la suplementación de Selenio (0,3mg/kg) orgánico e inorgánico en la dieta de los cerdos sobre los parámetros tecnológicos del jamón.

pH, proteína bruta, humedad, cenizas, coeficiente humedad/proteína H/P

El control del proceso de elaboración del jamón requiere haber logrado valores en los parámetros tecnológicos de pH, humedad, proteína bruta y cenizas, los cuales se presentan en la tabla 3. Se presentan los resultados de los parámetros fisicoquímicos en el jamón cocido, pH, proteína cruda, humedad, cenizas y la relación H/P, proveniente de animales que recibieron la dieta control (C), sin adición de selenio, con O adición de selenio orgánico (0,3mg/kg), con I adición en la dieta de selenio inorgánico (0,3mg/kg).

Tabla 3. Efecto de la suplementación con Se (0,3 mg/kg) orgánico (O), inorgánico (I) versus sin selenio (C), en la dieta de los cerdos Pampa Rocha sobre los parámetros tecnológicos de los jamones cocidos, elaborados con los músculos traseros.

DIETA	Humedad H (g/100g)	Proteínas P (g/100g)	Cenizas (g/100g)	Coefficiente H/P	pH
C	71.7 ± 1.63	16.92 ± 0.36	3.78 ± 0.02 a	4.25 ± 0.16	6,24 ± 0,02 b
O	70.51 ± 0.87	19.13 ± 1.12	3.19 ± 0.2 b	3.76 ± 0.22	6,30 ± 0.01 a
I	68.30 ± 1.6	19.23 ± 1.23	2.76 ± 0.12 b	3.65 ± 0.30	6,27 ± 0.02 ab
P	ns	ns	<0.001	ns	<0.01

Los datos son la media ± error estándar de la media de n=6-7 Las variables fueron analizadas a través de ANOVA una vía y *post hoc*, test de Tukey-Kramer ($p < 0.05$). Las diferencias fueron significativas $p < 0.001$ y $p < 0.01$. ns = no significativo. a, b Las letras diferentes indican diferencia significativa.

Los valores hallados de humedad y proteínas no presentaron diferencias significativas, así como en el coeficiente de H/P, cumpliendo con las especificaciones de normativa para jamones cocidos. Se presentaron diferencias en los valores de cenizas, hallándose un mayor valor para el control, no encontrándose con lo investigado una explicación. Reporte de Bartorska et al., (2017) contrariamente encuentran mayores contenidos de cenizas en la carne de animales que fueron suplementados con selenio levadura. Los valores de pH dieron diferencias significativas observándose valores más elevados en los jamones de los cerdos que han recibido selenio en la dieta. Por otro lado, los valores obtenidos de pH están dentro de los parámetros tecnológicos normales, esto concuerda con otros estudios en los cuales se reportan valores de pH en jamones cocidos y estos son similares (LOS et al., 2016).

3.2.1 Efecto de la suplementación con Selenio (0,3mg/kg) orgánico e inorgánico sobre el contenido de selenio en los músculos traseros.

En la tabla 4 se reportan los resultados del efecto sobre el contenido de selenio en los músculos, identificándose con la letra C la dieta control sin adición de selenio, con O adición de selenio orgánico (0,3mg/kg), con I adición en la dieta de selenio inorgánico (0,3mg/kg), en los músculos de los cuartos traseros de los cerdos Pampa Rocha, *Biceps Femoral* (BF), *Cuadriceps Femoris* (QF), *Gluteus medius* (GM) y *Semitendinosus* (ST).

TABLA 4. Efecto de la suplementación con selenio (0,3mg/kg), orgánico (O), inorgánico (I) versus control (C), sobre el contenido de selenio en los músculos traseros del cerdo Pampa Rocha.

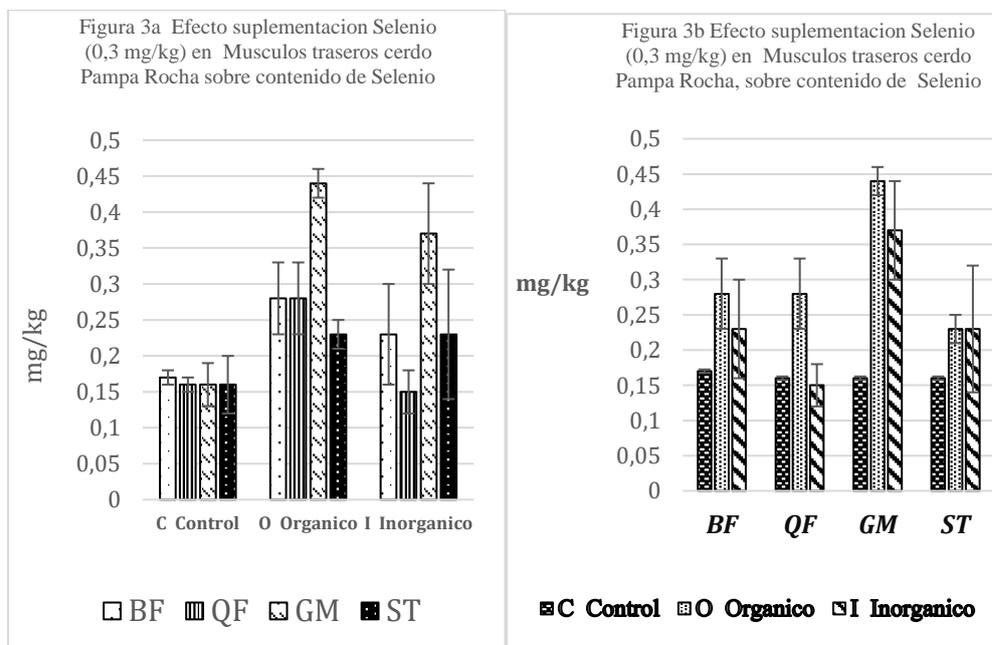
Dieta	Músculo	Selenio mg/kg carne fresca
C	BF	0,17±0,01
	QF	0,16±0,01
	GM	0,16±0,03
	ST	0,16±0,04
O	BF	0,28±0,05
	QF	0,28±0,05
	GM	0,44±0,02
	ST	0,23±0,02
I	BF	0,23±0,07
	QF	0,15±0,03
	GM	0,37±0,07
	ST	0,23±0,09

Efectos Principales

Dieta	P <0,0001; O, I>C
Músculo	P <0,001; GM> otros
Interacción DxM	Ns

Los datos representan la media ± error estándar de la media de n = 4 de cada músculo. Los datos se analizaron mediante ANOVA GLM con la dieta y músculo como efectos fijos y la interacción dieta x músculo y post hoc, test de Tukey-Kramer (p <0,05). Las diferencias fueron significativas a p<0,01 y 0,001, ns = no significativo. BF= *Biceps Femoral*, QF= *Cuadriceps Femoris*, GM= *Gluteus medius* y ST = *Semitendinosus*.

Se representan los resultados en las figuras 3a efecto por dieta y efecto por musculo 3b.



Efectos Principales

Dieta	P <0,0001; O, I>C
Músculo	P <0,001; GM> otros

Los datos representan la media \pm error estándar de la media de n = 4 de cada músculo. Los datos se analizaron mediante ANOVA GLM con la dieta y músculo como efectos fijos y la interacción dieta x músculo y post hoc, test de Tukey-Kramer (p <0,05). Las diferencias fueron significativas a p<0,01 y 0,001

Se observó por efectos principales de la dieta una diferencia significativa (p <0,0001), siendo las dietas con Se orgánico (O) e inorgánico (I) las que más enriquecieron los músculos traseros. Por otro lado, se presentó también diferencia significativa por tipo de músculos p (<0,001), y no hubo valores significativos por interacción dieta x músculo. Si bien los contenidos son más elevados con la suplementación con selenio orgánico e inorgánico respecto al control, se apreció que para el enriquecimiento con Selenio orgánico los valores tendieron a ser mayores que en el inorgánico, aunque se halló que en el músculo *Cuadriceps Femoris* (QF) para el Selenio inorgánico no tenía esta tendencia, la concentración de Se fue similar a la del control (C). En el músculo *Gluteus medius* GM, de las dietas enriquecidas (O) e (I), los valores hallados dieron una concentración de Selenio más del doble que en el control.

Los valores de concentración de Se hallados en la carne de cerdos con las dietas enriquecidas con Selenio orgánico, concuerda con otros trabajos de investigación similares, donde se han reportado que las concentraciones dieron mayores cuando tuvieron enriquecimiento con Selenio orgánico, respecto a Selenio inorgánico, aunque estas investigaciones fueron en otros músculos (Mahan et al. 1999).

Otras investigaciones vinculadas han reportado los siguientes hallazgos: Mateo et al., (2007), observaron un aumento lineal en la concentración en el hígado y en el lomo, a medida que aumenta la concentración de Selenio orgánico en la dieta; Bobcek et al., (2004), concluyen que la suplementación dietética con Se orgánico (0,3mg/kg) y dieta base (0,18 mg Se/kg dieta) de cerdos en finalización aumentó significativamente la concentración de Selenio y mejoró el estado de oxidación; el grupo de investigación Zhan et al., (2007), estudiaron los efectos de diferentes fuentes de selenio sobre la distribución del selenio, y sugirieron que el selenio metionina respecto al selenito de sodio, fue más efectivo para depositar selenio en los tejidos. Los reportes de Lagin et al., (2007), concluyen que el Selenio orgánico frente al control, resulto en una mayor retención en los músculos del cerdo en las dietas con el selenio orgánico. Los reportes de Batorska et al.,

(2017), encontraron mayores valores concentraciones de selenio en la carne, con la suplementación con selenio orgánico vs al inorgánico. En bibliografía se encontró algún estudio que difiere de los anteriores hallazgos, como fue la investigación de Lisiak et al., (2014), en la cual reportaron mayor concentración de selenio en el músculo semimembranoso y *Biceps femoral* de los animales de engorde que recibieron el selenio inorgánico. En la investigación de Wang et al., (2011) sobre los efectos de la suplementación con selenio orgánico SeMet y con selenio inorgánico Selenito de sodio en pollos de engorde, se halló que el Se orgánico tiene una mayor deposición de Se en suero y tejidos que el Selenio inorgánico, coincidiendo con la investigación de Mahan y Parrett (1996), esta investigación fue con cerdos de engorde, y ellos evaluaron el selenito de sodio y una fuente de Se orgánico levadura enriquecida con Se, con varios niveles de selenio en la dieta sobre la retención del selenio, y los reportes fueron que se retuvo más Se en el tejido muscular cuando fue con la fuente de levadura enriquecida con Se. Ellos en su reporte analizaron como una posible explicación, que probablemente la diferencia en la acumulación de selenio en los tejidos sea por los diferentes mecanismos de absorción que tienen. Por otro lado, nombraban los hallazgos de Schrauzer, (2000) donde se explica que la vía metabólica de Se-Met es diferente a la del Selenio inorgánico. Schrauzer (2000), detalló que los animales no tienen ningún mecanismo para su síntesis de metionina, y tampoco pueden sintetizar Se-Met. Cualquier Se-Met que no se metabolice inmediatamente se podría incorporar a órganos con alta síntesis de proteínas, tales como musculo esquelético, eritrocitos, hígado, riñón, etc. y consideraron que esta podía ser una explicación del mayor contenido en los tejidos.

En la publicación de White y Hoeskstra (1979), sobre el estudio metabolismo del selenito y la selenometionina en fibroblastos de ratón cultivados en cultivo de tejidos, establecieron que el ^{75}Se del selenito se incorporó rápidamente a la glutatión peroxidasa, mientras que el ^{75}Se de la selenometionina se incorporó inicialmente a un amplio espectro de proteínas y sólo después de un período más largo el pico de ^{75}Se , se asoció con el glutatión peroxidasa, y reportan que estos hallazgos sugieren que hay diferencias importantes en la forma en que las células de los mamíferos absorben y metabolizan inicialmente diferentes compuestos de selenio. Por todo lo expuesto en los párrafos anteriores sobre las diferentes investigaciones, este trabajo de investigación concuerda con los autores que reportaron que la dieta enriquecida con selenio orgánico vs el Se inorgánico darían mayor concentración en los músculos. Respecto a la diferencia de

concentración en los músculos, considerando lo reportado por el equipo de investigación de Behne et al., (1991), donde informan que los mayores contenidos de Se en el tejido, podría deberse a que principalmente la incorporación es no específica para una gran cantidad de proteínas, específicamente sería para la selenometionina. Publican que una parte sigue las rutas metabólicas, pero un porcentaje se deposita directa e inespecíficamente en proteínas en lugar de la metionina. Podría ser esta una explicación, debería realizarse más estudios que corrobore que esto es lo que ocurrió en el GM.

En la investigación basada en un Meta-análisis sobre efecto de la suplementación dietaria de selenio en la concentración tisular en cerdos de Quisirumbay-Gaibor et al., (2019), se concluye que, si bien las fuentes de selenio orgánicas e inorgánicas favorecen la retención tisular del mismo, la concentración de este mineral se ve afectada significativamente por el tipo de tejido, principalmente la predominancia de fibras más o menos oxidativas, además de otros factores como el número de repeticiones, número de animales por unidad experimental, número de individuos muestreados por unidad experimental y nivel de inclusión de selenio.

3.2.2. Efecto de la suplementación con Selenio (0,3mg/kg) sobre el contenido de selenio en el jamón.

En la tabla 5 se reportan los resultados del efecto sobre el contenido de Selenio en el jamón cocido, identificándose con la letra C la dieta control sin adición de Selenio, con O adición de Selenio orgánico (0,3mg/kg), con I, la adición en la dieta de Selenio inorgánico (0,3mg/kg), sobre el contenido de Selenio del jamón.

TABLA 5. Efecto de la suplementación con selenio (0,3mg/kg) orgánico, inorgánico vs control, sobre el contenido de selenio en el jamón cocido.

DIETA	SELENIO (mg/kg)
C	0,22 ± 0,01c
O	0,30 ± 0,03 a
I	0,25 ± 0,01b
P	0,04

Los datos son la media ± error estándar de la media de n=6-7. Los datos fueron analizados con ANOVA de una vía y post hoc, test de Tukey-Kramer (p <0.05). a,b,c significa diferencia significativa.

En la Figura 4, se presentan los resultados del efecto de la adición de Selenio (0,3mg/kg) sobre el contenido de Selenio en el jamón cocido.

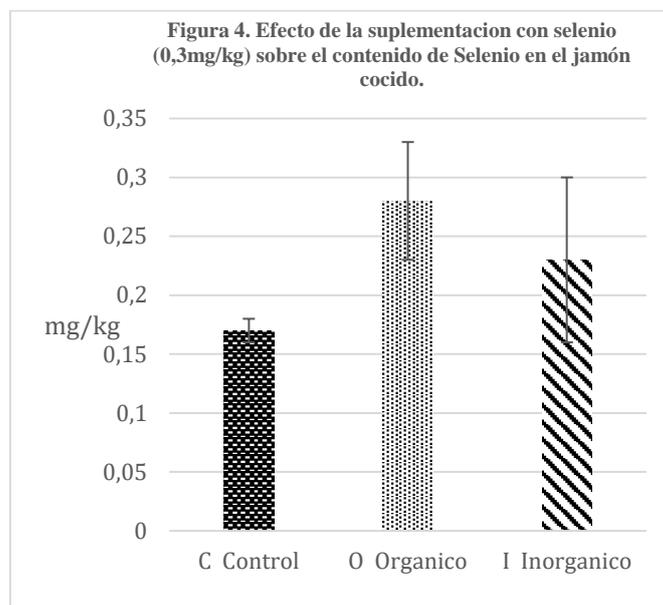


Figura 4 Efecto de la suplementación con Selenio (0,3mg/kg) sobre el contenido de selenio en el jamón cocido. Dieta control C, O con adición selenio orgánico, I con adición de selenio inorgánico. Los datos son la media \pm error estándar de la media de n=6-7. Los datos fueron analizados con ANOVA de una vía y post hoc, test de Tukey-Kramer ($p < 0.05$).

Se observó que hay diferencia significativa entre las dietas. El enriquecimiento con Selenio orgánico e inorgánico da mayor concentración de Selenio que el jamón correspondiente a la dieta control, siendo esta misma tendencia la misma que lo hallado en los músculos frescos. En el jamón que se halló mayor concentración de selenio, corresponde a la dieta enriquecida con Selenio orgánico, y estos valores son superiores al 25% respecto al control. Para el Selenio orgánico la concentración de Selenio fue de $0,30 \pm 0,03$ mg/kg y para la dieta enriquecida con Selenio inorgánico $0,25 \pm 0,01$ mg/kg. Esto concordaría con otros estudios similares realizados en los que se reportan que las concentraciones en los músculos son mayores cuando se enriquece con Selenio orgánico (Mahan et al., (1999); Carmona et al., (2010)). También el estudio Janiszewski et al., (2011), similar con una dieta control y Selenio orgánico en cerdos sobre el músculo *Longissimus dorsi* y el musculo semimembranoso (jamón), hallaron un efecto similar con la suplementación en la dieta con Selenio orgánico, reportándose un mayor contenido de Selenio en la carne.

En los jamones se halló, que los que fueron elaborados con los músculos que provienen de la dieta con Selenio inorgánico aportarían por su contenido promedio en selenio de 0.25 mg/kg, por porción de 40 gramos (dos fetas), un aporte de 0.01 mg. Considerando la

ingesta diaria recomendada de selenio para USA de 55 ug/día de Se, tanto para hombre como para mujeres, la porción de jamón de 40g, aportarían un 18.2% del selenio recomendado de ingesta por día. Para el caso de jamones elaborados con los músculos de los cerdos que recibieron la dieta enriquecida con Selenio orgánico, la porción de dos fetas aporta el 21.8 % de la recomendación diaria.

3.2.3 Efecto de la suplementación con Selenio (0,3mg/kg) sobre contenido de los macrominerales en los músculos traseros.

En la tabla 6 se reportan resultados del efecto sobre el contenido de macrominerales en los musculo, identificándose con la letra C la dieta control sin adición de Selenio, con O adición de Selenio orgánico (0,3 mg/kg), con I adición en la dieta de Selenio inorgánico (0,3 mg/kg), en los músculos de los cuartos traseros de los cerdos Pampa Rocha, el músculo *Biceps Femoral* (BF), *Cuadriceps Femoris* (QF), *Gluteus medius* (GM), *Semitendinosus* (ST). Los resultados de los efectos de la suplementación con selenio sobre los macrominerales Fósforo (P), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na) y Potasio (K) en los músculos se muestran en la tabla 6.

TABLA 6. Efecto de la suplementación con Se (0,3mg/kg) orgánico O, inorgánico I vs control C, sobre el contenido de los macrominerales en los músculos traseros.

DIETA	MUSCULO	P (g/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Na (mg/kg)	K (mg/kg)
C	BF	1,3± 0,2	33,7± 4,0	215,3± 4,0	1306,3± 211,2	3497,1± 119,6
	QF	1,3± 0,2	36,7± 8,3	229,8± 8,6	1105,9± 214,3	3994,1± 269,7
	GM	1,4± 0,1	30,4± 5,6	226,6± 9,7	872,0± 111,0	4220,7± 172,5
	ST	1,5± 5,1	28,3± 4,0 b	245,6± 2,7	956,9± 104,6	3877,9± 108,7
O	BF	1,3± 0,1	17,6± 2,4	215,2±16,8	701,9± 67,3	3763,8± 289,9
	QF	1,3± 0,0	20,5± 4,6	210,0±7,2	797,9± 68,6	3770,5± 149,5
	GM	1,3± 0,1	20,4± 2,5	229,2±6,2	610,1± 26,5	4019,9± 147,8
	ST	1,3± 0,1	18,3± 3,3 b	260,6± 8,2	657,5± 35,4	4082,5± 119,2
I	BF	1,3± 0,1	29,2± 5,1	239,9±26,7	745,3± 108,9	3847,1± 240,1
	QF	1,2± 0,2	22,5± 2,9	222,8±21,6	778,2± 80,1	3428,3± 393,2
	GM	1,2± 0,1	28,1± 2,4	229,1±15,1	641,5± 77,5	4046,8± 206,8
	ST	1,4± 0,1	40,0± 10,7 a	253,8±8,0	848,3± 77,9	3925,2± 174,1

Efectos Principales

Dieta	ns	P<0,03; C>O, I	ns	0,001; C>O, I	ns
Musculo	ns	ns	0,04; ST>otros	ns	ns
Interacción DXM	ns	ns	ns	ns	ns

Los datos representan la media ± error estándar de la media de n = 4. Los datos se analizaron mediante ANOVA GLM con la dieta, el músculo y la dieta x músculo, como efectos principales para cada mineral considerado y *post hoc*, test de Tukey-Kramer (p <0,05). Las diferencias fueron significativas a p<0,03, p<0,04 y 0,001. ns = no significativo. BF= *Biceps Femoral*, QF= *Cuadriceps Femoris*, GM= *Gluteus medius* y ST = *Semitendinosus*. a,b diferencias significativas entre dietas para un músculo.

Primeramente, los valores obtenidos de P, Mg, Na y K en el control (C) están dentro de los rangos de aquellos observados en cerdos domésticos y salvajes (Roslewska et al., 2016; Galián et al., 2008), a excepción del calcio, cuyos valores son inferiores (Babiczy y Kasprzyk, 2019; Lambolej et al., 2015; Britt et al., 1975) pero similares a los reportados por Carballo et al. (2022) en el cerdo Pampa en dos sistemas de producción, al aire libre y en encierro. En cuanto al efecto del selenio en la dieta sobre los macrominerales, fue que no se encontró diferencias significativas para el caso del fósforo, ni del magnesio, ni el potasio. Estos difieren con otras investigaciones de bibliografía que, si reportan efectos del selenio en el contenido de fósforo, de magnesio Prylipko et al. (2017). La investigación de Kim y Mahan (2001), reportó sobre la variación en la retención del potasio con selenio orgánico.

Los resultados que presentaron diferencias significativas por la dieta fueron para el caso del calcio y el sodio. Los datos para el calcio y el sodio se presentan en las siguientes figuras (5a y 5b). Se representan los valores de Calcio y Sodio respectivamente:

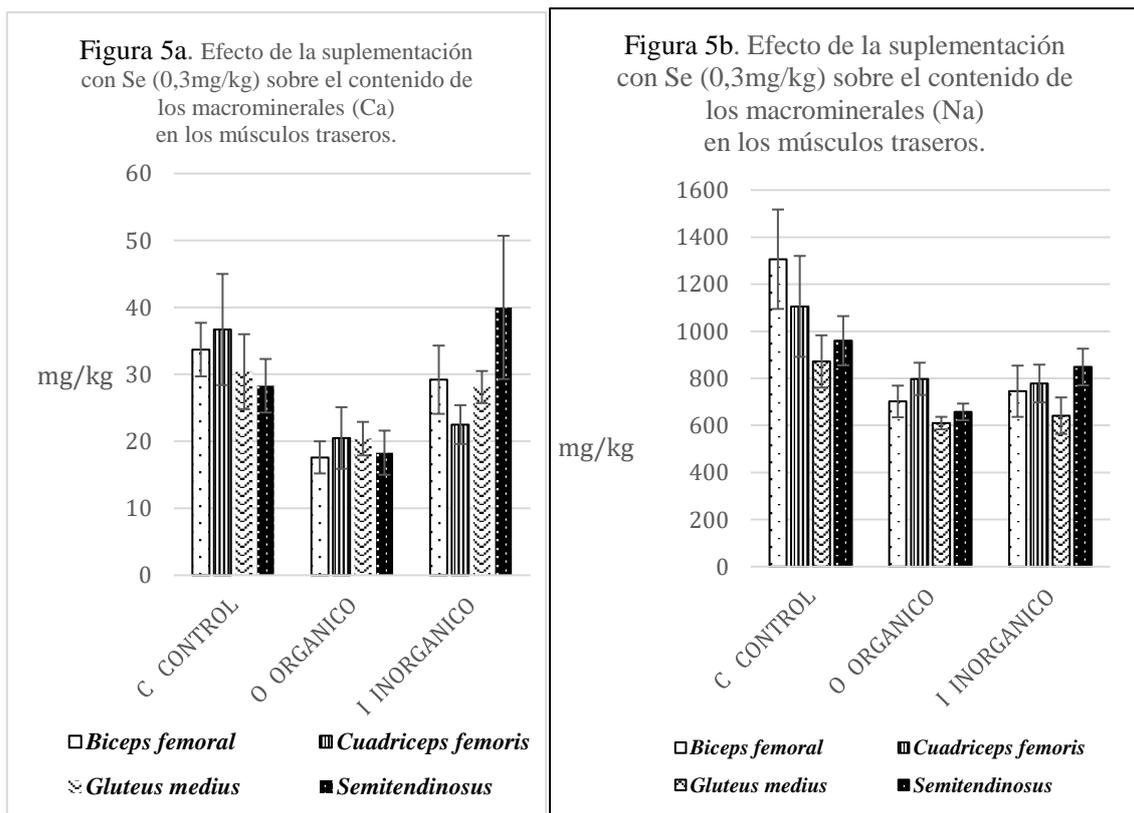


Figura 5: a) Efecto de la suplementación con Se (0,3mg/kg) sobre el contenido de macromineral calcio Ca en los músculos traseros. b) Efecto de la suplementación con Se (0,3mg/kg) sobre el contenido de macromineral sodio en los músculos traseros: BF= Biceps Femoral, QF= Cuádriceps Femoris, GM= Gluteus medius y ST = Semitendinosus

Efectos Principales	Calcio	Sodio
---------------------	--------	-------

Dieta	P<0,03; C>O, I	0,001; C>O, I
Musculo	ns	Ns
Interacción DXM	ns	Ns

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 dieta x músculo, como efectos principales para cada mineral considerado y *post hoc*, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). Las diferencias fueron significativas a $p < 0,03$, $p < 0,04$ y $0,001$. ns = no significativo.

Para el caso del calcio, (ver figura 5a,) se observó una disminución significativa, de la concentración del calcio en los músculos de animales que recibieron selenio, con respecto al control. En una breve reseña el calcio se encuentra en poca cantidad en el músculo esquelético (0.9%) pero juega un rol en la contracción muscular y regulación enzimática (Babiczy y Kasprzyk, 2019). Un rango de 118 a 270 mg/kg de carne fresca ha sido reportado, siendo las diferencias debidas a la especie, edad, alimentación, engrasamiento, etc. En este estudio, se observan valores de concentración mayores de calcio en la carne de los cerdos control respecto de los suplementados con selenio orgánico e inorgánico. Sin embargo, se halló que en la dieta inorgánica los valores del músculo *Semitendinosus* contenían una concentración mayor respecto al C control ($p < 0,05$). Por lo tanto, en la dieta con selenio inorgánico se hallaron concentraciones de calcio superior a la dieta con selenio orgánico.

Una posible hipótesis es que el selenio inorgánico facilite la mayor disponibilidad de calcio en el musculo esquelético (Rederstoff et al., 2006) pero que este efecto dependa del tipo de músculo (por ejemplo, en el soleus de la rata que es más oxidativo). Kim y Mahan (2001), reportaron a los efectos de altos niveles dietéticos de levadura enriquecida con selenio y selenito de sodio sobre el metabolismo macro y microminerales en cerdos de engorde, en el cual se halló que la retención de calcio consumido aumentó cuando los cerdos fueron alimentados con Se orgánico. Si bien en nuestro trabajo no se controló el contenido consumido de calcio, y considerando que todas las dietas solo difirieron en el enriquecimiento del selenio (orgánico e inorgánico a 0,3 mg/kg), no se halló esta tendencia de mayor retención de calcio en el selenio orgánico vs el inorgánico, los valores para la dieta con Se orgánico dieron inferiores. A excepción del ST en el cual el contenido total de calcio fue 40 mg/kg y fue superior al mismo musculo de la dieta C y O (tabla 6, Fig. 5 a). En el trabajo de investigación de Lagin et al., (2008) realizada con cerdos con dieta con levadura con selenio orgánico, en el cual se determinaron en el músculo *Semimembranosus* vs un control, sobre el contenido de minerales, se reportó que el contenido de Calcio en el musculo disminuyó en el grupo prueba con el selenio orgánico

(levadura de cerveza seca con selenio ligado orgánicamente) vs un control. En otra publicación de Prylpko et al., (2017), se reportó que con la dieta con Selenito y selenato y Selenio orgánico, observaron que hubo un aumento de la concentración de calcio. Esto difiere con los resultados de esta investigación. Los cuatro músculos estudiados aquí tienen particularidades diferentes. El ST en el cerdo Basque se caracteriza por tener 25 % de fibras glicolíticas, con menos grasa, en la porción roja oxidativa y 75% de fibras glicolíticas y alta grasa, en la porción más blanca (Bonnet et al., 2010), siendo este un caso extremo ya que se encuentra más grasa en los músculos de tipo oxidativo. Músculo más glicolíticas y fibras rápidas podría ser más demandante de compuestos.

Por otro lado, se halló en bibliografía un estudio sobre selenoproteínas, en la cual se investigaba algunas de estas selenoproteínas, que se encuentran asociadas con una función celular que involucra Ca^{2+} , en forma directa o indirectamente a nivel intracelular (Pitts y Hoffmann, 2018). Particularmente, las selenoproteínas N y W parecen influenciar la homeostasis del calcio muscular el cual impacta la función mitocondrial (Lescure, 2009). Son capaces de sensar el calcio y liberar cuando falta del retículo endoplasmático a través de la bomba de calcio, y tiene un rol clave redox (Zito y Ferreiro, 2021). Sin embargo, parece que solo la forma inorgánica, selenito o nanopartículas de selenio estarían asociadas al aumento de la expresión de la selenoproteínas N en el músculo y la liberación de calcio del retículo sarcoplásmico lo cual tiene un efecto positivo en la tolerancia al estrés oxidativo en las contracciones de larga duración. Estos trabajos usaron 0.5ppm de Se vs un testigo con 0.3 ppm (Bodnar et al., 2016). La deficiencia de selenio lleva a la calcificación del músculo esquelético y cardíaco, enfermedad del músculo blanco (Redestorff et al., 2006) ya que el retículo sarcoplásmico no puede captar el calcio circulante por falta de la selenoproteína N activada por el selenio. El bajo contenido de calcio en el músculo que se encontró en los dos tratamientos con selenio podría significar que el calcio se ha liberado del retículo (Fodor et al., 2020) y esto puede ser un efecto positivo del selenio en ese sentido. Sin embargo, la medida de calcio total no refleja cuanto está en el retículo sarcoplásmico y en el retículo endoplásmico. Otras mediciones de actividad de la proteína N serían necesarias para concluir sobre el efecto positivo del selenio en el calcio del musculo. También, es necesario verificar los valores de calcio en el musculo esquelético del cerdo Pampa ya que los resultados hallados son muy inferiores a los reportados en la bibliografía.

Continuando con el caso de la concentración del sodio (Na), se halló concentraciones superiores en la dieta control C y en los músculos *Biceps Femoris* y *Cuadriceps Femoral*, los valores son bastante más respecto a las otras dos dietas O e I. Los valores de Na observados en el control son similares a los ya publicados (Babicz y Kasprzyk, 2019) para el cerdo doméstico y salvaje. Se reporta aquí un efecto interesante del selenio disminuyendo estos valores tanto en O como en I. Pero también aparecen diferencias interaccionando tipo de músculo y dieta. Otros trabajos han reportado efectos contrarios (Lagin et al., 2008), en el cual el contenido de sodio aumenta con el selenio en el músculo, pero en el músculo *Semimembranosus*. Babicz y Kasprzyk (2019) publican que el Na, así como el K están influenciados por la especie y el tipo de alimentación, más concentrado daría más sodio en los tejidos (Zhao et al., 2016; Cebulska, 2015).

El efecto por músculo solo presenta valores significativos para el mineral magnesio (Mg), para el resto no presentaron valores significativos. Probablemente el tipo de músculo, más glucolítico u oxidativo explique esta diferencia obtenida para el Mg, mineral relacionado a la contracción muscular. Los valores hallados en contenido de Mg se encuentran cercanos a los publicados por Galian et al. (2008) en cerdos locales de 265 mg/kg carne fresca, mientras que en el cerdo doméstico se han encontrado 950 a 1070 mg/kg, siendo estas diferencias debidas a la especie, sistema de producción y actividad física (Cebulska, 2015).

Para el potasio (K), la cantidad que contiene cada músculo hace de la carne de cerdo un valioso aporte de K a la dieta humana. El músculo es el principal reservorio de K, y este constituye una importante contribución de las especies en cría al aire libre, donde se reporta mayor cantidad (Zhao et al., 2016). Para un requerimiento de K de 3500 mg/día (EFSA, 2017) con una ingesta de 200 gramos de carne de cerdo lo cual cubre el 20% del requerimiento diario en un adulto. Un aspecto para remarcar es los altísimos valores publicados (10 g/kg carne fresca) por Babicz y Kasprzyk (2019) fuera de los rangos aceptables.

Como conclusión de esta parte, es necesario continuar investigando porque hay disparidad en los resultados hallado por diferentes autores, con diferentes condiciones, por lo que se considera continuar profundizando con investigaciones sobre los contenidos reales de la carne de cerdos locales, así como sobre los efectos del selenio sobre los macrominerales.

3.2.4. Efecto de la suplementación con Selenio (0,3mg/kg) sobre el contenido de los macrominerales en el jamón

En la tabla 7 se reportan los resultados hallados en el estudio del efecto enriquecimiento en la dieta con Selenio, sobre el contenido de los macrominerales del jamón cocido, identificándose con la letra C la dieta control sin adición de Selenio, con O adición de Selenio orgánico (0,3mg/kg), con I adición en la dieta de Selenio inorgánico (0,3mg/kg ración).

Los resultados de los efectos de la suplementación con selenio sobre macrominerales fueron en los jamones en el Fosforo (P), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Potasio (K).

Tabla 7. Efecto de la suplementación con Se (0,3mg/kg) orgánico, inorgánico vs control, sobre el contenido de los macrominerales en los jamones.

DIETA	P (g/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Na (mg/kg)	K (mg/kg)
C	2,2±0,1	56,6± 3, 0a	266,9 ± 28,4	15988,8 ± 547,6 a	4179,0 ± 189,7 a
O	2,0±0,1	45,1±2,5b	230,0± 11,3	11823,1 ± 946,7 b	3956,8 ± 91,4 b
I	1,9±0,1	41,7±3,9c	247,7 ± 19,9	9135,3 ± 501,3 c	3426,2 ± 125,3 c
P	ns	0,01	ns	0,001	0,05

Los datos son la media ± error estándar de la media de n=6-7. Las variables fueron analizadas a través de ANOVA una vía y post hoc, test de Tukey-Kramer (p <0.05). Las diferencias fueron significativas a p<0,01, 0.05 y 0,001, ns = no significativo. a,b,c significa medias diferentes.

Los resultados encontrados por el efecto de la dieta de los animales en el contenido de macrominerales son los siguiente: no se halló diferencias significativas para algunos minerales, esto fue para el fosforo, y para el magnesio, en estos no se encontró efecto de la dieta, como tampoco se halló sobre estos dos minerales en los músculos frescos efecto por la dieta. En cambio, si se obtuvieron diferencias significativas en la concentración de Calcio, que también se encontró efecto en los músculos, lo mismo para el sodio, y se encontró diferencia significativa para el potasio K, a diferencia de los resultados obtenidos en los músculos frescos traseros. Se representan en la siguiente figura (6a y 6b) que se representan los valores de la tabla 7.

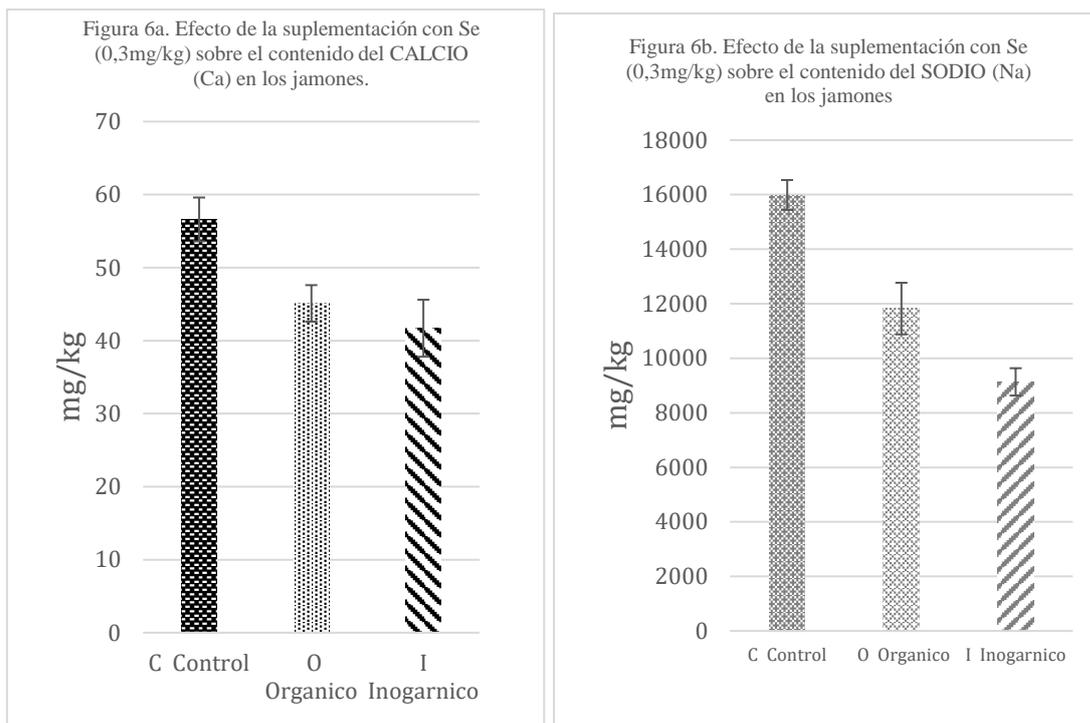


Figura 6: a) Efecto de la suplementación con Se (0,3mg/kg) sobre el contenido de macromineral calcio Ca en los jamones. b) Efecto de la suplementación con Se (0,3mg/kg) sobre el contenido de macromineral sodio en los jamones. Los datos son la media \pm error estándar de la media de n=6-7. Las variables fueron analizadas a través de ANOVA una vía y post hoc, test de Tukey-Kramer ($p < 0.05$). Las diferencias fueron significativas a $p < 0,01$, 0,05 y 0,001, ns = no significativo.

Respecto al calcio se observa que en la dieta control C los valores son bastante superiores $56,6 \pm 3,0$, y en la dieta de Selenio orgánico (O) las concentraciones valores medios fueron $45,1 \pm 2,5 \text{ mg/kg}$ y los de la dieta I $41,7 \pm 3,9 \text{ mg/kg}$. También se presenta la tendencia de concentraciones mayores para la dieta C control sin adición de Selenio para el Na sodio, se observó misma tendencia en los músculos fresco, presentaron mayores concentraciones en dieta control. El potasio K en los músculos no presento diferencias significativas por efecto de la dieta, y si presento en los jamones como se comentó, teniendo la tendencia mayor en (C) control > en dieta O > dieta I

3.2.5 Efecto de la suplementación con Selenio (0,3mg/kg) sobre contenido de los elementos traza, en los músculos traseros.

Los resultados de los efectos de la suplementación con Selenio sobre los elementos traza, el Zinc (Zn), Cobre (Cu), Manganeso (Mn) se reflejan en la tabla 8. Los valores se expresan por cada dieta, siendo sin adición de selenio el control (C), Selenio orgánico (O), Selenio inorgánico (I) y son de los músculos *Biceps Femoral* (BF), *Cuádriceps Femoris* (QF), *Gluteus medius* (GM), *Semitendinosus* (ST).

Tabla 8. Efecto de la suplementación con Se (0,3mg/kg) orgánico, inorgánico vs control, sobre el contenido de los elementos traza en los músculos traseros

DIETA	MUSCULO	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Se (mg/kg)
C	BF	20,75± 2,24	1,46± 0,33	0,09± 0,01	0,17±0,01
	QF	39,41± 1,05b	1,43± 0,16	0,15± 0,01b	0,16±0,01
	GM	22,22± 4,47	1,49± 0,16	0,14± 0,03	0,16±0,03
	ST	15,14± 2,45	1,32± 0,34	0,08± 0,01	0,16±0,04
O	BF	20,25± 2,14	1,33± 0,28	0,11± 0,02	0,28±0,05
	QF	48,83± 7, 94a	1,16± 0,37	0,19± 0,01a	0,28±0,05
	GM	24,70± 7,95	0,93± 0,20	0,11± 0,01	0,44±0,02
	ST	15,90± 3,37	1,17± 0,23	0,12± 0,02	0,23±0,02
I	BF	20,30± 1,29	1,56± 0,38	0,12± 0,02	0,23±0,07
	QF	25,41± 1,67c	1,41± 0,33	0,12± 0,01b	0,15±0,03
	GM	18,28± 1,33	0,82± 0,01	0,11± 0,01	0,37±0,07
	ST	30,35± 5,17	1,10± 0,12	0,13± 0,01	0,23±0,09
Efectos Principales					
Dieta	P	ns	ns	ns	0,0001; O,I>C
Musculo	P	0,0001; QF>otros	ns	0,006 QF>otros	0,01 GM>otros
Interacción DXM	p	0,0001	ns	0,047	ns

Los datos representan la media ± error estándar de la media de n = 4. Los datos se analizaron mediante ANOVA GLM con la dieta, el músculo y la dieta x músculo, como efectos principales para cada variable considerada y post hoc, test de Tukey-Kramer (p <0,05). Las diferencias fueron significativas a p<0,0001 y 0,006, ns = no significativo. BF= *Biceps Femoral*, QF= *Cuádriceps Femoris*, GM= *Gluteus medius* y ST = *Semitendinosus*

Los resultados encontrados para los elementos traza, no presentó por efecto de la dieta diferencia significativa para el Zn, Cu y Mn, si para el caso del elemento traza selenio, esto se encuentra en el ítem 3.2.1.

Varias investigaciones reportan algún tipo de efecto por la dieta, como la investigación de Pirova et al., (2017), ellos investigaron en lechones con diferentes fuentes de selenio y diferentes niveles de concentración y reportaron que con la inclusión de selenio orgánico en dosis de 0,3 a 0,4 mg/kg de materia seca, esto contribuyó a aumentar las concentraciones de cobre y de zinc. Otra investigación Prylipko et al., (2017), en el cual hallaron que el Zn incrementó su concentración con el selenio, al igual que el cobre. Los reportes del equipo de investigación de Lagin et al., (2008) en el cual se reportaron un aumento en el Zn por efecto del selenio. Kim et al., (2001) estudiaron el efecto de dos fuentes dietéticas de selenio (levadura enriquecida con Selenio y Selenito de sodio) y un amplio rango de concentraciones, reportaron que la retención de Zn consumido aumentó cuando los cerdos fueron alimentados con Selenio orgánico. Djujic (1995) reporta que el selenio afecta en ratones la retención y distribución del Zn y Mn. Sin embargo, la investigación de Chalabis Mazurek et al., (2014) en la que se analizó en corderos, los

efectos de la concentración en el hígado de algunos minerales bajo la suplementación con selenio, estos sugirieron que los compuestos del selenio contribuyen significativamente a cambios en los minerales zinc, cobre, manganeso, y en el hierro. Reportaron que la suplementación con selenio podría provocar una disminución de la concentración de los niveles de otros elementos como el Zn, Cu, Fe, y un aumento de los niveles de Mn.

En las figuras siguientes se repesntan los valores por efecto musculo, siendo el 7a (Zn) y 7b (Mn), donde se encontraron diferencias significativas.

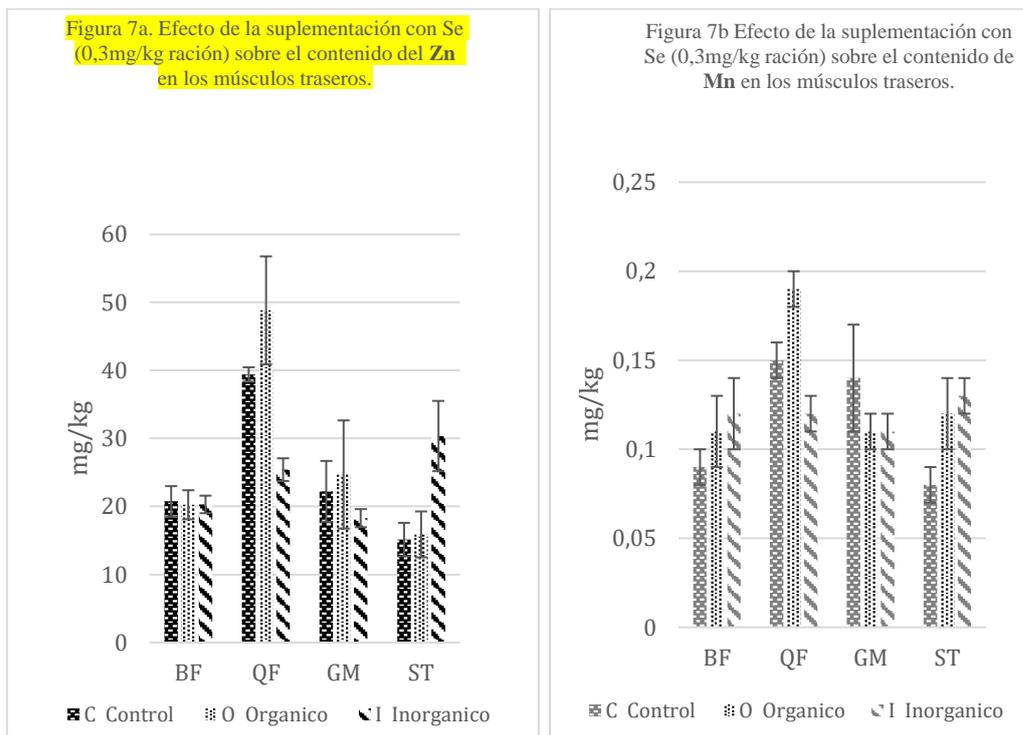


Figura 7: a) Efecto de la suplementación con Se (0,3mg/kg) sobre el contenido del micromineral zinc (Zn) en los músculos traseros. b) Efecto de la suplementación con Se (0,3mg/kg) sobre el contenido del micromineral manganeso (Mn) en los músculos traseros: BF= *Biceps Femoral*, QF= *Cuádriceps Femoris*, GM= *Gluteus medius* y ST = *Semitendinosus*

Efectos Principales					
Dieta	P	ns	ns	ns	0,0001; O,I>C
Musculo	P	0,0001; QF>otros	ns	0,006 QF>otros	0,01 GM>otros
Interacción DXM	p	0,0001	ns	0,047	ns

Las diferencias fueron significativas a $p < 0,0001$ y $0,006$, respectivamente al Zn y al Mn.

Analizando por el efecto principal musculo, se hallaron diferencias significativas para el Zn, Mn y esto mismo fue para el Se. Se presentó para el Zn en el musculo *Cuádriceps Femoris* QF de la dieta O un valor mayor, $48,83 \pm 7,94$ mg/kg > que en la dieta C $39,41 \pm$

1,05 > que en la dieta I $25,41 \pm 1,67$ mg/kg y se observa también un valor ST mayor en la dieta I, respecto correspondiente a la dieta C y O que dan valores similares $15,14 \pm 2,45$ y $15,90 \pm 3,37$ respectivamente. Es necesario también seguir investigación del efecto de la dieta en el efecto de los elementos traza, tal vez no en base a los contenidos totales sino a enzimas activadoras de los metabolismos para tener un resultado más claro.

3.2.6. Efecto de la suplementación con Selenio (0,3mg/kg) sobre el contenido de elementos traza en el jamón.

Los resultados de los efectos de la suplementación con Selenio sobre elementos traza, el Zinc (Zn), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn) se reflejan en la tabla 9. Los valores se expresan por cada dieta, siendo sin adición de selenio el control (C), Selenio orgánico (O), Selenio inorgánico (I).

Tabla 9. Efecto de la suplementación con Se (0,3mg/kg) orgánico, inorgánico vs control, sobre el contenido de los elementos traza (mg/kg jamón) en el jamón.

DIETA	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)
C	$20,31 \pm 1,95$	$2,29 \pm 0,27$ b	$0,19 \pm 0,01$ a
O	$19,18 \pm 1,37$	$2,29 \pm 0,31$ b	$0,14 \pm 0,01$ c
I	$23,18 \pm 2,08$	$3,33 \pm 0,10$ a	$0,16 \pm 0,02$ b
p	Ns	0,02	0,04

Los datos son la media \pm error estándar de la media de n=6-7. Las variables fueron analizadas a través de ANOVA una vía y post hoc, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). Las diferencias fueron significativas a $p < 0,02$ y $0,04$, ns = no significativo. a,b,c muestra medias diferentes

Los resultados encontrados por el efecto de la dieta en los jamones sobre los elementos trazan presentaron diferencias significativas para el Cu cobre y para Mn manganeseo, y no se presentó diferencias significativas para el Zn.

Para el Cu se encontró que el valor mayor en la dieta inorgánica, $3,33 \pm 0,10$ mg/kg y para control $2,29 \pm 0,27$ mg/kg y dieta orgánica $2,29 \pm 0,31$ mg/kg.

Para el Mn el mayor valor fue para el control $0,19 \pm 0,01$ mg/kg > dieta I Se inorgánico $0,16 \pm 0,02$ mg/kg > dieta O Se orgánico $0,14 \pm 0,01$ mg/kg.

En los jamones el Cu se afectó más por efecto del Selenio inorgánico, vs al orgánico, esto no se correlaciona con lo reportado por Chalabis Mazurek et al., (2014), donde hallaron que la suplementación con selenio puede disminuir las concentraciones del Cu. Pero se podría relacionar con lo reportado por Pirova et al., (2017) en la cual reporta que el selenio

aumento la concentración de cobre, al igual que al Zn. Sin embargo, para los jamones no se presentó diferencias significativas para el Zn.

Para Prylipko et al., (2017), en el estudio en las carnes el efecto del selenio dio aumento en el manganeso, esto no concuerda con nuestros resultados ya que para ambas dietas enriquecidas con selenio los valores hallados son inferiores al control.

En el estudio Chalabis Mazurek et al., (2014), para el caso de selenio orgánico se ve afectado el nivel de Mn en la sangre, en cambio con el selenio inorgánico el nivel se mantuvo sin cambios. Y con el pasar de las semanas también observaron que se afectó. En el hígado la suplementación con selenio produjo un aumento en el contenido de Mn vs el control. Este comportamiento difiere de lo que se encontró en los jamones.

3.2.7. Efecto de la suplementación con Selenio (0,3mg/kg ración) sobre contenido de las formas del Hierro, en los músculos de los cerdos Pampa Rocha.

Los resultados de las formas del Hierro (Fe), Fe total, Fe (Hemo) y Fe (no Hemo) se reflejan en la tabla siguiente. Los valores se expresan por cada dieta, siendo sin adición de selenio el control (C), Selenio orgánico (O), Selenio inorgánico (I) y en los músculos *Biceps Femoral* (BF), *Cuádriceps Femoris* (QF), *Gluteus medius* (GM), *Semitendinosus* (ST).

Tabla 10. Efecto de la suplementación con Selenio (0,3mg/kg) orgánico (O), inorgánico (I) versus control C, sobre el contenido de las formas del hierro, Fe total, Fe Hemo, Fe No Hemo y la relación Fe Hemo/Fe total.

DIETA	MUSCULO	Formas de hierro			
		Fe Total (mg/kg)	Fe Hemo (mg/kg)	Fe No Hemo (mg/kg)	Fe hemo/FeTotal (%)
C	BF	8,6±0,6	4,2±0,4	4,4±0,4	48,4±3,3
	QF	10,3±0,6 b	6,6±1,3	3,7±1,1	63,6±10,9
	GM	7,0±0,3	3,4±1,2	3,6±1,3	49,5±17,0
	ST	9,8±0,2 a	1,8±0,1	8,1±0,4 a	20,7±1,2 c
O	BF	7,4±0,9	3,1±0,6	4,3±1,5	47,4±15,3
	QF	14,8±1,9 a	7,5±1,4	7,3±3,2	58,4±21,1
	GM	6,1±0,3	2,9±0,4	3,2±0,7	49,1±9,2
	ST	5,6±0,3 b	2,1±0,1	3,5±0,1 b	34,1 ±9,1 b
I	BF	6,1±0,8	3,5±0,8	2,6±1,2	59,9±13,5
	QF	12,8±0,7 a	7,2±1,2	5,6±1,9	58,2±12,9
	GM	9,0±1,7	2,7±0,3	6,3±1,9	36,9±12,1
	ST	4,6±0,4 b	3,8±0,2	0,7±0,1 c	81,3 ±8,1 a
Efectos Principales					

Dieta	P	ns	ns	ns	ns
Musculo	P	0,0001; QF>otros	0,0001; QF>otros	ns	ns
Interacción DXM	P	0,007	ns	0,02	ns

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 dieta x músculo, como efectos principales para cada variable considerada y, post hoc, test de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). Las diferencias fueron significativas a $p < 0,0001$ y $p < 0,007$, ns = no significativo. A,b,c significa diferencia significativa por ANOVA de una vía para un tipo de músculo entre las dietas. BF= *Biceps Femoral*, QF= *Cuádriceps Femoris*, GM= *Gluteus medius*, ST = *Semitendinosus*

El resultado encontrado por el efecto principal de la dieta en las formas del hierro, no dieron diferencias significativas ni en Fe total, ni en Fe Hemo, ni en Fe No Hemo, ni en la relación Fe Hemo/Fe total. Si hubo un efecto del tipo de músculo significativo, siendo el QF el que más contenido de hierro total y hemo presenta.

Se observó diferencias significativas por efecto principal tipo de músculo para el Fe total y en el contenido de Fe Hemo y no se encontró diferencias significativas por efecto principal músculo para el Fe No Hemo.

El hierro hemo es la forma con más biodisponibilidad para la absorción, y se halló variaciones importantes entre los músculos, esto podría ser por el tipo de composición de fibras entre los músculos, como por ejemplo el QF, por más oxidativo. Al comparar las dietas dentro de cada músculo se encuentra un claro efecto de la suplementación de selenio hacia valores mayores de Fe total en el músculo QF, pero también un menor contenido respecto del control en el músculo ST. Claramente el tipo de músculo condiciona la respuesta a la suplementación, probablemente por un rol diferente del selenio a nivel muscular (Larvie et al., 2019), ya que hay una relación entre el estatus de selenio y la pérdida de hierro a nivel muscular, por la disminución de la actividad de la GPx (Larvie et al., 2019). Si bien acá se estudiaron varios músculos y no todos responden igual, para alguno de ellos es una explicación posible.

Esto concuerda con la investigación publicada por Gigante (2021), que estudió las formas de hierro por efecto de la suplementación en la dieta con selenio orgánico e inorgánico (0,3ppm) en los músculos aviares *Pectoralis* y *Gastrocnemius* en las que no se encontró diferencias significativas por efecto de la dieta en hierro total y hemo, si presentó en el no hemo, y halló diferencia significativa entre los músculos.

Concuerda con otros estudios que concluyen que dentro de una misma especie varían las concentraciones de hierro (Cabrera et al., 2010; Lombardi-Boccia, 2002). En la investigación de Chalabis Mazurek et al., (2014), en corderos, los niveles de Fe disminuyeron con las semanas de tratamiento. Pero en el hígado no la concentración del hierro no sufrió efecto por la suplementación.

Otra investigación Matsumoto et al., (2006), hallaron que la exposición a la deficiencia del selenio a corto plazo parecería consumir el Fe y el Zn, pero la exposición prolongada o crónica a la deficiencia de selenio pareció acumular hierro y Zn en el hígado y riñones.

Esto coincide con South et al., (2000), un estudio en ratones, concluyen que el selenio puede afectar la acumulación del Fe en el hígado.

3.2.8. Efecto de la suplementación con Selenio (0,3mg/kg) sobre contenido de las formas del Hierro en el jamón.

Los resultados del efecto del enriquecimiento con Selenio de las formas del Hierro (Fe), Fe total, Fe (Hemo) y Fe (no Hemo) se reflejan en la tabla 11. Los valores se expresan por cada dieta, siendo sin adición de selenio el control (C), Selenio orgánico (O), Selenio inorgánico (I)

Tabla 11. Efecto de la suplementación con Se (0.3 mg/kg) orgánico, inorgánico vs control sobre el contenido de las formas de Hierro (Fe total, Fe Hemo, Fe No Hemo y la relación Fe Hemo/Fe total) del producto Jamón Cocido.

Control C, Orgánico O, con Se inorgánico I.

DIETA	Fe Total (mg/kg)	Fe Hemo (mg/kg)	Fe no Hemo (mg/kg)	Fe Hemo/Fe Total (%)
C	7,54 ± 0,68b	5,09 ± 0,64c	2,44± 0,59b	68,00±6,24 b
O	6,20 ± 0,24c	5,24 ± 0,20b	0,96 ± 0,24c	84,97±3,65 a
I	9,94 ± 0,84 a	6,74 ± 0,53 a	3,20 ± 0,43 a	68,33±2,89 b
p	0,002	0,005	0,005	0,02

Los datos son la media ± error estándar de la media de n=6-7. Las variables fueron analizadas a través de ANOVA una vía y post hoc, test de Tukey-Kramer (p <0.05). Las diferencias fueron significativas a p<0,02, 0,002 y 0,005, ns = no significativo. a,b,c, significa diferencias en las medias

Los resultados encontrados por efecto de la dieta de los animales en las formas del hierro presente en los jamones presentaron diferencias significativas, tanto en el Fe total, en Fe Hemo, y en Fe No Hemo.

Los valores de hierro total dan mayores en los jamones provenientes de los musculo de dieta enriquecida con Se inorgánico dieta I 9,94±0,84 mg/kg y se observó que el control es mayor 7,54±0,68 significativamente que el valor del jamón de la dieta con Se orgánico O que es 7,54±0,68 mg/kg.

Para los valores de hierro hemo, siendo esta la forma de mayor biodisponibilidad del hierro, los valores son mayores para mayores con la suplementación con Selenio, con la dieta inorgánica I fueron los más altos valores fue $6,74 \pm 0,53$ mg/kg > que la dieta orgánica O $5,24 \pm 0,20$ > dieta control C $5,09 \pm 0,64$.

Los hallazgos en los valores de hierro no hemo, tuvieron un menor valor en dieta del Selenio orgánico O, $0,96 \pm 0,24$ mg/kg, es casi la mitad del control y aún más pequeño que en dieta inorgánico. Siendo esta la forma prooxidante y menos biodisponible del hierro, podría inferirse que el selenio orgánico pudo haber protegido al hierro de la oxidación manteniendo los valores sin disminuir con una relación alta de Fe Hemo/Fe total. El hierro Hemo y no hemo, ambos son prooxidantes, por el proceso de cocimiento Lombardi-Boccia (2002), y rápidamente se oxidan dando lugar a otros compuestos de hierro con efectos negativos en la salud. En este estudio se observa que el selenio orgánico tendría un efecto de interés sobre el mantener el hierro total sin oxidarse y da un muy bajo contenido de hierro no hemínico.

6- CONCLUSIONES

El selenio suplementado en la dieta de cerdos Pampa aumentó el contenido de selenio en los músculos traseros y en el jamón elaborado con estos, indicando un enriquecimiento en este mineral contribuyendo con un mejor aporte a la nutrición humana.

Respecto de los macrominerales particularmente disminuyó el contenido de calcio y sodio total, en los músculos traseros y en el jamón, y en este último disminuyó el contenido de potasio. Un efecto particular del tipo de músculo revierte el efecto siendo mayor el contenido de calcio en la carne de animales que recibieron selenio inorgánico, para poder concluir si tiene un efecto positivo es necesario realizar otro tipo de mediciones complementarias como puede ser contenido de selenoproteínas N y W. Respecto al sodio los valores hallados difieren de otros estudios. Por lo tanto, se considera que es necesario continuar con la investigación del efecto sobre los macrominerales.

El contenido de elementos traza fue más afectado por el tipo de músculo que por la dieta, respondiendo al metabolismo enzimático más que a la actividad debida al selenio suplementado. zinc, manganeso, y cobre mostraron las diferencias en función del tipo oxidativo del músculo.

Respecto al efecto sobre las formas de hierro, en los músculos no se halló efecto de la dieta en las formas del hierro. Si se halló que el hierro, total y hemínico, mostró depender

en sus diferentes formas del tipo de músculo. En el producto elaborado como jamón, se constató un efecto de la suplementación con selenio en el hierro total, el hierro hemínico y el hierro no hemo y un posible efecto protector antioxidante del selenio conservando las formas hemínicas del hierro.

Los contenidos encontrados tanto en los músculos traseros frescos como en el jamón producido contribuyen con porcentajes interesantes tanto en la dieta de niños, y en embarazadas, es decir que son fuente adecuadas en minerales esenciales para la salud como son el selenio, zinc y el hierro.

5. REFERENCIAS

- Ahn, D. U., Wolfe, F. H., & Sim, J. S. (1993). Three Methods for Determining Non-Heme Iron in Turkey Meat. *Journal Food Science* 58, 289-291.
- Babicz, M. y Kasprzyk, A. (2019). Análisis comparativo de la composición mineral en la carne de jabalí y cerdo doméstico. *Revista Italiana de Ciencia Animal*.
- Barlocco N., & Vadell A. (2005). Experiencias en la caracterización de cerdo Pampa Rocha Uruguay. *Agro ciencia*.
<http://164.73.52.4/~agrocienza/index.php/directorio/article/view/338>
- Barlocco, N., Vadell, A., & Franco, J. (2000). Características de carcasas de cerdos con diferente proporción de genes Pampa, Duroc y Large White. In *Memorias XVI Reunión Latinoamericana de Producción Animal. III Congreso Uruguayo de Producción Animal*. Montevideo. Uruguay (pp. 1-8).
- Barlocco, N., & Vadell, A. (2011). Producción de Cerdos a Campo Aportes para el desarrollo de tecnologías apropiadas para la producción familiar. In *Publicación elaborada en el marco de los festejos del Bicentenario del Inicio del Proceso de Emancipación Oriental 1811 - 2011 y en los 15 años de la Unidad de Producción de Cerdos de la Facultad de Agronomía*: Vol. ppp.247-249.
<https://www.upc.edu.uy/images/documents/extension/Publicacion%2015%20anos%20UPC.pdf>
- Batorska, M., Więcek, J. y Rekiel, A. (2017). Influencia de la fuente orgánica versus inorgánica y los diferentes niveles dietéticos de suplementación con selenio en dietas para cerdos en crecimiento sobre la calidad de la carne. *Revista de Elementología*, 22 (2), 653-662.
- Beck, KL, Conlon, CA, Kruger, R. y Coad, J. (2014). Determinantes dietéticos y posibles soluciones a la deficiencia de hierro en mujeres jóvenes que viven en países industrializados: una revisión. *Nutrientes*, 6 (9), 3747-3776.
- Behne, D., Kyriakopoulos, A., Scheid, S. y Gessner, H. (1991). Efectos de la forma química y la dosis sobre la incorporación de selenio a las proteínas tisulares en ratas. *La Revista de nutrición*, 121 (6), 806-814.
- Belitz, H. D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry*.
- Bobček, B., Lahučký, R., Mrazova, J., Bobček, R., Novotná, K., & Vašíček, D. (2004). Effects of dietary organic selenium supplementation on selenium content, antioxidative status of muscles and meat quality of pigs. *Czech Journal of Animal Science*, 49(9), 411-417.
- Bodnár, D., Ruzsnavszky, O., Oláh, T. *et al.* Dietary selenium augments sarcoplasmic calcium release and mechanical performance in mice. *Nutr Metab (Lond)* **13**, 76 (2016). <https://doi.org/10.1186/s12986-016-0134-6>
- Bonnet M., Cassar-Malek I., Chilliard Y., Picard B. Ontogenesis of muscle and adipose tissues and their interactions in ruminants and other species. *Animal*. 2010;4(7):1093–1109. doi: 10.1017/S1751731110000601.
- Britt, BA, Endrenyi, L., Barclay, RL y Cadman, DL (1975). Contenido de calcio total del músculo esquelético aislado de humanos y cerdos susceptibles a la hipertermia maligna. *Revista británica de anestesia*, 47 (6), 647-649.
- Carballo, C. (2013). *OXIDACIÓN LIPÍDICA Y PROTEICA DE CARNE DE CERDOS PAMPA ROCHA PRODUCIDOS SOBRE PASTURAS*. chrome-extension://efaidnbmnibpajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.upc.edu.uy%2Fimages%2Fdocuments%2Ftesis%2Fcarballo_2013.pdf&cLen=731309&chunk=true

- Carballo, C. (2021). *Calidad nutricional, funcional y estatus oxidativo de la carne de cerdo Pampa Rocha producido en un sistema al aire libre vs un sistema convencional*. <https://upc.edu.uy/ensenanza/tesis/posgrado/219-carballocecilia>
- Carballo, Cecilia, et al. "Contenido de oligoelementos, macrominerales y formas de hierro, en la carne de cerdo de Pampa Rocha criados bajo techo y al aire libre con pasto". *Revista de Ciencias Veterinarias* (2022).
- Carballo, C. (2023). Calidad nutricional, funcional y estatus oxidativo de la carne de cerdo Pampa Rocha en un sistema al aire libre vs. un sistema confinado.
- Carballo, C. S., Barlocco, N., & Stela Priore, E. (2010). Recría de cerdos en condiciones pastoriles. Comportamiento de cerdos Pampa-Rocha en pureza y en cruzamientos en dos periodos. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 17(2).
- Carballo, C., Terevinto, A., Barlocco, N., Saadoun, A., Cabrera, M. C., & Cristina, M. (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.org/10.12691/jfnr-5-5-9>
- Carmona, J. A. G., Peláez, J. C., & Solarte, W. N. (2010). Rendimiento zootécnico y depósito muscular de selenio en cerdos alimentados con selenio orgánico en la etapa de finalización. *Revista Veterinaria y Zootecnia (On Line)*, 4(2), 48-53.
- Casanueva Álvarez, E. (2016). La influencia del selenio en la detoxificación de radicales libres.
- Castro. G., & G. Fernández. (2004). Recursos genéticos porcinos de Uruguay. In *Biodiversidad porcina iberoamericana. Ed. Caracterización y uso sustentable* (pp. 87–109). Ed. Vicente Delgado Bermejo.
- Chalabis-Mazurek, A. y Walkuska, G. (2014). Efecto de diferentes formas de selenio sobre oligoelementos en el suero sanguíneo y el tejido hepático de corderos. *Revista de Elementología*, 19 (1).
- Cebulska, A. (2015). Meat quality by Polish Native breeds of pigs and crossbreds and its fitness for acquisition of food with characteristics of functional (Ph. D thesis). Poland: Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w. Bydgoszczy, 212.
- Coma, J., & Piquer, J. (1999). *Calidad de carne en porcino, efecto de la Nutrición*. XV Curso de Especialización AVANCES EN NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN ANIMAL.
- Coria-Hernández, J., Meléndez-Pérez, R., Méndez-Albores, A., & Arjona-Román, J. L. (2020). Changes in myoglobin content in pork Longissimus thoracis muscle during freezing storage. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 11(3), 651–668. <https://doi.org/10.22319/RMCP.V11I3.5214>
- DeVore, V. R., & Greene, B. E. (1982). Glutathione peroxidase in post-rigor bovine Semitendinosus muscle. *Journal of Food Science*, 47(5), 1406-1409.
- Dujic, B. Dujic and L. Trajkovic, "Dietary Intake of Selenium in Serbia: Results for 1991 Conference Selenium," *Nauc. Skup. Srp. Akad. Nauk. Umet*, Vol. 6, 1995, pp. 81-87.
- Durán, V., Hernández, E., Aguirre, E., & Gorga, L. (2020). *Anuario Opya 2020. Problemas y oportunidades de la cadena de carne porcina en Uruguay*. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2020/estudios/problemas-oportunidades-cadena-carne-porcina#>
- Echenique, A., & Capra, G. (2006). Diagnóstico de situación de la calidad de carne porcina para consumo fresco en el Uruguay. In *Acuerdo de Trabajo INIA-BID (AT 1004) Proyecto 10 Tecnología para la Pequeña Producción Familiar*. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3009/1/18429160709161934.pdf>.
- Echenique, A. (2007). Efecto de la alimentación sobre la calidad de la carne y la grasa de cerdo. In *Monografía conferencia IX Encuentro de Nutrición y Producción en Animales Monogástricos* (pp. 55-63).

- EFSA, E. (2017). Informe resumido de valores dietéticos de referencia para nutrientes. Apoyo de la EFSA. Publ. , 14 , e15121E.
- Failla, ML (2003). Oligoelementos y defensa del huésped: avances recientes y desafíos continuos. *El Diario de nutrición*, 133 (5), 1443S-1447S.
- Fodor, J., Al-Gaadi, D., Czirják, T. et al. Improved Calcium Homeostasis and Force by Selenium Treatment and Training in Aged Mouse Skeletal Muscle. *Sci Rep* 10, 1707 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58500-x>
- Freixanet, L. (2010). *Aditivos e ingredientes en la fabricación de productos cárnicos cocidos de músculo entero*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Falimentos.web.unq.edu.ar%2Fwp-content%2Fuploads%2Fsites%2F57%2F2016%2F03%2Fjamon-cocido.pdf&clen=1076002&chunk=true
- Gigante De Luca, S. A. (2021). Selenio dietario y estatus oxidativo, antioxidante y mineral de los músculos gastrocnemius y pectoralis aviares.
- Gharibzahedi, S. M. T., & Jafari, S. M. (2017). The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. *Trends in Food Science & Technology*, 62, 119–132. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2017.02.017>
- Goenaga Uceda, Irantzu. (2010). *Estabilidad del color de la carne de ternera*.
- Honikel, K.O. 1998. Reference methods for the assesment of physical characteristics of meat. *Meat Sci.* 49: 447-457
- Hernández-Mendoza, H., & Rios-Lugo, M. J. (2009). Rol biológico del selenio en el humano. *Química Viva*, 8(2), 64-79.
- INAC. (2020). *Consumo de Carnes en Uruguay. Informe 2020*. <https://www.inac.uy/innovaportal/v/18275/1/innova.front/consumo>
- INAC (2022). Informe anuario estadístico. Análisis de las principales variables del sector cárnico. <https://www.inac.uy/innovaportal/file/23151/1/anuario-estadistico-2022-analisis-de-cifras.pdf>
- INAC- Manual de cortes de carnes alternativas para abasto. https://www.inac.uy/innovaportal/file/7157/1/manual_de_carnes_alternativas.pdf
- Galián Jiménez, M. (2008). Características de la canal y calidad de la carne, composición mineral y lipídica del cerdo Chato Murciano y su cruce con Ibérico. Efecto del sistema de manejo.
- Gorga, L. (2022). Cadena de carne de cerdo: Situación y perspectivas. Montevideo: MGAP. Recuperado de: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2022/analisis-sectorial-cadenas-productivas/cadena-carne-0>
- Jiménez Torres, Roberto., Medina Domenzáin, Renán., Ruiz Castañeda, Gabriel., & Gutiérrez Vargas, M. Elba. (n.d.). Calidad de la carne de cerdo y su valor nutricional. *Revista de Información Veterinaria, Medicina y Zootécnia, Especializada En Los Sectores de Avicultura, Porcicultura, Rumiantes y Acuicultura*. Retrieved October 31, 2021, from <https://www.veterinariadigital.com/articulos/calidad-de-la-carne-de-cerdo-y-su-valor-nutricional/>
- Janiszewski P, Borzuta K, Borys A, Grześkowiec 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.

- Lagin, L., Bobček, B., Mrázová, J., Debrecéni, O. y Adamec, M. (2008). El efecto del selenio orgánico sobre el valor de sacrificio, la calidad físico-química y tecnológica características de la carne de cerdo. *Biotecnología en Ganadería*, 24 (1-2), 97-107
- Lamboley, CR, Kake Guena, SA, Touré, F., Hébert, C., Yaddaden, L., Nadeau, S., ... y Pape, PC (2015). Nuevo método para determinar el contenido de calcio total en tejido aplicado al músculo esquelético con y sin calsequestrina. *Revista de Fisiología General*, 145 (2), 127-153.
- Larvie DY, Doherty JL, Donati GL, Armah SM. Relationship between Selenium and Hematological Markers in Young Adults with Normal Weight or Overweight/Obesity. *Antioxidants* (Basel). 2019 Oct 8;8(10):463. doi: 10.3390/antiox8100463.
- Latham, M. (2002). *NUTRICIÓN HUMANA EN EL MUNDO EN DESARROLLO*. FAO. <https://www.fao.org/3/w0073s/w0073s0e.htm#bm14>
- Lescure, A., Rederstorff, M., Krol, A., Guicheney, P. y Allamand, V. (2009). Función de las selenoproteínas y enfermedad muscular. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Temas generales*, 1790 (11), 1569-1574.
- 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.
- Lombardi-Boccia, G., Martinez-Dominguez, B., & Aguzzi, A. (2002). Total heme and non-heme iron in raw and cooked meats. *Journal of Food Science*, 67(5), 1738-1741.
- López-Bellido Garrido, F. J., & López Bellido, L. (2013). Selenio y salud: valores de referencia y situación actual de la población española. *Nutrición hospitalaria*, 28(5), 1396-1406.
- LOS, FGB, Prestes, RC, Granato, D., Simoes, DRS, Roman, SS, & Demiate, IM (2016). Evaluación del uso de carne de cerdo congelada en la elaboración de jamón cocido. *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 36 , 124-131.
- Kim, Y. Y., & Mahan, D. C. (2001). Effects of high dietary levels of selenium-enriched yeast and sodium selenite on macro and micro mineral metabolism in grower-finisher swine. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 14(2), 243-249.
- Mahan, D. C., & Parrett, N. A. (1996). Evaluating the efficacy of selenium-enriched yeast and sodium selenite on tissue selenium retention and serum glutathione peroxidase activity in grower and finisher swine. *Journal of animal science*, 74(12), 2967-2974. <https://doi.org/10.2527/1996.74122967x>
- Mahan, D. C., Cline, T. R., & Richert, B. (1999). Effects of dietary levels of selenium-enriched yeast and sodium selenite as selenium sources fed to growing-finishing pigs on performance, tissue selenium, serum glutathione peroxidase activity, carcass characteristics, and loin quality. *Journal of animal science*, 77(8), 2172-2179.
- Mancini, R. A., & Hunt, M. C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71(1), 100-121. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2005.03.003>
- Martínez, E., & Soledad, N. (2022). Implicancia del selenio, orgánico e inorgánico, en la composición de los ácidos grasos y en la resistencia a la oxidación del músculo longissimus dorsi del cerdo Pampa Rocha.
- Mateo, R. D., Spallholz, J. E., Elder, R., Yoon, I., & Kim, S. W. (2007). Efficacy of dietary selenium sources on growth and carcass characteristics of growing-finishing pigs fed diets containing high endogenous selenium. *Journal of animal science*, 85(5), 1177-1183.
- Matsumoto, KI, Ariyoshi, M., Terada, S., Okajo, A., Urata, H., Sakuma, Y., ... y Endo, K. (2006). Período de alimentación de una dieta deficiente en selenio y respuesta de los minerales relacionados con el redox. *Revista de ciencias de la salud*, 52 (6), 694-702. <https://doi.org/10.1248/jhs.52.694>

- Montenegro, M., Carballo, C., Barlocco, N., Mernies, B., Saadoun, A., González Barrios, P., & Llambí, S. (2019). *Caracterización del perfil de ácidos grasos de la carne de cerdos Pampa Rocha (Uruguay) sometidos a dietas con diferente contenido lipídico*.
- Mora Soler, L. (2010). Determinación de compuestos bioquímicos para el control de calidad en la elaboración de jamón cocido y jamón curado [Universitat Politècnica de València]. In *Riunet*. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/7345>
- Oyagié, M. (2007). Estabilidad del color de la carne fresca *. *NACAMEH*, 1(1), 67–74. http://www.geocities.com/nacameh_carnes/index.html
- Pirova, LV, Kosior, LT, Mashkin, YO y Lastovska, IO (2017). Composición química, mineral y de aminoácidos de la carne de cerdo en la aplicación de compuestos de selenio en piensos. *Revista Ucraniana de Ecología*, 7 (2), 223-229.
- Pitts, MW y Hoffmann, PR (2018). Selenoproteínas residentes en el retículo endoplásmico como reguladores de la señalización y la homeostasis del calcio. *Calcio celular*, 70, 76-86.
- Prylipko, T., Gonchar, V., & Kostash, V. (2017). The effect of different selenium sources on productivity and carcass quality of pigs. *Traicon*.
- Purchas, R. W., Rutherford, S. M., Pearce, P. D., Vather, R., & Wilkinson, B. H. P. (2004). Cooking temperature effects on the forms of iron and levels of several other compounds in beef semitendinosus muscle. *Meat Science*, 68(2), 201–207. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.02.018>
- Quisirumbay-Gaibor, Jimmy, & Vílchez-Perales, Carlos. (2019). Meta-análisis: efecto de la suplementación dietaria de selenio en la concentración tisular en cerdos. *Scientia Agropecuaria*, 10(3), 369-375. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.03.07>
- Ramos, A., Cabrera, M. C., Barlocco, N., & Saadoun, A. (2010). Hierro, zinc, cobre, selenio, y manganeso en los musculos Longissimus dorsi y Psoas major frescos y madurado en el cerdo Pampa Rocha y cruza en un sistema en base a pastura. *Agrociencia Uruguay*. <http://agrocienciauruguay.uy/ojs/index.php/agrociencia/article/view/888>
- Rederstorff, M., Krol, A. & Lescure, A. Understanding the importance of selenium and selenoproteins in muscle function. *Cell. Mol. Life Sci.* **63**, 52–59 (2006). <https://doi.org/10.1007/s00018-005-5313-y>
- Reglamento Bromatológico Nacional 315-994 - Chacinados*. (2008). <https://www.impo.com.uy/bases/decretos-reglamento/588-2008/2>
- Santos, S., Vinderola, G., Santos, L., & Araujo, E. (2018). Biodisponibilidad de minerales que lados y no que lados: una revisión sistemática. *Revista chilena de nutrición*, 45(4), 381-392.
- South, P. K., Morris, V. C., Smith, A. D., & Levander, OA (2000). Efecto de la deficiencia de selenio sobre las reservas de hierro en el hígado en ratones. *Investigación sobre nutrición*, 20(7), 1027-1040.
- Roslewska, A., Stanek, M., Janicki, B., Cygan-Szczegieliński, D., Stasiak, K., & Buzala, M. (2016). Effect of sex on the content of elements in meat from wild boars (*Sus scrofa* L.) originating from the Province of Podkarpacie (south-eastern Poland). *Journal of Elementology*, 21(3).
- Saadoun, A., & Cabrera, M. C. (2013). Calidad nutricional de la carne bovina producida en Uruguay. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 21(supl 2), 119-130.
- Schrauzer, G. N. (2000). Selenomethionine: a review of its nutritional significance, metabolism and toxicity. *The Journal of nutrition*, 130(7), 1653-1656.
- South, P. K., Morris, V. C., Smith, A. D., & Levander, OA (2000). Efecto de la deficiencia de selenio sobre las reservas de hierro en el hígado en ratones. *Investigación sobre nutrición*, 20(7), 1027-1040.

- Urdampilleta, A., Martínez, J., & Gonzalez, P. (2010). *Intervención dietético-nutricional en la prevención de la deficiencia de hierro. Nutr.Clin. diet.hosp.*30(3),27-41.
- Urioste, J. ;, Vadell, A., & Barlocco, N. (2002). *El cerdo Pampa Rocha como recurso zoogenético en Uruguay. Aspectos generales. III Simposio Iberoamericano sobre la conservación de los recursos zoogenéticos locales y el desarrollo rural sostenible.*
- Wang, Y. X., Zhan, X. A., Yuan, D., Zhang, X. W., & Wu, R. J. (2011). Effects of selenomethionine and sodium selenite supplementation on meat quality, selenium distribution and antioxidant status in broilers. *Czech Journal of Animal Science*, 56(7), 305-313.
- White, CL y Hoekstra, WG (1979). El metabolismo del selenito y la selenometionina en fibroblastos de ratón cultivados en cultivo de tejidos. *Investigación de oligoelementos biológicos, 1* , 243-257.
- Zhan, X., Wang, M., Zhao, R., Li, W. y Xu, Z. (2007). Efectos de diferentes fuentes de selenio sobre la distribución de selenio, la calidad del lomo y el estado antioxidante en cerdos de engorde. *Ciencia y tecnología de alimentación animal*, 132 (3-4), 202-211.
- Zito E, Ferreiro A. Calcium and Redox Liaison: A Key Role of Selenoprotein N in Skeletal Muscle. *Cells*. 2021 May 6;10(5):1116. doi: 10.3390/cells10051116. PMID: 34066362; PMCID: PMC8148124.