



**Centro de Investigación en Alimentación y
Desarrollo, A.C.**

**DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y CALIDAD DE CARNE EN
CERDOS SUPLEMENTADOS CON METIONINA DE CROMO A
DOS TIEMPOS BAJO ESTRÉS CALÓRICO**

Por:

Eileen Aglahe Corral March

TESIS APROBADA POR LA

COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL

Como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIAS

APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Eileen Aglahe Corral March, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias



Dr. Humberto González Ríos
Director de Tesis



Dra. Etna Aida Peña Ramos
Integrante del comité de tesis



Dr. Martin Valenzuela Melendres
Integrante del comité de tesis



Dr. Miguel Ángel Barrera Silva
Integrante del comité de tesis

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en la tesis “Desempeño Productivo y Calidad de Carne en Cerdos Suplementados con Metionina de Cromo a Dos Tiempos Bajo Estrés Calórico” es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial de la autora Eileen Aglahe Corral March, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita de quien ocupe la titularidad de la Dirección General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del director(a) de tesis.



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN
ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO, A.C.
Coordinación de Programas Académicos



Dr. Pablo Wong González
Director General

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme financiamiento económico durante el periodo de estudio en el posgrado de Maestría en Ciencias.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD, A.C.) por aceptarme en el programa, brindarme la oportunidad de seguir con mis estudios y poder realizar la Maestría en Ciencias mediante el uso de sus instalaciones.

A la Universidad de Sonora (UNISON) por recibirnos en sus instalaciones del Departamento de Agricultura y Ganadería, para llevar el trabajo de campo, ayudando en gran medida al proyecto.

A cada uno de los investigadores que formaron parte de mi comité de tesis, por sus valiosos consejos durante el desarrollo de esta investigación: Dr. Humberto González Ríos, Dra. Etna Aida Peña Ramos, Dr. Martin Valenzuela Melendres y Dr. Miguel Ángel Barrera Silva.

Al Dr. Humberto González Ríos por haberme aceptado como parte de su equipo de trabajo y asesorado durante estos dos años de maestría. Por sus consejos, tiempo y dedicación en mis estudios.

A la M. en C. Libertad Zamorano por su apoyo técnico durante los muestreos y realización de análisis fisicoquímicos.

A la Q. B. Thalia IIsava Lagarda y al MC. Julio Alfonso González Noriega por capacitarme durante el desarrollo de trabajo en el laboratorio. Especialmente, agradezco su paciencia para escuchar y calidez para aconsejar.

A Laura, Lupita, Sofía y Esther por su colaboración en el trabajo de campo. Por último, a Ileana Soto, por su apoyo antes, durante y posterior al término del proyecto de investigación, gracias por tu apoyo y compañía.

DEDICATORIA

A mi hijo, Dante Caleb
esperando lograr transmitirte
que no hay mayor éxito en la vida,
que la plenitud de ser feliz.

CONTENIDO

APROBACIÓN	2
DECLARACIÓN INSTITUCIONAL	3
AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIA	5
CONTENIDO	6
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE CUADROS	9
LISTA DE ECUACIONES	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
1. INTRODUCCIÓN	13
2. ANTECEDENTES	15
2.1. Carne de Cerdo: La Proteína Animal más Consumida en el Mundo.....	15
2.1.1. Porcinocultura: Una Industria en Continuo Desarrollo.....	16
2.1.2. Estrategias Para el Aumento de la Producción Cárnica.....	16
2.1.2.1. Sistema de Producción Intensivo en Cerdos.....	17
2.1.2.2. Manipulación al Sistema de Alimentación.....	17
2.2. Uso de Promotores de Crecimiento para Aumentar la Producción Cárnica.....	19
2.3. Promotores Sintéticos más Comunes en Alimentación de Cerdos.....	21
2.3.1. Antibióticos.....	22
2.3.2. Beta Agonistas Adrenérgicos: Clorhidrato de Ractopamina.....	22
2.4. El Cromo como Alternativa Natural a los Promotores de Crecimiento Sintéticos.....	23
2.4.1. Características Generales del Cromo: Inorgánico y Orgánico.....	24
2.4.2. Actividad Biológica y Metabolismo del Cromo.....	24
2.4.2.1. Factor de tolerancia a la glucosa (FTG).....	24
2.4.2.2. Metabolismo del cromo en macronutrientes: carbohidratos, proteínas y lípidos.....	25
2.5. Metionina de Cromo y su Uso en el Desempeño Productivo de Cerdos.....	26
2.6. Metionina de Cromo y sus Efectos Sobre Características de la Canal y Calidad de la Carne.....	27
2.7. Impacto del Estrés Calórico en la Producción Porcina.....	28
3. HIPÓTESIS	31
4. OBJETIVOS	32
4.1. Objetivo General.....	32
4.1. Objetivos Específicos.....	32
5. MATERIALES Y MÉTODOS	33

CONTENIDO (continuación)

5.1. Adquisición de Met Cr y RAC.....	33
5.2. Prueba de Alimentación y Condiciones Ambientales	33
5.2.1. Animales y Tratamientos Experimentales.....	34
5.3. Evaluación del Desempeño Productivo.....	35
5.4. Calidad de la Canal.....	36
5.4.1. Obtención y selección de Muestras para Análisis de Calidad de la Carne.....	36
5.5. Análisis de la Calidad de la Carne.....	37
5.5.1. Calidad Fisicoquímica.....	37
5.5.1.1 Capacidad de retención de agua (CRA).....	37
5.5.1.2 Parámetros de color.....	37
5.5.1.3. Perdida por cocción y esfuerzo al corte (EC).....	38
5.5.1.4. Valor de pH.....	38
5.5.2. Composición Química.....	39
5.5.2.1 Análisis proximal.....	39
5.5.2.2 Determinación del Perfil de Ácidos Grasos.....	39
5.5.3. Estudio de Estabilidad en Refrigeración a los 0 y 7 días.....	41
5.5.3.1 Porcentaje de metamioglobina (MetMb).....	41
5.5.3.2 Sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS).....	42
5.6. Diseño Experimental y Análisis estadístico.....	42
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
6.1. Desempeño Productivo.....	44
6.2. Calidad de la Canal.....	49
6.3. Calidad de la Carne.....	54
6.3.1. Calidad Química y Fisicoquímica.....	54
6.3.2. Estudio de Estabilidad en Refrigeración a 4 °C.....	63
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
8. BIBLIOGRAFÍA.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Esquema de Temperatura Corporal del Cerdo y Zona Termoneutral.....	30
2	Esquema de Corte del Músculo <i>Longissimus thoracis</i> (LT).....	38

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Principales Características de los Sistemas de Producción Porcina.....	18
2	Principales Promotores del Crecimiento Utilizados como Estimulantes del Desarrollo Corporal y Reproductivo de los Animales en las Últimas Décadas del Siglo XX.....	20
3	Valores Máximos, Mínimos y Promedio de la Temperatura Ambiental, Humedad Relativa e Índice de Temperatura-Humedad (ITH), Durante el Periodo Experimental.....	34
4	Ingredientes y Análisis Nutricional de la Dieta Basal por Etapa Productiva de los Cerdos Suplementados.....	34
5	Desempeño Productivo de Cerdos Suplementados con Metionina de Cromo o Ractopamina en dos Periodos de Engorda en Corral Bajo Estrés Calórico.....	45
6	Características de la Canal de Cerdos Suplementados con Metionina de Cromo o Ractopamina en dos Periodos de Engorda en Corral Bajo Estrés Calórico	50
7	Calidad Fisicoquímica y Composición Proximal de la Carne de Cerdos Suplementados con Metionina de Cromo o Ractopamina en dos Periodos de Engorda en Corral Bajo Estrés Calórico	55
8	Valores de Ácidos Grasos Detectados (%) en la Grasa Intramuscular del Músculo <i>Longissimus Thoracis</i> de Cerdos Suplementados con Metionina de Cromo o Ractopamina Bajo Estrés Calórico	59
9	Sumatorias de los Ácidos Grasos y sus Relaciones Nutricionales de la Grasa Intramuscular del Músculo <i>Longissimus Thoracis</i> para cada Tratamiento Experimental.....	61
10	Parámetros de Color, Oxidación Lipídica y Proteica de la Carne de Cerdos Suplementados con Metionina de Cromo Durante Su Almacenamiento Almacenamiento en Refrigeración a 4 °C.....	63

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación		Página
1	Fórmula para calcular índice de temperatura y humedad (ITH).....	33
2	Fórmula para calcular la Ganancia diaria de peso (GDP).....	35
3	Fórmula para calcular el Consumo diario de alimento (CDA).....	35
4	Fórmula para calcular la Conversión alimenticia (CA).....	36
5	Fórmula para calcular el % de Metamioglobina (MetMb).....	42

RESUMEN

Actualmente en la producción porcina se estudia el reemplazo de promotores de crecimiento sintéticos por compuestos orgánicos, como la metionina de cromo (Met Cr). Sin embargo, hay escasa información de la suplementación de Met Cr durante etapas de crecimiento-finalización de cerdos bajo condiciones de estrés calórico. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la suplementación dietaria de Met Cr sobre el desempeño productivo, calidad de la canal y carne de cerdos. Catorce cerdos por grupo (Duroc x Yorkshire; 43 ± 3 kg de peso vivo) fueron alojados individualmente y asignados aleatoriamente a uno de cuatro tratamientos: Testigo (TES), dieta basal (DB); Cr-L, DB+ 0.4 mg de Met Cr por 81 d previos al sacrificio; Cr-C, DB+ 0.4 mg de Met Cr 34 días previos a sacrificio y RAC, DB+10 ppm de clorhidrato de ractopamina por 34 d. La prueba se realizó en época de verano y se evaluó el desempeño productivo, posteriormente se evaluó la calidad de la canal, y la calidad de la carne en el músculo Longissimus thoracis (LT). En la prueba de alimentación, los cerdos con Cr-C tuvieron una ganancia diaria de peso (GDP) similar al TES y RAC ($P>0.05$). RAC ocasionó un incremento del 8% en el peso final, y 13% GDP en el total de la prueba, y un 19% en GDP en los últimos 34 días de prueba respecto al TES ($P<0.05$). Las canales de los animales suplementados con RAC fueron más pesadas y con mejor rendimiento que las del grupo TES ($P<0.05$), pero similares a Cr-C y Cr-L ($P>0.05$). En la carne, el perfil de ácidos grasos fue modificado por efecto de RAC, al incrementar el contenido de ácido grasos poliinsaturados (principalmente C20:4 ω 6), Σ n-6, las relaciones AGP/AGS y n-6 / n-3, respecto a Cr-C ($P<0.05$). El estudio de estabilidad en refrigeración a 4 °C reveló que los parámetros de color de la carne, la oxidación lipídica y la formación de metamioglobina se vieron afectados sólo por el tiempo de almacenamiento ($P<0.05$). Se concluye que la suplementación dietaria de 0.4 mg/kg de metionina de cromo durante un periodo corto previo al sacrificio, puede mejorar el desempeño productivo de los animales de manera similar a RAC, lo cual puede representar una alternativa atractiva para la producción porcina en regiones áridas en condiciones de estrés calórico, sin comprometer la calidad de la carne.

Palabras clave: Cromo orgánico, estrés calórico, producción porcina, desempeño productivo.

ABSTRACT

Currently, in pork production, the substitution of synthetic growth promoters for organic compounds, such as chromium methionine (CrMet), is being studied. However, there is scarce information about dietary CrMet supplementation for growth and finishing stages pigs under heat stress conditions. The aim of study was to evaluate the effect of CrMet dietary supplementation on growth performance, carcass, and meat quality of pigs. Fourteen pigs per group (Duroc x Yorkshire; 43±3kg initial weight) were housed individually and randomly assigned into four treatments: Control group (C), fed with basal diet (BD); Cr-L, BD+ 0.4 mg CrMet for 81 days before slaughter; Cr-C, BD + 0.4 mg de CrMet for 34 d before slaughter; and RAC, BD +10 ppm ractopamine hydrochloride for 34 d. The feeding trial was done in summer season and growth performance was evaluated, later carcass quality and meat quality on *Longissimus thoracis* muscle (LT) were evaluated. In feedlot performance, pigs with Cr-C had a similar average daily gain (ADG) to C and RAC. RAC increased 8% the final weight, and 13% the average daily gain (ADG) of the total feeding period, with a 19% the ADG increase in the last 34 days of trial respect to C (P<0.05). Carcasses from animals supplemented with RAC were heavier and had better yield than C group (P<0.05); but however, were similar to Cr-C and Cr-L (P>0.05). In meat samples, the fatty acid profile was modified by RAC, increased the content of polyunsaturated fatty acids (mostly C20:4ω6), Σ n-6, PFA/SFA and n-6/ n-3 ratios, respect to Cr-C (P<0.05). The refrigeration stability study at 4 °C, revealed that meat color parameters, lipid oxidation and metmyoglobin formation were affected only by storage time (P<0.05). In conclusion, dietary supplementation of 0.4 mg/kg of CrMet during a short period previous to slaughter, can improve the productive performance of pigs similar way RAC, which may represent an attractive alternative for pig production in arid regions under heat stress conditions, without compromising meat quality.

Keywords: Organic Chromium, heat stress, pig production, productive performance.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la tendencia de alimentación mundial se ha orientado hacia una alimentación más holística, ocasionando una compactación del mercado, acompañada de la búsqueda ininterrumpida de alternativas naturales o bien alimentos funcionales. Esta tendencia ha provocado la innovación de la industria integrando alternativas para cumplir con las demandas del mercado, estimulando a la cadena de valor del sector alimentario, particularmente al eslabón productivo. Para el caso de la industria cárnica se ha fomentado el aprovechamiento de las especies productivas, con énfasis especial en porcinos al ser considerado como la proteína animal más consumida en el mundo (FAO, 2020).

De manera específica, la carne de cerdo es considerada como fuente de proteínas de primera clase al contener aminoácidos esenciales, menor porcentaje de ácidos grasos saturados comparado con otras especies animales, entre otras ventajas nutricionales y su bajo costo. La producción total de carne alcanzó los 337.3 Mt, para poder suplir la demanda de alimentos como respuesta al crecimiento poblacional. Se prevé que para el 2026 la producción mundial de carne de cerdo se incremente un 13%, considerando a México como uno de los seis principales exportadores de carne porcina apoyando a contrarrestar el gran déficit mundial de carne de cerdo (OCDE-FAO, 2021).

La porcicultura se encuentra en constante desarrollo y mejora a fin de satisfacer la demanda mundial de carne. Lo anterior, gracias a la implementación de diversas estrategias para obtener el máximo rendimiento desde la producción primaria, como el uso de tecnologías reproductivas, mejoramiento genético, manejo sanitario y sistemas de alimentación intensiva (Gasa *et al.*, 2016; Agostini *et al.*, 2015). Respecto a esto último, diversos autores mencionan la importancia de suplementar la dieta animal a través de la incorporación de distintos ingredientes para estimular el desarrollo y crecimiento animal, así como reducir los costos de producción (Valverde 2020). Adicionalmente, dentro del sistema de alimentación se usan diversos compuestos promotores de crecimiento, que provocan un efecto positivo sobre la disminución del tiempo de producción porcina y mejora de la conversión alimenticia (Fu *et al.*, 2021).

Los promotores de crecimiento (PC) pueden clasificarse en naturales y sintéticos, y dentro de estos últimos, en producción intensiva de cerdos, en la última etapa de engorda, se utilizan los compuestos β -agonistas adrenérgicos como el clorhidrato de ractopamina (Mendoza *et al.*, 2018).

Sin embargo, a pesar de los efectos benéficos para mejorar el desempeño productivo, se ha comprobado que la residualidad de estos compuestos en el músculo pueden repercutir de forma negativa en la salud del consumidor, por lo que algunos países han prohibido su uso en la producción intensiva de carne (Parr *et al.*, 2016).

Para evitar tal efecto, en los últimos años se ha propuesto el reemplazo de los PC de tipo sintético por distintos compuestos de origen natural, como es el caso de la Metionina de Cromo (Met Cr), en su presentación orgánica. De manera general, la Met Cr posee propiedades bioactivas como prebiótica, transportadora y mejoradora de la biodisponibilidad del cromo (Cr), mineral involucrado en el metabolismo de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos (Zima *et al.*, 1998). Además, es un componente activo en la estructura molecular del factor de tolerancia a la glucosa (FTG) que potencializa la acción de la insulina y favorece el desempeño productivo del animal al estimular el metabolismo de los carbohidratos (NRC, 2012; González *et al.*, 2018).

Distintas fuentes orgánicas de cromo (tripicolinato de cromo, nicotinato de cromo y el propionato de cromo) han sido utilizadas como PC en los animales de abasto cuya información generada es variable e inconsistente (Matthews *et al.*, 2001). Más recientemente, se ha evaluado el efecto de la suplementación de Met Cr sobre el desempeño productivo y características de la canal de cerdos, con resultados prometedores (Chica *et al.*, 2012; Domínguez *et al.*, 2009). Sin embargo, los estudios durante las etapas de crecimiento-finalización de cerdos bajo condiciones de estrés calórico son escasos. Por ende, el objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto de dos periodos de suplementación de Met Cr (desde la etapa de crecimiento hasta la finalización, y sólo en la finalización), sobre el desempeño productivo, calidad de la canal y la carne de cerdos en engorda intensiva en condiciones de estrés calórico.

2. ANTECEDENTES

2.1. Carne de Cerdo: la Proteína Animal más Consumida en el Mundo.

Pese a las restricciones culturales, religiosas y económicas de algunos países, la carne de cerdo se posiciona como la más consumida a nivel mundial, al ser una gran competencia para la producción avícola y bovina. El consumo de carne de cerdo representa el 4.1% del gasto alimentario de la canasta de bienes (OCDE, 2017), además tiene potencial de crecimiento por su percepción de calidad y desempeño favorable de sus precios, en comparativa con la proteína de ave y res.

A nivel global los principales productores de proteína animal cárnica son Asia, Europa y Norteamérica. Sin embargo, la mayor parte del inventario porcino en pie se encuentra en países como China, Estados Unidos y Brasil. El volumen de producción anual mundial de cerdo en el año 2020 fluctuó en 109.2 Mt, con un consumo per cápita de alrededor de 16 kg/año en países en desarrollo y de 40 kg/año para países desarrollados (Ritchie-Roser, 2020). Además, los grandes productores de carne actuaron también como principales exportadores. En el caso de México, pese a tener una producción más reservada ocupó el octavo lugar como exportador, en el 2020 las expansiones de producción fueron moderadas por la contingencia SARS-CoV-2 y COVID-19 (OCDE-FAO 2021). Sin embargo, México ayudó en gran medida a la compensación del déficit de carne por la disminución en producción en otros lugares como China, Filipinas y Vietnam producidas por problemas sanitarios como PPA (peste porcina africana) (FIRA, 2020), lo que provocó un incremento en las exportaciones de carne de cerdo y un aumento en la exportación por segundo año consecutivo.

El comercio mundial total de carne de cerdo alcanzó los 11.9 Mt en 2020, un aumento del 24.5% interanual, propiciado por importaciones a China. Además, muchas plantas procesadoras de carne en México obtuvieron licencias de exportación para ese país (FAO, 2021). Sumado a inversiones en nuevas granjas, la mejora de la bioseguridad y la genética, la ayuda de inversiones gubernamentales y la sólida demanda extranjera estuvieron detrás de la expansión del comercio mundial (OCDE, 2017).

2.1.1. Porcinocultura: Una Industria en Continuo Desarrollo

La porcinocultura es considerada una industria de alta demanda y estabilidad económica y de crecimiento constante, predomina en países desarrollados y la incorporación de nuevos países cada vez es más común, la cual la coloca en el segundo lugar de la producción total de carne en el mundo (Ritchie-Roser, 2020). Se considera como una de las áreas ganaderas más dinámicas, en México se generan más de 1.5 Mt, los estados con mayor presencia son: Jalisco, Sonora y Puebla con un 48 por ciento de la producción total (SADER, 2015).

Gracias a su constante crecimiento, se estima que para el año 2029 el crecimiento en el consumo de carne de cerdo aumente en un 12% (OECD-FAO, 2021). Además, se aspira a que se mantenga como uno de los negocios más rentables, debido a su estabilidad y crecimiento a futuro, muestra de ello es que en el 2020 las exportaciones alcanzaron los 744 mdd (millones de dólares) (FIRA, 2020). Con respecto a sustentabilidad, se pronostica un estancamiento de la producción vinculado a las limitaciones de espacio, la aplicación de estrategias, ayudaran a contrarrestar esta problemática y así lograr la eficiencia productiva.

2.1.2. Estrategias para el aumento de la Producción Cárnica

En la producción porcina, la eficiencia productiva se considera como la mayor cantidad de kilos de carne producidos, en la menor cantidad de tiempo y a menor costo de inversión (Brunori-Juárez, 2013). A fin de lograr esta eficiencia productiva, distintas estrategias son implementadas para poder incrementar la producción porcina y así satisfacer las demandas crecientes por este tipo de carne (Gasa *et al.*, 2016). El porcinocultor satisface las demandas del mercado y espera obtener la maximización del beneficio económico. En este entendido, dentro de las estrategias principales para aumentar la producción cárnica se implementan diversas tecnologías reproductivas y de manejo, mejoramiento genético, programas sanitarios y sistemas de alimentación intensiva, etc. (Agostini *et al.*, 2015).

2.1.2.1. Sistema de Producción Intensivo en Cerdos. El sistema productivo de los cerdos se define, principalmente, por el grado de tecnología utilizado, por el grado de concentración de la población y producción, la alta productividad biológica y económica con un bajo aporte simultáneo de mano de obra, alimento y espacio por animal (Maes *et al.*, 2019; Marin *et al.*, 2016). Estos pueden ser extensivo, semi-intensivo e intensivo. En los últimos años la producción porcina se ha incrementado al utilizar el sistema de producción intensiva, esto debido a las ventajas que presenta comparado con los sistemas extensivo y semi-intensivo, tal como se describe en el Cuadro 1.

Los sistemas intensificados implementan programas de bioseguridad, manejo, reproducción, alimentación, salud, higiene, etc. Es importante mencionar que los cerdos son considerados una especie sensible a enfermedades, por ende, es sumamente importante cuidar su salud, al crear ambientes higiénicos, protegiéndolos contra enfermedades. Uno de los métodos preventivos más efectivo y menos costoso es implementar una nutrición adecuada, en comparativa con protocolos correctivos que se vuelven sumamente costosos en caso de presentarse alguna enfermedad (Herrera, 2019).

2.1.2.2. Manipulación al Sistema de Alimentación. En los animales domésticos la manipulación del sistema de alimentación se enfoca a proporcionar la cantidad de nutrientes adecuados por especie, al asegurar el estado óptimo de los animales (Fuentes, 2020). Es importante la valoración de las necesidades de los animales, el contenido de nutrientes de los alimentos, además de diseñar dietas para ser suministradas diariamente. La nutrición y la alimentación trabajan en conjunto para satisfacer los procesos para el desarrollo y mantenimiento de las estructuras corporales y la regulación de procesos metabólicos. Productivamente, la alimentación constituye entre el 60-70% de los gastos totales de la explotación (Núñez, 2017). La energía y las proteínas son los nutrientes más caros de proporcionar en la alimentación animal, optimizar la utilización de ingredientes en la dieta es clave para una producción animal sostenible y rentable (Steiner-Syed, 2015).

Cuadro 1. Principales Características de los Sistemas de Producción Porcina

	Extensivo	Semi-Intensivo	Intensivo
Superficie de campo	Requerimiento de mucha superficie de campo – baja densidad	Limitada superficie de campo – mayor densidad por hato	Totalmente estabulado con alta densidad por hato. Poco requerimiento de terreno
Tipo de cerdo	Rústico, cruza de criollos con animales de color	Razas mejoradas – línea blanca por animales de color	Razas puras o cruza o híbridos, genéticamente mejorados.
Edad de venta con 105Kg vivo	8 a 10 meses	6 a 8 meses	4 a 6 meses
Manejo	Sueltos a campo	Parte a campo y parte estabulados	Totalmente confinados clasificados por categorías
Uso de agua	Muy poco – solo agua de consumo	Relativamente poco	Mucha cantidad
Alimento	El animal tiene acceso a pastura, frutas, insectos, granos y alimentos balanceados	Alimentación diversa. Uso de subproductos agroindustriales y desperdicios alimenticios	Control nutricional de la alimentación. Dietas balanceadas, eficientes.
Sanidad	Poca aplicación o estratégica	Vacunaciones opcionales y medicaciones eventuales	Programa sanitario estricto

Fuente: Adaptado de Acosta-Sosa, 2018.

Bajo un esquema de alimentación intensiva, se cuida estrictamente cubrir los requerimientos nutricionales de los animales ya establecidos para cada etapa productiva. Esto se logra al modificar los porcentajes de uso y tipo de ingredientes que conforman la ración alimenticia. Además, la estrategia alimenticia se complementa con el uso de sustancias que mejoran la eficiencia y la rentabilidad de los sistemas productivos, como son los aditivos. Estos últimos son sustancias sintéticas o naturales, que se adicionan a las dietas y que influyen positivamente en el desempeño productivo de los animales o bien en sus productos finales (Ortiz *et al.*, 2015).

Los aditivos son usados rutinariamente en la alimentación animal con tres fines fundamentales: mejorar el sabor, prevenir ciertas enfermedades, y aumentar la eficiencia de producción. Pueden ser digestivos, equilibradores y mejoradores del desempeño productivo (Labala, 2013). Dentro del grupo de los aditivos se encuentran los promotores del crecimiento, los cuales se caracterizan por proporcionar un rápido y eficiente crecimiento, mejorar el rendimiento de la canal, área del ojo de la costilla y disminuir el contenido de grasa en la canal (Hong *et al.*, 2012). A raíz de su importancia zootécnica, en la presente investigación se pretende enfatizar su uso, estudio, beneficios e importancia aplicados a la especie porcina.

2.2. Uso de Promotores de Crecimiento para Aumentar la Producción Cárnica.

Un promotor de crecimiento se define como toda sustancia capaz de aumentar la velocidad de crecimiento, mejorar la conversión alimenticia, disminuir el consumo de alimento o disminuir la mortalidad y morbilidad en animales de producción (Sumano y Ocampo, 2006). Algunas de las características generales de los promotores de crecimiento son el aumento de la masa muscular, disminución en la deposición de grasa, junto con la redirección de la energía de la grasa corporal hacia al crecimiento muscular. Además de afectar el recambio de proteínas para aumentar la acumulación de proteínas, también tienen efectos sobre el metabolismo energético (Parr *et al.*, 2016).

Algunos promotores de crecimiento son capaces de controlar la población microbiana del intestino al ayudar a que no se gaste energía y proteínas por parte de microorganismos no deseados (Puls *et al.*, 2019). Además, se han utilizado promotores sintéticos como modificadores del metabolismo para que el animal consuma menos cantidad de alimento y su aprovechamiento sea mayor, estos compuestos pueden promover la síntesis de proteínas y dar como resultado una mayor producción de músculo (Dunshea *et al.*, 2005).

A través de la historia, múltiples promotores de crecimiento han sido utilizados en la producción animal. En el Cuadro 2, se integran los principales promotores del crecimiento utilizados como estimulantes del desarrollo corporal y reproductivo de los animales en las últimas décadas del siglo XX (Estévez-Sánchez, 2016). Los beneficios y rentabilidad atribuidos a cada una de las alternativas

existentes son amplios y muy variables debido a que actúan de modos totalmente diferentes, sobre aspectos, funciones y moléculas muy distintas.

Dentro de los grupos considerados como promotores de crecimiento de mayor relevancia encontramos a los antibióticos y anabólicos, en primer lugar los antibióticos son utilizados en dosis subterapéuticas, su efecto promotor del crecimiento asociado a estas sustancias es consecuente a su acción antimicrobiana (Rosas, 2014); hecho que contribuye a la prevención de procesos patológicos y favorece el establecimiento de un microambiente entérico apropiado para el desarrollo y colonización por ciertos microorganismos beneficiosos, lo cual se va a reflejar en una mejora de la capacidad digestiva de los alimentos, una mayor absorción entérica de nutrientes y, por tanto, una mayor disponibilidad de éstos para las distintas funciones orgánicas (Phillips *et al.*, 2004). Por otro lado, los anabólicos son esteroides sintéticos de testosterona (la hormona sexual masculina) que promueven el crecimiento muscular en humanos y animales (NIDA, 2012).

Pese a las características promotoras de crecimiento de los anabólicos y antibióticos, ciertos países han restringido su uso, dando inicio a una polémica internacional debido a que las hormonas y antibióticos sintéticos, dejan en general residuos en el músculo (Broderick, *et al.*, 2021). La prohibición del uso de antibióticos se basa, esencialmente, en la peligrosidad de estas sustancias

Cuadro 2. Principales Promotores del Crecimiento Utilizados como Estimulantes del Desarrollo Corporal y Reproductivo de los Animales en las Últimas Décadas del Siglo XX

<p>A) Modificadores metabólicos o productos farmacológicos “promotores tradicionales”</p>	<p>a) Agentes β-agonistas. b) Hormonas. a. Hormona del crecimiento y péptidos afines. b. Hormonas sexuales. c. Otras sustancias de naturaleza hormonal. c) Agentes tireostáticos o antitiroideos. d) Antibióticos en dosis subterapéuticas. e) Otros agentes o sustancias activas de naturaleza farmacológica. f) Cócteles farmacológicos (diferentes mezclas de sustancias farmacológicas).</p>
<p>B) Modificadores inmunológicos</p>	<p>g) Inmunización contra las membranas de las células grasas. h) Inmunización contra factores hipotalámicos liberadores de gonadotropinas. i) Materias primas ricas en inmunoglobulinas.</p>

C) Modificadores digestivos o sustancias de origen natural	j) Ácidos orgánicos. k) Prebióticos. l) Probióticos. m) Enzimas. n) Extractos fitogénicos. o) Nutraceuticos (macrominerales, vitaminas, oligosacáridos, aminoácidos, etc.). p) Otras sustancias naturales.
D) Otros	q) Hepatoprotectores. r) Sustancias tampón. s) Emulsionantes. t) Donantes del grupo metil. u) Anticatalasas.
E) Técnicas de higiene y manejo	v) Pautas de higiene en la explotación y de bienestar animal. w) Modificación del fotoperiodo. x) Técnicas de mejora reproductiva.
F) Otras técnicas	y) Castración.

Cuadro adaptado de (Estévez-Sánchez, 2016).

por su capacidad para crear resistencias cruzadas con otros antibióticos utilizados en medicina humana, además de la tendencia generalizada por el mercado al rechazo de todo lo que no sea "natural". Por otro lado, la ingesta de anabólicos afecta el estado mental de sus consumidores, al causar dependencia y adicción a dichas sustancias químicas (Ardoino *et al.*, 2018). La búsqueda de alternativas pretende cumplir con dos principios: ser eficaces (ejercer un efecto positivo sobre la producción animal) y seguras (ausencia de riesgo para la salud humana, la salud animal y el medio ambiente).

2.3. Promotores Sintéticos más Comunes en Alimentación de Cerdos

La industria porcina se ha visto afectada debido a la alta demanda, por ello, se han tenido que sacrificar algunas características de calidad para poder disminuir los costos y obtener el criterio de calidad más importante, el rendimiento magro de la canal (Zenteno *et al.*, 2019). Al buscar una

mejor eficiencia alimenticia debido al elevado costo del sistema intensivo, se han tenido que buscar alternativas alimenticias y el uso de diversos compuestos con acción promotora del crecimiento. Estos últimos, incrementan la eficiencia en la utilización del alimento y promueve el aumento de tejido muscular sobre el tejido adiposo (Herrera, 2019).

2.3.1. Antibióticos

Algunos antibióticos fueron utilizados como aditivos para reducir las bacterias intestinales y mejorar la disponibilidad de nutrientes para el animal (Parr *et al.*, 2016), a estos compuestos se les conoce como antibióticos promotores de crecimiento (APC).

Sin embargo, el uso indiscriminado de estos, especialmente en la industria avícola y porcícola, se planteó como un probable riesgo la transferencia de resistencia a los antibióticos entre bacterias que pueden afectar al consumidor (Figuroa *et al.*, 2016). El efecto promotor de crecimiento de los antibióticos no está bien definido, sin embargo, se tiene la teoría de que estos tienen efecto de modulación sobre la microbiota intestinal, la cual juega un papel importante en la salud del animal (Redondo *et al.*, 2014).

2.3.2. Beta Agonistas Adrenérgicos: Clorhidrato de Ractopamina

Debido a las limitantes en el uso de APC, el uso de β -agonistas Adrenérgicos (β -AA) aumentó. Estos β -AA de origen sintético, pueden incrementar la masa del músculo esquelético y contenido de proteína al provocar hipertrofia y reducir la deposición de grasa (Avendaño *et al.*, 2006).

El β -AA más utilizado en producción porcina es Clorhidrato de ractopamina (RAC), el cual presenta como efecto principal la reducción de grasa subcutánea e intramuscular, aunque aún es controvertido si su mecanismo de acción es por lipogénesis o estimulación en la lipólisis (Pinto *et al.*, 2019). En cerdos, se ha determinado que el sitio de acción de RAC es en la membrana celular de los miocitos y adipositos, donde se encuentran los receptores adrenérgicos β 1-A, los cuales

desencadenan diferentes cascadas metabólicas hasta provocar hipertrofia de las células musculares (Burnett *et al.*, 2016). Debido a que también se ha evidenciado que los β -AA afectan negativamente algunas características de calidad de la carne, aunado al rechazo de los consumidores, la industria cárnica se ha dado a la tarea de buscar nuevas alternativas de promotores de crecimiento de origen natural (González *et al.*, 2019).

2.4. El Cromo como Alternativa Natural a los Promotores de Crecimiento Sintéticos

El cromo es un mineral traza considerado como un nutrimento indispensable, debido a que se requiere para el funcionamiento normal del metabolismo de carbohidratos, proteínas, lípidos y ácidos nucleicos, también se sabe que el cromo es parcialmente responsable de la regulación del colesterol en sangre (Ohh-Lee, 2005). Sin embargo, los mecanismos exactos mediante los cuales ejerce su acción no se han definido claramente (Grijalva *et al.*, 2001). Las formas estables de cromo son trivalente (+3) y hexavalente (+6), y casi todas las fuentes de cromo en la superficie terrestre se encuentran en la forma (+3) que es la biológicamente activa; la forma (+6) es generalmente resultado de la contaminación industrial, considerándose la forma tóxica (Armendariz *et al.*, 2007). La deficiencia de cromo provoca un deterioro de la tolerancia a la glucosa, incluso también pueden aparecer síntomas parecidos a los ocasionados por la diabetes y enfermedades cardiovasculares (Alvarado *et al.*, 2002).

Su biodisponibilidad depende de la ingesta dietaría debido a que no es producido por el organismo, la absorción se da especialmente en el yeyuno y pese a que el mecanismo de absorción no se conoce con precisión, se cree que es por difusión o por una proteína transportadora. Sin embargo, se ha descubierto que aminoácidos como la metionina y la histidina, así como la vitamina C, favorecen su absorción, en caso contrario tanto los fitatos, como los antiácidos la inhiben. Posterior a la absorción, es distribuido y almacenado en varios tejidos con mayor concentración en riñones, músculo e hígado (García-Garns, 2004).

2.4.1 Características Generales del Cromo: Inorgánico y Orgánico

El cromo puede obtenerse a través de alimentos, suplementos alimenticios y multivitamínicos. Sin embargo, las fuentes orgánicas de cromo son más biodisponibles que las inorgánicas, esto se relaciona a que no forman complejos, no interactúan con otros minerales en la digestión y permanecen solubles. Dentro de las formas inorgánicas de cromo encontramos sales como: el cloruro de cromo (CrCl_3) y el óxido de cromo (Cr_2O_3) que son pobremente absorbidas, con una tasa de absorción promedio de 0.5 a 3%. Las formas orgánicas de cromo más utilizadas, como el picolinato de cromo (Pic-Cr), nicotinato de cromo (Nic-Cr), citrato de cromo (Cit-Cr), pidolato de cromo (Pid-Cr), niacina de cromo (Niac-Cr), y Met Cr son mayormente asimilados por el organismo, obteniéndose una tasa de absorción entre el 10 y 25% (Chica *et al.*, 2012).

La suplementación de cromo orgánico en dietas para animales productivos puede mejorar el consumo de alimento, la ganancia de peso, el rendimiento magro y reducir el contenido de grasa en la canal, la infiltración de grasa del musculo, además reducir el estrés y mejorar la fertilidad en cerdas (Domínguez *et al.*, 2009 y Hernández *et al.*, 2007).

2.4.2. Actividad Biológica y Metabolismo del Cromo

El cromo forma parte de la molécula del factor de tolerancia a la glucosa (FTG) responsable de la sensibilidad de los tejidos a la insulina. Por tanto, facilita la absorción y la utilización de la glucosa a nivel celular. La importancia del cromo radica en la utilización de la glucosa y su impacto consecuente sobre la utilización de los azúcares de la dieta, sobre todo en animales de rápido crecimiento o aquellos que se encuentran bajo estrés fisiológico y físico (Usnayo, 2015).

2.4.2.1. Factor de Tolerancia a la Glucosa (FTG). La función bioquímica específica del cromo aún no está bien definida. Sin embargo, está muy estrechamente asociada con la acción de la insulina y la utilización de la glucosa. La forma biológicamente activa del cromo, usualmente se ha referido

como el FTG y ha sido propuesto como un complejo de cromo, glicina, cisteína, ácido glutámico y ácido nicotínico (Chávez, 2010).

El cromo incrementa la unión de la insulina a las células debido al aumento del número de receptores de insulina (RI). El RI, presente en prácticamente todas las células, está compuesto por dos subunidades α extracelulares, que contienen el sitio de unión de la insulina; y dos subunidades β transmembrana. Una vez que la insulina se une a la subunidad α se produce una fosforilación específica de la subunidad β a través de una cascada de reacciones de fosforilaciones intermoleculares. La enzima parcialmente responsable de la fosforilación, que conduce a un aumento de la sensibilidad a la insulina, es la tirosina cinasa del RI, que se activa por el Cr. El cromo también inhibe la fosfotirosina fosfatasa (PTP-1), un homólogo de la tirosina fosfatasa (PTP-1 8) de la rata, que inactiva el RI. Esta combinación de activación de la cinasa e inhibición de la tirosina fosfatasa, por el Cr, intensifica la fosforilación del RI, que se asocia con un aumento de la sensibilidad a la insulina (Lukaski, 2000).

2.4.2.2. Metabolismo del Cromo en Macronutrientes: Carbohidratos, Proteínas y Lípidos. Las funciones que incluyen el metabolismo de los carbohidratos, proteínas y los lípidos también se atribuyen al cromo, pero en menor grado. Su participación en el metabolismo de los carbohidratos está más específicamente relacionada con la estimulación de la captación de glucosa a través de un activador de receptores de membrana conocido como cromodulina en las células diana (Sun *et al.*, 2000). Cabe aclarar que el FTG no es un sustituto a la insulina, al contrario solo es un potencializador. Bajo condiciones de deficiencia de Cr, los tejidos periféricos pierden sensibilidad a la insulina. Además, el FTG reduce la insulina en sangre, lo que se traduce a una disminución sobre la unión de la insulina en el hígado, esto implica que puede reducir el depósito de glucosa en el hígado y aumentar su uso en otros tejidos (Zima *et al.*, 1998).

A nivel proteico estimula la captación de aminoácidos por las células para la síntesis proteica, una vez que está directamente asociado con la actividad de la insulina. Existen, además, algunas evidencias sobre la función del cromo sobre el metabolismo lipídico, que parecen estar relacionadas con el aumento de la concentración de lipoproteínas de alta densidad (HDL) y con la reducción del colesterol total y las lipoproteínas de baja densidad (LDL, VLDL) mediante el aumento sobre la actividad de la enzima lipasa de las lipoproteínas en individuos con dislipidemia (Gomes *et al.*,

2005). La disminución de la concentración plasmática de colesterol inducida por cromo se relaciona con el hecho de que este mineral promueve la inhibición de la enzima hepática hidroximetilglutaril-CoA reductasa, al provocar un efecto hipolipemiante (Lukaski, 2000).

Aunque los mecanismos de acción del cromo aún no se han demostrado bioquímicamente, los signos de su deficiencia marginal en roedores incluyen disminución de la tolerancia a la glucosa y aumento de las concentraciones plasmáticas de insulina, colesterol y triacilglicerol. Esto demuestra que el Cr, además de estar asociado al metabolismo de los carbohidratos, también influye simultáneamente en el metabolismo de proteínas y lípidos, por ende, la importancia de la suplementación adecuada (Gomes *et al.*, 2005).

2.5. Metionina de Cromo y su Uso en el Desempeño Productivo de Cerdos

En los últimos años se han estudiado los efectos de la Met Cr para su uso potencial como aditivos alimentarios en la producción animal de distintas especies, probándose que el cromo aumenta el músculo magro y tiende a disminuir la grasa dorsal en el cerdo. Sin embargo, los resultados sobre la suplementación de Met Cr son variados debido a otros factores extrínsecos tales como inicio y nivel de suplementación. Además, los estudios en cerdos son escasos desconociéndose la dosis efectiva en distintas etapas productivas, así mismo su función en el metabolismo aún no está dilucidada (Valente *et al.*, 2021).

Pese a lo anterior, se ha demostrado que el quelato de Met Cr podría atravesar directamente la membrana celular intestinal y ser metabolizado sin ninguna digestión previa por estar quelado con aminoácidos. Con base en las razones anteriores, la biodisponibilidad de Met Cr puede ser más alta que la de otros compuestos orgánicos de cromo, además tiene el potencial de inducir un efecto positivo en la utilización de nutrientes en animales relativamente bien alimentados sin ningún efecto adverso sobre el crecimiento (Ohh-Lee, 2005).

Estudios previos en cerdos han demostrado que la suplementación con diversas dosis de Met Cr de entre los 0.3 a 0.9 mg de Met Cr/ kg de alimento mejora significativamente la ganancia diaria de peso, la ingesta diaria de alimento y la relación de conversión alimenticia entre un 20, 7 y 9 % respectivamente, con respecto al grupo control (Li *et al.*, 2013, Jin *et al.*, 2018, Gonzalez *et al.*,

2018, Almeida *et al.*, 2010 y Tian *et al.*, 2015).

En un estudio realizado por González *et al.* (2018) administraron 0.8m mg/kg Met Cr en diferentes etapas de desarrollo (60 a 100 kg y 80 a 100 kg), donde los cerdos suplementados con Met Cr consumieron menos alimento ($P<0.05$), crecieron más rápido ($P<0.05$) y fueron más pesados ($P\leq 0.05$) y eficientes ($P<0.05$) que los cerdos del grupo testigo, pero el efecto beneficioso fue más pronunciado cuando los animales se suplementaron a pesos más ligeros. En general, los datos de desempeño productivo sugieren que la Met Cr actúa como un mejorador del crecimiento, de forma similar como lo hacen otras fuentes de cromo (Zhang *et al.*, 2011).

2.6. Metionina de Cromo y sus Efectos sobre Características de la Canal y Calidad de la Carne

El enfoque sobre la calidad de la carne en la industria porcina cada vez es mayor, donde los hallazgos en la canal y en el músculo *Longissimus thoracis* (LT) son los que se expresan con mayor frecuencia. En los últimos años la suplementación de cromo se ha empleado para manipular la calidad de la carne debido a su función biológica sobre la reducción de la tasa de deposición grasa corporal en cerdos y el metabolismo muscular al aumentar la tasa de retención (Jackson *et al.*, 2009; Page *et al.*, 1993). Pese a lo anterior, se ha detectado escasos de datos publicados sobre sus efectos potenciales sobre la calidad de la carne, por lo que se requiere continuar con las investigaciones.

En un estudio realizado por Ohh *et al.* (2005), Donde los cerdos fueron suplementados con 200 ppb de Met Cr en la dieta durante las etapas de crecimiento y finalización, se encontró una reducción notable del espesor de grasa dorsal y un mayor porcentaje de músculo magro, y esto fue relacionado a la cualidad que tiene la Met Cr para la reposición de grasa en diferentes fases de crecimiento.

Por otro lado, Jin *et al.* (2018) observaron un efecto significativo al utilizar PGZ 15 mg/kg + 0.2 mg de Met Cr/kg de alimento, la sinergia de ambos compuestos aumento en el área del músculo LT y los porcentajes de ácidos grasos: oleico, linoleico, α -Linolénico y ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) , mientras que el espesor de la grasa dorsal disminuyó. Además, Li *et al.* (2013), encontraron que la suplementación durante 28 d con 0.9 mg /kg Met Cr en cerdos en

finalización mejoró significativamente el color de la carne y redujo el contenido total de Metamioglobina (Mb) mediante la regulación positiva de la expresión del gen Mb.

Además González *et al.* (2018), encontraron un efecto significativo en la mayoría de las variables de calidad de carne al ser modificadas por la suplementación con Met Cr durante 71 d. El efecto en las variables de calidad en carne fue de reducción al obtener menores valores de pH a las 24 h *postmortem*, luminosidad, disminución en pérdidas por cocción y menor fuerza al corte en comparación con los cerdos no suplementados.

2.7. Impacto del Estrés Calórico en la Producción Porcina.

El estrés por calor es una condición que se da por problemas ambientales que generalmente afecta de forma negativa el bienestar animal, respecto a su definición, se considera como la respuesta adaptativa de los animales a un conjunto de cambios fisiológicos y de comportamiento, que se desencadenan cuando la temperatura ambiental (combinación de incremento de las temperaturas y de humedad relativa) excede la zona termo neutral de los animales (Figura 1) (Baumgard, 2012). El estrés térmico se acompaña de los factores temperatura y humedad, en los últimos años el ITH (Índice de Temperatura y Humedad) ha sido utilizado para evaluar si las condiciones ambientales resultan estresantes para los animales al categorizar la intensidad del ITH en cuatro niveles: normal, alerta, peligro y emergencia (Senasa, 2021).

En la industria porcina, las pérdidas económicas asociadas con el estrés calórico se explican principalmente por un crecimiento reducido e inconsistente de los animales, una menor eficiencia alimentaria y pérdida en la calidad de la canal (por el aumento de la deposición de lípidos y la disminución de la acumulación de proteínas). Esto se debe a que la jerarquía de utilización de nutrientes se prioriza para mantener la eutermia y, en consecuencia, la productividad se reduce. Los cerdos en etapa de finalización suelen ser los más afectados, especialmente en la época de verano (Mayorga *et al.*, 2019).

Con respecto a la etapa productiva de los animales, los cerdos en finalización tienen un comportamiento de tolerancia al frío, sin embargo, las temperaturas ambientales superiores a los 30° C afectan en gran medida su bienestar. Dentro de las estrategias para mejorar el confort térmico

de los cerdos cuyo fundamento es la disipación del calor, encontramos el uso de abanicos en las instalaciones acompañados de aspersores automatizados que refrescan a los cerdos externamente y promueven una mejora en el ambiente, lo que propicia la mejora en la temperatura interna de los animales, al asegurar su confort térmico (Olcza *et al.*, 2015).

En el caso específico de Sonora los porcicultores cuentan con una problemática específica, relacionada a las temperaturas regionales durante los meses de verano que son sumamente altas, con temperatura ambiente promedio de 33° C, y con una variación diurna de 26 a 49° C y una humedad relativa de 47.5% (Da Fonseca *et al.*, 2019). Aunque existen distintos estudios que han evaluado los efectos del estrés por calor en cerdo, la mayoría de estos estudios se han llevado a cabo bajo temperaturas que podrían considerarse beneficiosas (Bracke, 2011) en comparativa con las temperaturas extremas del estado de Sonora. Típicamente en Sonora (y otras regiones con altos índices de calor), las grandes fluctuaciones de temperatura en la mayoría de las temporadas del año afectan directamente a la productividad porcina, pero dicha problemática aumenta en temporada de verano.

Debido a lo anterior, la industria porcina ha priorizado la búsqueda de nuevas alternativas para la continuación de la producción eficiente de cerdos, al encontrar a la manipulación del sistema de alimentación dentro de las estrategias más alentadoras, por ende, el uso o suplementación de Metionina de Cromo representa una de las fuentes económicamente accesibles para mejorar el confort digestivo y fisiológico de los animales (Li *et al.*, 2013). En la actualidad el efecto de la suplementación de Met Cr en la engorda de cerdos bajo condiciones de estrés calórico no ha sido evaluado, por lo que valorar su efecto sobre el desempeño productivo es sumamente atractivo, se espera que la Met Cr cause resultados significativos en desempeño productivo de los cerdos bajo condiciones de estrés calórico y contribuya a mejorar la calidad de la canal y de la carne.

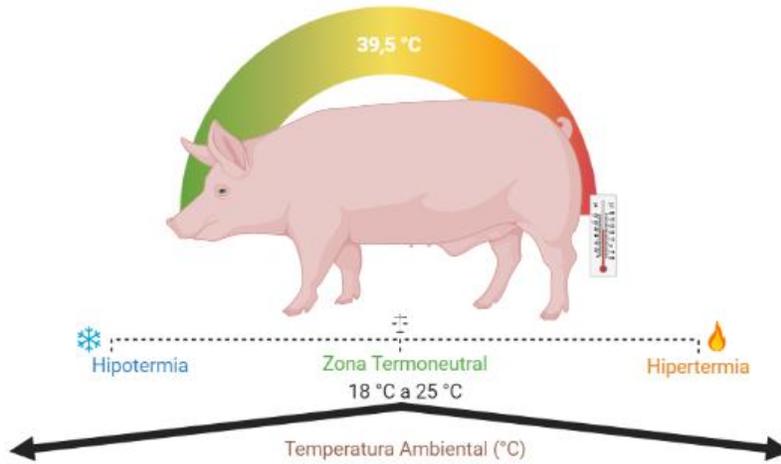


Figura 1. Esquema de Temperatura Corporal del Cerdo y Zona Termoneutral

3. HIPÓTESIS

La suplementación con Met Cr en la dieta de cerdos ocasiona una mejora en el desempeño productivo, calidad de la canal y características de calidad de la carne bajo condiciones de estrés por calor. Además, el efecto es mayor cuando se suplementa desde la etapa de crecimiento hasta la finalización (81 d), respecto a sólo suplementar en finalización (34 d).

4. OBJETIVO

4.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la suplementación de dos periodos de Met Cr y un periodo de RAC, sobre el desempeño productivo, rendimientos en canal y características de calidad de la carne de cerdos en finalización bajo estrés calórico.

4.2. Objetivos Específicos

1. Evaluar el desempeño productivo de los cerdos suplementados con dos periodos de suplementación de Met Cr y RAC.
2. Determinar el efecto de dos periodos de suplementación con Met Cr y RAC sobre la calidad de la canal.
3. Valorar la calidad química y fisicoquímica de la carne de cerdos suplementados con dos periodos de Met Cr y RAC.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.2. Adquisición de Met Cr y RAC

La Metionina de Cromo adquirida corresponde a un producto comercial (BIOWAYS Cr®, Grupo Biotecap, S. A, de CV, Tepatitlán, Jalisco, México). Mientras que la RAC corresponde al producto comercial PAFMINE® (Laboratorios Paffa S.A de C.V. Guadalajara, Jalisco, México).

5.2. Prueba de Alimentación y Condiciones Ambientales

La prueba de alimentación se llevó a cabo durante la temporada de verano 2021 en la unidad de producción porcina del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, en Hermosillo (D.A.G., UNISON). Durante la prueba de alimentación se registraron diariamente los valores de temperatura, humedad relativa y con estos se calculó el índice de temperatura humedad (ITH) para tener un indicativo de las condiciones y nivel de estrés calórico al que estuvieron expuestos los animales (Cuadro 3). El ITH se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$ITH = [0.81 \times T] + [(HR/100) \times (T - 14.4)] + 46.4 \quad (EC 1)$$

Dónde: T es la temperatura en °C, HR es la humedad relativa en % (Hahn, 1999).

Cuadro 3. Valores Máximos, Mínimos y Promedio de la Temperatura Ambiental, Humedad Relativa e Índice de Temperatura-Humedad (ITH), Durante el Periodo Experimental.

Variable	Máxima	Mínima	Promedio
Temperatura, °C	37.53±2.5	24.80±1.7	30.38±1.8
Humedad relativa, %	71.71±13.7	33.67±10.7	45.23±4.8
ITH, unidades	93.39±4.8	68.63±2.8	78.26±3.6

Los valores son la media ± desviación estándar durante el periodo experimental.

5.2.1. Animales y Tratamientos Experimentales

Se utilizaron 56 cerdos en total (28 hembras y 28 machos) de cruzas comerciales Duroc x Yorkshire con un peso vivo inicial promedio de 43 ± 3 kg. Los cerdos se alojaron individualmente en corrales (0.6×2.0 m) equipados con sombra, comederos y bebederos automáticos. Los animales fueron seleccionados al inicio del crecimiento con pesos y edades uniformes. Catorce corrales (n=14, 7 machos y 7 hembras) fueron asignados aleatoriamente a uno de los siguientes cuatro tratamientos bajo un diseño de bloques completamente al azar: 1) Testigo, animales alimentados solo con la dieta basal (DB) sin suplementación de promotores de crecimiento; 2) CR-L, animales alimentados con la dieta basal y suplementados con 0.4 mg de Met Cr por kg de alimento por 81 d (desde la etapa de crecimiento hasta la finalización de la engorda); 3) CR-C, animales alimentados con la DB y suplementados con 0.4 mg Met Cr /kg durante 34 d previo al sacrificio; y 4) RAC, animales recibieron la dieta basal más la suplementación de 10 mg de RAC /kg durante 34 d previo al sacrificio. La dieta basal (Cuadro 4) fue formulada para satisfacer los requerimientos nutricionales de cada etapa productiva de los cerdos durante la época de verano (NRC, 2012) y todos los animales tuvieron libre acceso a agua y alimento durante los 81 días del periodo de suplementación.

Cuadro 4. Ingredientes y Análisis Nutricional de la Dieta Basal por Etapa Productiva de los Cerdos Suplementados.

Ingredientes, %	Etapa productiva (Peso vivo)		
	40- 70 Kg	70-90 Kg	90-130 Kg
Maíz amarillo	72.39	78.10	79.56
Pasta de soya	22.82	17.50	16.09
Aceite vegetal	1.79	1.60	1.55

Premix ¹	3.00	2.80	2.80
<i>Análisis nutrimental</i>			
Energía metabolizable, Mcal/kg	3.37	3.37	3.37
Proteína cruda, %	16.86	14.79	14.24
Lisina digestible, %	0.96	0.82	0.79
Calcio, %	0.69	0.68	0.66
Fósforo disponible, %	0.30	0.23	0.23

¹Premix: Pre-mezcla de aminoácidos, vitaminas y minerales. Cada kg de alimento proporcionó 9.5 g de fosfato dicálcico; 8.3 g de piedra caliza; 3.55 g de cloruro de sodio, 2.3 g de L-lisina; 0.5 g de DL-metionina; 0.35 g de L-treonina; 0.15 g de L-triptófano; 80 mg de DL-acetato de tocoferol; 2.2 g de acetato de retinol; 16.5 mg de colecalfiferol; 4.4 mg de bisulfito de sodio; 242 mg de colina; 33 mg de niacina; 8.8 mg de riboflavina; 24.2 mg de D-ácido pantoténico; y 0.04 mg de vitamina B12.

5.3 Evaluación del Desempeño Productivo

Se registró el peso vivo individual en kg al inicio (PI, día uno de la prueba), intermedio de la prueba (PM) y peso final (PF) de la prueba de alimentación para estimar la ganancia diaria de peso (GDP). Se registró el consumo de alimento diario (CDA) y a partir de la GDP y el CDA, se calculó la conversión alimenticia (CA) por animal y tratamiento, mediante las siguientes fórmulas:

- 1) Ganancia diaria de peso (GDP). Se calcula al evaluar el peso inicial y peso final mediante la siguiente fórmula.

$$GDP = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{días de alimentación}} \quad (\text{Ec } 2)$$

- 2) Consumo diario de alimento (CDA). Se pesó el alimento ofrecido y el rechazado por corral diariamente, y se estimó la media para todo el periodo experimental.

$$CDA = \text{Alimento ofrecido} - \text{alimento rechazado} \quad (\text{Ec } 3)$$

- 3) Conversión alimenticia (CA): Se estimó con la relación de CDA y GDP con la siguiente fórmula:

$$CA = \frac{\text{Consumo de alimento}}{GDP} \text{ (EC 4)}$$

5.4 Calidad de la Canal

Una vez concluida la prueba de comportamiento productivo, los animales fueron trasladados al rastro del D.A.G, UNISON, al seguir los protocolos establecidos por la NOM-051-ZOO-1995 (1995). Los animales fueron sacrificados según las especificaciones dadas en la NOM-033-SAG/Z00-2014.

Se registró el peso vivo al sacrificio, peso de la canal caliente y después de su refrigeración a 4 °C por 24 h se midió el peso de la canal en frío, los datos fueron expresados en kg. Se evaluó el pH, área de ojo de costilla (AOC) y espesor de grasa dorsal en el músculo *Longissimus thoracis* (LT) del lado izquierdo de la canal, a nivel del doceavo espacio intercostal. El pH se midió a las 24 h *postmortem*, por medio de un potenciómetro digital portátil con electrodo de penetración marca HANNA HI 99163 (Mettler–Toledo Process Analytic Inc., Wilmington, MA, USA) y se hicieron tres repeticiones por muestra. El AOC se determinó en cm² mediante una hoja de acetato transparente, donde se dibujó el contorno del área del ojo de la costilla, posteriormente se midió su área con una plantilla cuadrículada con cuadrantes de 1 cm². El espesor de la grasa dorsal se midió específicamente en el segundo tercio del corte transversal del LT mediante un vernier, y se tomó una sola repetición por muestra, los valores se reportaron en milímetros (mm). Por último, se determinó el grado de marmoleo (grasa intramuscular) del músculo LT en base a la escala establecida por Jones *et al.* (1992).

5.4.1. Obtención y Selección de Muestras para Análisis de Calidad de la Carne

A las 24 h *postmortem*, la media canal lateral izquierda de cada unidad experimental fue diseccionada, para obtener una muestra del músculo LT (desde la cuarta a la décima segunda costilla), identificada, empacada al vacío para ser transportada en condiciones de refrigeración a

las instalaciones del laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Carne en CIAD Hermosillo, para sus respectivos análisis de calidad.

5.5. Análisis de la Calidad de la Carne

Las muestras de carne permanecieron en una cámara de congelación a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un lapso de 5 días. Las muestras fueron descongeladas por 36 horas previas a los análisis de calidad, en condiciones de refrigeración a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Posteriormente las muestras fueron cortadas en filetes de distintos grosores tal como se indica (Figura 2) a continuación: un filete de 1 cm de grosor para composición proximal, uno de 3 cm para pérdidas por cocción (PPC) y textura al día 0, dos filetes de 1.5 cm usados para la evaluación de color (L^*a^*b), metamioglobina (MetMb) y sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) al día 0 y 7 de refrigeración, respectivamente; un filete de 1 cm para pH y CRA, un filete de 1 cm para perfil de ácidos grasos y por último, el restante se identificó como reserva. La unidad experimental fue la pieza completa de carne.

5.5.1. Calidad Fisicoquímica

5.5.1.1. Capacidad de Retención de Agua (CRA): La determinación de CRA se realizó mediante el procedimiento establecido por Sutton *et al.* (1997), con ligeras modificaciones. Cinco gramos de muestra fueron colocados en una tela micro-nylon, la cual se introdujo en un tubo de polipropileno de 50 mL. Posteriormente la muestra fue centrifugada a 2,800 g por un lapso 5 min a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Centrifuga refrigerada Thermo Scientific Legend XTR). El porcentaje de CRA se calculó de acuerdo a la diferencia de peso que hubo entre la muestra antes y después de la centrifugación.

5.5.1.2 Parámetros de Color: Para la determinación de color en la carne se utilizó un colorímetro Minolta (Chroma meter CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc. Japan). Los parámetros que se evaluaron fueron L^* (luminosidad), a^* (matiz rojo-verde) y b^* (matiz amarillo-azul) (Cassens *et al.*, 1995). Además, se calculó el ángulo de matiz mediante la fórmula $\tan^{-1}(b/a)$ (Jiménez *et al.*,

2009). Las determinaciones del color se llevaron a cabo a los 0 y 7 días sobre la superficie de las muestras frías (4-6 °C), tomándose cinco repeticiones en diferentes ubicaciones sobre la carne.

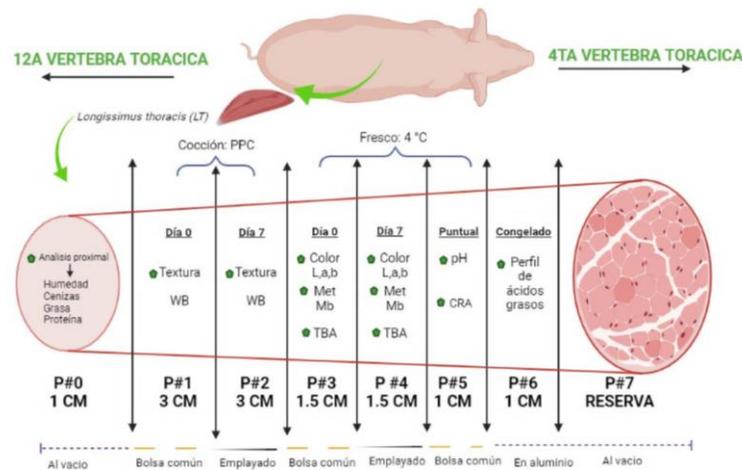


Figura 2. Esquema de Corte del Músculo *Longissimus thoracis* (LT)

5.5.1.3. Pérdida por Cocción y Esfuerzo al Corte (EC): Se pesó una chuleta cruda de 3 cm de grosor y posteriormente se cocinó en un sartén eléctrico hasta alcanzar una temperatura interna de 71 °C (monitoreándose por medio de un termopar tipo T conectado a un lector) (AMSA, 1995). La muestra se pesó inmediatamente después de salir del sartén, se registró su peso, fue enfriada a temperatura ambiente (25 °C a 30 °C) y refrigerada a 4 °C por 24 h. El porcentaje de PPC se calculó de acuerdo a la diferencia de peso que hubo entre la muestra antes y después de la cocción. Para la medición del EC, se utilizaron los filetes cocinados y se prepararon muestras de carne en forma de rectángulos con una dimensión de 3 cm de largo y 1.3 de ancho cortados de forma paralela a las fibras musculares. Se cuantificó el esfuerzo al corte (EC) de un trozo de carne mediante un texturómetro (Texture Analyzer T. A. X .T. Plus, USA). El EC se midió de forma perpendicular a las fibras musculares, por medio del accesorio cortador Warner-Bratzler montado en el texturómetro. El valor del EC se expresó en kilogramos fuerza. Se evaluó en 10 repeticiones por unidad experimental.

5.5.1.4. Valor de pH: La determinación de los valores de pH fue realizada en muestras de carne

con una temperatura de 4–6 °C, mediante un potenciómetro digital HANNA portátil con un electrodo de penetración con termómetro HANNA HI 99163, (Mettler-Toledo Process Analytical Inc., Wilmington, MA, USA). Determinándose un triplicado por unidad experimental.

5.5.2. Composición química

5.5.2.1. Análisis proximal: Se determinó el contenido de humedad, cenizas, grasa intramuscular y proteína de la carne de cerdo, mediante un duplicado de las muestras, mediante los métodos establecidos por la AOAC (2000). La determinación de humedad se realizó mediante una estufa de secado a una temperatura de 100 °C durante 16 h (Método 950.46). El contenido de cenizas se evaluó mediante una pre-incineración y posteriormente una incineración en mufla a 550 °C, durante 12 h (Método 950.153). El contenido de proteína fue determinado mediante el método de Micro Kjeldahl (Método 960.52) a partir de muestras deshidratadas. Por último, la grasa intramuscular se cuantificó por el método de extracción de Goldfish a partir de muestras deshidratadas (Método 920.39). Los resultados fueron reportados en porcentajes (%) de la muestra fresca.

5.5.2.2 Determinación del Perfil de Ácidos Grasos: La determinación del perfil lipídico fue llevada a cabo de acuerdo a lo reportado por Bligh y Dyer (1959). Se tomaron aproximadamente 4 g de muestra, los cuales fueron triturados hasta ser homogenizados. Posteriormente, se añadió 10 mL de metanol grado reactivo (Sigma-Aldrich, Missouri, USA) y homogenizó durante 1 min a 11000 rpm (Ultraturrax IKA modelo T25). Se agregó 20 mL de cloroformo grado espectrofotométrico, con una pureza del 98.5% (Sigma-Aldrich, Missouri, USA) y homogenizó durante 2 min. Una vez homogenizado, las muestras fueron filtradas a través de un papel Whatman #1, realizándose un lavado de la muestra con 3 mL de cloroformo/metanol (en una proporción 2:1).

Posteriormente, se agregó cloruro de potasio al 0.88% en agua (3 mL aproximadamente de KCl) hasta obtener una fase superior de 1 cm. Se retiró con una pipeta Pasteur la parte superior para poder colectar la fase inferior (cloroformo y lípidos), donde se realizó un lavado con 2 mL de agua destilada y 2 mL de metanol, tomándose la fase inferior (cloroformo y lípidos) y se retiró la fase superior con pipeta Pasteur para ser almacenada posteriormente. Por último, mediante un flujo de nitrógeno (Grado industrial, PRAXAIR, México) se removió el aire presente en los viales y

posteriormente se almacenó en condiciones de refrigeración 4 a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un tubo cóncavo de cristal, forrado con papel aluminio.

La derivatización de los ácidos grasos se realizó según lo reportado por Park y Goins (1994). Se introdujeron a un baño maría a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se evaporó el solvente de los extractos por medio de un flujo de nitrógeno. Se obtuvo aproximadamente 150 mg de grasa libre de solventes, se les agregó 4 mL de NaOH (Merck-México) 0.5 N en metanol. La mezcla fue agitada ligeramente hasta lograr una solución homogénea. El aire fue evacuado mediante una inyección de flujo de nitrógeno y se cerró el tubo con el tapón de baquelita. Posteriormente se calentó a $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 10 min en un baño maría. Transcurrido el tiempo, las muestras fueron enfriadas a temperatura ambiente y se le adicionó 5 mL de trifluoruro de boro al 14% en metanol (Sigma-Aldrich, Missouri, USA). Se desplazó el aire con un flujo de nitrógeno y se cerró el vial.

Las muestras fueron calentadas nuevamente en un baño maría a $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 7 min. Dejándose las muestras enfriar a temperatura ambiente, se les agregó 4 mL de heptano y las muestras fueron calentadas durante 2 min bajo las condiciones anteriormente mencionadas. Posteriormente, se dejó enfriar las muestras a temperatura ambiente y se les agregó 1 mL de cloruro de sodio saturado (37 g de NaCl/100 mL de agua destilada) y sulfato de sodio anhídrido. Por último, se tomó exclusivamente la fase cristalina superior por medio de una pipeta de transferencia, colectándose en un vial para almacenar. Al momento de realizar la inyección de la muestra, se vertió 100 microlitro de la muestra más 100 microlitro de heptano en un microinserto contenido en un vial de 2 mL para cromatógrafo.

El análisis de perfil de ácidos grasos se llevó a cabo por cromatografía de gases mediante un equipo Hewlett Packard Serie 6890 equipado con un detector de ionización de flama (FID) y un automuestreador 6890, con una columna capilar de sílica fundida Agilent J&W DB-23 (0.25 mm de diámetro interno x 60 m de longitud, con un grosor de película de 0.25 micrómetros). El programa de temperatura del horno fue: $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ de inicio, una rampa de $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ hasta alcanzar los $175\text{ }^{\circ}\text{C}$, sostenido por 1 min y una segunda rampa de $4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ hasta alcanzar los $230\text{ }^{\circ}\text{C}$, mantenida por 10 min. Conservándose la temperatura del puerto de inyección y el detector a 250 y $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ 32 respectivamente. Las muestras fueron inyectadas (1 μl) en un puerto split, a una relación de división de 50:1. Se utilizó helio como gas transportador con una velocidad de 14 cm/s. Se registraron y almacenaron los cromatogramas en la computadora con el software ChemStation.

Los ácidos grasos fueron identificados de acuerdo al tiempo de retención y al patrón de elución de

la mezcla de estándares Supelco F.A.M.E. Mix C4-C24 (Sigma-Aldrich, Missouri, USA). Por último, se determinó los perfiles al determinar el área bajo la curva de los diferentes picos como porcentaje de la suma del total de picos identificados. Los valores fueron reportados como porcentaje de ésteres metílicos de ácidos grasos del total de ácidos grasos detectados. Se calcularon las sumas parciales de ácidos grasos saturados (Σ AGS), monoinsaturados (Σ AGM), poliinsaturados (Σ AGP), omega-3 (Σ w3), omega 6 (Σ w6). Así mismo, se calcularon las relaciones nutricionales Σ AGM/ Σ AGS, Σ AGP/ Σ AGS y Σ w6/ Σ w3.

5.5.3. Estudio de Estabilidad en Refrigeración a los 0 y 7 días

Para realizar el estudio de estabilidad en refrigeración, dos filetes de carne con las características descritas en el apartado 5.6., fueron empaquetadas bajo condiciones de emplayado (parafilm) y almacenadas a 4 °C en una cámara de refrigeración, durante 7 días en presencia de luz, con el fin de simular las condiciones comerciales de venta.

En el día 0 y 7 de refrigeración se realizó la evaluación de los parámetros de color, tal como se describió en la sección 5.6.1.2. Además, se evaluó el estado oxidativo de la carne mediante la cuantificación de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico y porcentaje de metamioglobina, que se describen a continuación:

5.5.3.1 Porcentaje de Metamioglobina (MetMb): A 5 g de carne fresca se le adicionó 20 mL de buffer de fosfato frío (pH= 6.8; 40 mM) y homogenizó a 11,300 rpm durante 30 s (Ultra Turrax IKA modelo T25). Posteriormente, la muestra se almacenó a 4 °C durante 1 h y transcurrido el tiempo, se centrifugó 2800 g por 30 min a 4 °C (Centrifuga refrigerada Thermo Scientific Legend XTR). El sobrenadante se filtró a través de un papel Whatman #1 y al producto filtrado se leyó su absorbancia a diferentes longitudes de onda (700, 572 y 525 nm) en un espectrofotómetro de UV visible (Agilent Technologies, Cary 60 UV-vis) (Stewart *et al.*, 1965). El contenido de metamioglobina se calculó mediante la fórmula:

$$\% \text{ De MetMb} = 1.395 \frac{\text{abs572} - \text{abs700}}{\text{abs525} - \text{abs700}} \times 100 \text{ (Ec 5)}$$

Dónde: % MetMb= Porcentaje de metamioglobina; 1.395 = Constante, A572= Absorbancia a 572 nm; A700= Absorbancia a 700 nm y A525= Absorbancia a 525 nm

5.5.3.2 Sustancias Reactivas al Ácido Tiobarbitúrico (TBARS): Se cuantificó el contenido de TBARS en carne fresca. Para ello, se homogenizó 5 g de muestra con 15 mL de ácido tricloroacético a 11,000 rpm durante 1 min (Ultra Turrax IKA modelo T25). Posteriormente la muestra homogenizada fue centrifugada a 592 g durante 30 s a 5 °C (Centrifuga refrigerada Thermo Scientific Legend XTR). Concluida la centrifugación, el sobrenadante fue filtrado a través de un papel Whatman #1, se tomó 2 mL del producto filtrado y se les adicionó 2 mL de ácido tiobarbitúrico 20mM. Posteriormente la muestra fue homogenizada durante 30 s y se llevó a un calentamiento en un baño maría a 97 °C durante 20 min. Transcurrido el tiempo, los tubos fueron enfriados y se midió la absorbancia de las muestras a 532 nm en un espectrofotómetro de UV visible (Agilent Technologies, Cary 60 UV-vis). La oxidación lipídica, se calculó en base al contenido de TBARS mediante una curva patrón de 1,1,3,3-tetrametoxipropano y se expresó como mg de malonaldehído (MDA)/kg de muestra (Pfalzgraf *et al.*, 1995).

5.6. Diseño Experimental y Análisis estadístico

Todos los datos fueron procesados mediante un ANOVA GLM para un diseño de bloques completamente al azar, donde los tratamientos fueron las dietas experimentales y el factor de bloqueo el peso vivo inicial de los animales. Así mismo, el modelo incluyó el efecto fijo del sexo para las variables de desempeño productivo y calidad de la canal. Respecto a las variables de estudio de estabilidad en refrigeración, los datos fueron procesados bajo un diseño completo completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos 4 x 2 (4 tratamientos y 2 tiempos de muestreo). Se estimaron significancias a un valor de $P < 0.05$ en el error Tipo I. Cuando hubo efecto

de tratamientos, se realizaron comparaciones de medias por la prueba de Tukey-Kramer. Todos los datos fueron procesados en el paquete estadístico NCSS 2020.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Desempeño Productivo

Los resultados de las variables del desempeño productivo de los cerdos suplementados se muestran en el Cuadro 5. El peso vivo inicial (PI) de los cerdos osciló alrededor de 43 Kg y este fue similar entre tratamientos ($P>0.05$), lo que indica una adecuada aleatorización de los animales para la formación de los grupos experimentales. Se observó un efecto de los tratamientos ($P<0.05$) sobre las variables de peso vivo final (PF) y ganancia diaria de peso (GDP) para el periodo total (día 1 al 81) y para los últimos 34 días (día 47 al 81) del periodo de alimentación. Con respecto al PF, se observó un incremento ($P<0.05$) de 8% en los animales suplementados con RAC, en comparación al testigo. En cuanto a las GDP, los animales suplementados con RAC presentaron un aumento del ($P<0.05$) de 13% con respecto al testigo en el periodo total de la prueba (1.17 vs 1.03 kg) y de un 19% los últimos 34 días de suplementación (1.24 vs 1.04 kg). Por otro lado, no se encontraron diferencias ($P>0.05$) en la GDP de los cerdos sometidos a ambos periodos de suplementación con cromo (Cr-C y Cr-L) con respecto al testigo y al grupo RAC, observándose una GDP numéricamente superior al Testigo, pero menor a RAC.

Cuadro 5. Desempeño Productivo de Cerdos Suplementados con Metionina de Cromo o Ractopamina en dos Periodos de Engorda en Corral Bajo Estrés Calórico.

Variables ²	Tratamientos ¹				Valor de P		
	TES	RAC	Cr-C	Cr-L	EMM ³	Sexo	Trat
Peso vivo inicial, kg	43.45	43.43	43.3	43.4	0.52	0.851	0.99
Peso vivo final, kg	127.60 ^a	138.18 ^b	132.49 ^{ab}	130.21 ^{ab}	2.34	0.152	0.02
<i>Total de la prueba (d 1 al d 81)</i>							
Ganancia diaria de peso, kg	1.03 ^a	1.17 ^b	1.10 ^{ab}	1.07 ^{ab}	0.02	0.147	0.02
Consumo de alimento, kg	2.51	2.75	2.7	2.6	0.07	0.002*	0.14
Conversión de alimento, kg	2.42	2.36	2.46	2.43	0.06	0.008*	0.67
<i>Últimos 34 días (d 47-d 81)</i>							
Ganancia diaria de peso, kg	1.04 ^a	1.24 ^b	1.12 ^{ab}	1.06 ^a	0.04	0.527	0.01
Consumo de alimento, kg	2.89	3.19	3.12	3	0.1	0.023*	0.17
Conversión de alimento, kg	2.79	2.58	2.78	2.84	0.09	0.075	0.21

¹ Tratamientos: TES, cerdos alimentados con la dieta basal (DB); RAC, DB + suplementación de 10 mg/kg de clorhidrato de ractopamina; Cr-C, DB + suplementación de 0.4 mg/ kg de metionina de cromo por 34 días previo al sacrificio; Cr-L, DB + suplementación de 0.4 mg/ kg de metionina de cromo por 81 días.

² Media de mínimos cuadrados de n=14 por tratamiento.

³ EEM: error estándar de la media. ab Medias dentro de renglón con diferente literal, indican diferencia (P<0.05). * Mayor valor en los machos (P<0.05).

A pesar de la mejora en las GDP (13 y 19 %) con RAC, el consumo de alimento (CDA) y la conversión alimenticia (CA) fueron similares entre tratamientos para ambos periodos de prueba (P>0.05). Por el contrario, la variable de CDA en ambos periodos y de CA durante el periodo total de prueba fueron afectadas por el sexo (P<0.05) de los animales, observándose valores mayores en machos (datos no reportados).

De acuerdo a las condiciones climáticas promedio presentadas durante el periodo experimental y los valores de ITH estimados (Cuadro 3), y con base a la escala de nivel de estrés descrita por Hahn (1999), los animales estuvieron expuestos a estrés calórico de un nivel moderado a severo, lo cual pudo influir en cierto grado sobre las variables de desempeño productivo. Contrariamente, de acuerdo a los estudios prexistentes realizados en cerdos suplementados con Met Cr se ha detectado que las temperaturas reportadas oscilan entre los 18 °C a 27 °C y 29 °C a 35 °C considerándose por los autores como temperaturas altas, donde los cerdos no estuvieron expuestos a condiciones de estrés calórico, encontraron resultados prometedores en desempeño productivo (Morales *et al.*, 2013, Fernandez *et al.* 2015 y Gonzalez *et al.*, 2018).

En la presente investigación los cerdos estuvieron expuestos a un estrés calórico moderado a severo, tal estrés podría haber condicionado la homeostasis de los cerdos suplementados con los distintos tratamientos, al desencadenar mecanismos adaptativos como la disminución del consumo

de alimento y la limitación del aporte energético para las funciones fisiológicas, metabólicas y productivas (Moberg y Mench 2000).

En el presente estudio se observó que el CDA de los cerdos suplementados con cualquiera de los tratamientos presentó valores relativamente bajos, lo que nos hace inferir que la exposición al estrés calórico severo a moderado pudo limitar la alimentación de los cerdos, pero de acuerdo a los resultados de desempeño productivo se observó que la GDP y el PF de los animales no se vio comprometido.

Inicialmente, se esperaba que la suplementación con ambos periodos de cromo (Cr-C y Cr-L) ayudaría a mitigar los efectos del estrés calórico severo. Sin embargo, fue el tratamiento RAC quien mostró tal efecto al lograr un incremento significativo sobre los parámetros de comportamiento productivo (PF y GDP) en ambos periodos de suplementación. En cuanto a la suplementación con ambos periodos de cromo (Cr-C y Cr-L) no se observaron diferencias significativas en el PF y GDP de los cerdos con respecto al TES y RAC, pero ambos tratamientos resultaron numéricamente mayores en comparativa con el grupo TES pero menores a RAC. Por ende podemos inferir, que la exposición de los cerdos a estrés calórico severo no comprometió el desempeño productivo de manera crítica, al contrario, los resultados demuestran un incremento alto en el PF y GDP de los cerdos suplementados con RAC y moderado en los animales suplementados con alguno de los tratamientos de cromo.

Los resultados generados en la presente investigación pueden considerarse sumamente llamativos, debido a que se ha detectado una carencia de datos sobre la suplementación de cerdos con Met Cr bajo condiciones de temperaturas severas o extremas, tal como se presentan en Sonora (hasta 49 °C en verano). Pese a que las condiciones climatológicas del estado de Sonora resultan particulares y poco comparables con otras regiones del mundo, la problemática climatológica no es exclusiva, si no que desafortunadamente en los últimos años se han detectado cambios climáticos (hipertermia inducida por el medio ambiente) estimándose que dichos eventos prevalecerán por varios años, considerándose como una amenaza a la salud y productividad porcina (Gao *et al.*, 2017). Los resultados generados en la presente investigación sobre la suplementación de Met Cr en cerdos bajo condiciones de estrés calórico severo se consideran moderados, debido a que la suplementación con Met Cr demostró un beneficio sobre el desempeño productivo (PF y GDP) de los cerdos, ya que se observó una tendencia a ser mejor al grupo TES e inclusive igual a RAC. Lo anterior proporciona un escenario de oportunidad y una declaración de gran magnitud sobre las

posibles alternativas para mitigar los efectos del estrés calórico severo en cerdos finalizadores.

Con respecto al PF y la GDP de cerdos suplementados con RAC concuerdan con lo informado por Ferreira *et al.* (2011), quienes reportaron que la inclusión de 10 ppm de RAC en la dieta de cerdos finalizadores durante un periodo corto de 28 días incrementó un 6% el PF. Además, observaron un incremento de hasta 20% en la GDP, en comparación con los animales que no fueron suplementados. En otro estudio (Barbosa *et al.*, 2012), suplementaron a hembras y machos (castrados quirúrgica e inmunológicamente) con 10 ppm de RAC durante 28 días, y se observó una mayor GDP (13%) y CA (9%) de los machos inmunocastrados en comparación con las hembras. En el presente estudio no hubo efecto significativo de los tratamientos sobre el CDA y CA, resultado similar a los datos reportados en otros estudios, donde tampoco se observó ningún efecto sobre estas variables en cerdos en fase de finalización (Aalhus *et al.*, 1990; Stites *et al.*, 1991 y Marinho *et al.*, 2007). Sin embargo, en otros estudios realizados en cerdos, se ha mostrado que el CDA de los machos castrados ha sido más altos en comparación con el consumo de las hembras (Rikard-Bell *et al.*, 2009 y Moraes *et al.*, 2010). Ellos argumentan a que dicho efecto se debe a que la castración reduce drásticamente los niveles de testosterona y androsterona, y parece estar relacionado con el notable aumento (9%) en el consumo de alimento (Brustolini *et al.*, 2019 y Dunshea *et al.*, 2013).

La RAC ocasiona un mayor PF y GDP en cerdos, debido a su efecto promotor de crecimiento que se encuentra documentado ampliamente. La RAC es absorbida en aparato digestivo y conducida por torrente sanguíneo para llegar a los adipocitos donde se une a los receptores $\beta 1$ y $\beta 2$ ($\beta 1$ predominante en cerdos), lo que provoca la redirección de nutrientes mediante la lipólisis e inhibición de la lipogénesis que desencadena un aumento de los nutrientes disponibles. Dichos nutrientes podrán ser utilizados en la síntesis proteica para dar como resultado un aumento del músculo magro en el cuerpo del cerdo (Mills, 2002 y Moody *et al.*, 2000). Por otro lado, su uso en etapa de finalización es mayormente beneficiosa debido a que el animal al estar cerca de su peso adulto comienza a depositar menor porcentaje de tejido magro y mayor porcentaje de tejido adiposo. Por lo que la suplementación con RAC ayuda a extender la llegada al punto de inflexión mediante los efectos metabólicos de lipólisis, inhibición de lipogénesis y síntesis proteica (Ritter *et al.*, 2017).

Con respecto a la suplementación de cromo por un periodo largo, los resultados del presente estudio concuerdan con los reportados por Almeida *et al.* (2010) y Tian *et al.* (2015), quienes emplearon

dosis (0.4 mg Met Cr /Kg de alimento) y periodos similares (91 y 97 días, respectivamente) a los del presente estudio, se observó que no existió efecto de los tratamientos sobre las variables de comportamiento productivo de los cerdos suplementados. Por otro lado, Sánchez *et al.* (2013) llevaron a cabo un estudio en Tlaxcala, México donde administraron diversas dosis de Met Cr (0.4, 0.8 y 1.2 mg/ kg de alimento) en dietas de cerdos en crecimiento y finalización, se encontró que el PF y la GDP se vieron incrementados en los cerdos suplementados con 0.4 mg de Met Cr/ kg de alimento en comparativa con el grupo testigo.

Contrariamente, al comparar los resultados de Cr-C con investigaciones previas se encontró que los datos de la suplementación de Met Cr durante periodos cortos son escasos y las dosis administradas son completamente distintas a las del presente estudio. Por ejemplo, Peres *et al.* (2014), administraron dosis bajas de Met Cr (0.2 mg Met Cr /kg de alimento) en la dieta de cerdos finalizadores, encontraron que el tratamiento de Met Cr no influyó en el PF y en el CDA de los cerdos. En otro estudio realizado por Li *et al.* (2013) se suplementaron diversas dosis de Met Cr (0.3, 0.6 y 0.9 mg Met Cr /kg de alimento) en la dieta de cerdos en finalización por un periodo de 28 días, observaron un efecto significativo al suplementar niveles crecientes (0.6 y 0.9 mg Met Cr /kg de alimento) de Met Cr en la dieta sobre el PF y demostraron un efecto significativo sobre la GDP, el CDA y la CA al aumentar la dosis de Met Cr en dieta de cerdos finalizadores.

Cabe resaltar que, en el presente estudio el PF y la GDP de los animales suplementados con Cr-C y Cr-L en ambos periodos de alimentación, fueron similares al grupo RAC y al grupo testigo. Estos resultados, aunque estadísticamente no fueron significativos, numéricamente, se observó un incremento moderado en el PF (alrededor de 5 kg más) y la GDP (alrededor del 3-6%) de los cerdos suplementados con Met Cr en comparación con el grupo testigo. En este sentido, se requieren más estudios para evidenciar si la suplementación con Met Cr representa un beneficio similar a la suplementación con RAC.

Con respecto a las inconsistencias en los resultados de la suplementación de Met Cr en cerdos, una posible explicación en la variación de los resultados puede deberse al efecto de dosis (bajas o altas) o al tiempo de exposición al aditivo (según etapa productiva: crecimiento, desarrollo y/o finalización). Además, estas inconsistencias sobre el desempeño productivo de cerdos pueden relacionarse a condiciones intrínsecas (genética, sexo, raza, estado nutricional, condiciones de estrés, etc.) y extrínsecas (instalaciones, manejo, temperatura ambiental, humedad, nutrición, etc.) de los animales. Parte del objetivo de la presente investigación fue evaluar la contribución de

condiciones de estrés calórico sobre la productividad porcina. En este sentido, es necesario aclarar que los múltiples estudios que describen los beneficios de la suplementación de Met Cr se llevaron a cabo en condiciones climatológicas más beneficiosas a las que se presentan en el estado de Sonora. Por ende, se podría hipotetizar que el estrés calórico afecta de manera directa el confort térmico de los animales al provocar que el efecto de Met Cr sobre el desempeño productivo de cerdos sea moderado, o bien, la dosis no resultó suficiente para mitigar dicha condición.

Por último, al considerar las diferencias de estudios previos y el número de cerdos analizados en el presente estudio, el efecto de Met Cr sobre el desempeño productivo de los cerdos bajo estrés calórico requiere de más pruebas de campo para su validación.

6.2. Calidad de la Canal

Los resultados de las variables de calidad de la canal de cerdos suplementados se muestran en el Cuadro 6. Se observó un efecto ($P < 0.05$) de los tratamientos sobre las variables de peso al sacrificio (PS), peso de la canal caliente (PCC) y peso de la canal en frío (PCF). Con respecto al PS, se observó un incremento ($P < 0.05$) de 11 kg en las canales provenientes de los animales suplementados con RAC que corresponde a un aumento del 8% del peso de la canal de los cerdos suplementados, en comparación a las canales del grupo testigo. De manera similar el PCC y PCF de las canales de animales suplementados con RAC presentaron un aumento ($P < 0.05$) del 9% con respecto a las canales de cerdos sin suplementar. Sin embargo, no se encontraron diferencias del PS, PCC y PCF de las canales de cerdos suplementados con Cr-C y Cr-L ($P > 0.05$), con respecto a las canales del testigo y las canales del grupo RAC.

Cuadro 6. Características de la Canal de Cerdos Suplementados con Metionina de Cromo o Ractopamina en dos Periodos de Engorda en Corral Bajo Estrés Calórico

Variables ²	Tratamientos ¹				Valor de P	
	Testigo	RAC	Cr-C	Cr-L	EEM ³	Sexo
Peso al sacrificio, kg	131.48 ^a	143.23 ^b	135.68 ^{ab}	134.23 ^{ab}	2.85	0.397
Peso de canal caliente, kg	111.34 ^a	122.15 ^b	114.97 ^{ab}	113.29 ^{ab}	2.47	0.217
Peso de canal fría, kg	109.76 ^a	120.52 ^b	113.43 ^{ab}	111.75 ^{ab}	2.46	0.232
Rendimiento en caliente, %	84.67	85.25	84.74	84.41	0.32	0.032*
Rendimiento en frío, %	83.46	84.1	83.62	83.25	0.33	0.047*
AOC, cm ²	71.72	77.95	71.72	69.13	2.7	0.092
EGD, mm	8.75	8.16	8.66	11.66	1.22	0.020*
Marmoleo, USDA	2.75	2.58	2.5	2.66	0.27	0.014*
pH, 24 h	5.4	5.39	5.4	5.4	0.04	0.641

¹ Tratamientos: Testigo, cerdos alimentados con la dieta basal (DB); RAC, DB + suplementación de 10 mg/kg de clorhidrato de ractopamina; Cr-C, DB + suplementación de 0.4 mg/ kg de metionina de cromo por 34 días previo al sacrificio; Cr-L, DB + suplementación de 0.4 mg/ kg de metionina de cromo por 81 días.

² Media de mínimos cuadrados de n=12 por tratamiento; AOC: área de ojo de costilla en el 12avo espacio intercostal; EGD: espesor de grasa dorsal en el 12avo espacio intercostal.

³ EEM: error estándar de la media.

ab Medias con diferente literal, indican diferencia (P<0.05).

* Mayor valor en los machos (P<0.05).

Respecto a el porcentaje de rendimiento de la canal caliente (RCC) y el porcentaje de rendimiento de la canal fría (RCF) fueron similares entre tratamientos (P>0.05). Sin embargo, ambos porcentajes de rendimiento se vieron afectados por el sexo (P<0.05) de los cerdos al ser estos mayores en las canales de machos. De manera similar a los rendimientos, el espesor de la grasa dorsal (EGD) y marmoleo (MAR) fueron similares entre tratamientos (P>0.05), pero se vieron afectados por el sexo (P<0.05) de los cerdos al obtener mayores valores en las canales de machos en comparativa con las canales de hembras. Para las variables del área del ojo de la costilla (AOC) y pH a las 24 h (pH24), los valores fueron similares entre los tratamientos (P>0.05) y no se vieron afectados por el sexo de los animales (P>0.05).

Los resultados obtenidos de PS y PCC en el presente estudio, concuerdan con los reportados por Armstrong *et al.* (2004) quienes al suplementar 10 ppm de RAC en las canales provenientes de cerdos suplementados durante 27 a 34 días previos al sacrificio, encontraron que el PS y el PCC fueron superiores en las canales de los cerdos suplementados con RAC, en comparación con las canales de los cerdos control. Por otro lado, Almeida *et al.* (2010) realizaron un estudio donde al

suplementar Met Cr y dosis inferiores de RAC (5 ppm) como control positivo, encontraron un efecto significativo en el PCF de las canales provenientes de cerdos del grupo suplementado con RAC y no significativo para el grupo suplementado con Met Cr, tal como lo sucedido en la presente investigación. Se ha demostrado que existe una correlación lineal positiva entre el PS, PCC y PCF debido al aumento del tejido magro (GU *et al.*, 1991), por lo que los incrementos observados en el PS, también se manifiestan en los pesos de las canales. Como previamente se comentó, el efecto de RAC sobre los aumentos de peso en las variables de PS, PCC y PCF puede explicarse debido a que RAC promueve a la inhibición de la síntesis y depósito de lípidos, al estimular la síntesis de proteínas musculares, por tanto, el aumento porcentaje de tejido magro influye en el peso al sacrificio y mejora de las características cuantitativas de las canales al aumentar el porcentaje de carne en las mismas (Ferreira *et al.*, 2011).

En general, las variables de rendimiento del presente estudio concuerdan a los datos descritos por Costa *et al.* (2020) donde no se encontró efecto significativo del rendimiento de las canales provenientes de cerdos suplementados con 10 ppm de RAC. Un comportamiento similar fue descrito por Ferreira *et al.* (2011) al no existir diferencia en el rendimiento (80%) de las canales de cerdos suplementados con diferentes dosis de RAC (5 a 20 ppm) durante 28 días. Sin embargo, en el presente estudio las canales provenientes de los machos castrados quirúrgicamente mostraron mayores porcentajes de rendimiento en comparativa con las canales de hembras, resultados similares a lo descrito por Barbosa *et al.* (2012) quienes evaluaron la suplementación de RAC a dosis de 10 ppm en cerdos según su categoría sexual (macho inmunológicamente castrado, macho castrado quirúrgicamente y hembra primeriza), y encontraron que las canales de machos castrados quirúrgicamente mostraron mayor rendimiento. Además, Gispert *et al.* (2010) y Rikard-Bell *et al.* (2009) observaron un mayor EGD en hembras primerizas en comparación con machos enteros y castrados, situación contraria a los resultados del presente estudio.

Con base a los resultados de los estudios citados previamente y los datos generados en el presente estudio, el comportamiento del rendimiento de las canales y el aumento en el EGD en las canales de machos castrados quirúrgicamente puede explicarse mediante lo siguiente.

De manera independiente al tratamiento, Wagner *et al.* (1999) describen que finalizar cerdos durante periodos extendidos provoca una tendencia en los animales a depositar grasa en la estructura corporal debido a que el pico máximo de deposición muscular sucede alrededor de los 90 kg de peso vivo y posterior a ese punto los depósitos de grasa constituyen el principal

componente de la ganancia de peso, en la presente investigación el rango de PS estudiado fue superior (131 a 143 kg) a lo recomendado por los autores, por ende se puede inferir que el aumento de peso no fue exclusivo de tejido graso, si no que pudo estar acompañado de grasa.

De manera dependiente al tratamiento, Almeida *et al.* (2010) documentaron que el uso prolongado de RAC provoca una desensibilización de los receptores β -adrenérgicos presentes en la membrana celular de los adipocitos, lo que provoca inconvenientes con la redirección de energía para síntesis muscular, al desencadenar la lipogénesis y puede provocar el aumento del EGD, efecto que no se observó en ninguno de los tratamientos.

Por último dependiente al sexo de los animales, Brustolini *et al.* (2019) argumentan que los estrógenos (hormonas presentes mayormente en hembras) son los responsables de desencadenar el aumento de grasa en la canal y que la castración de los cerdos machos provoca una reducción en la concentración de andrógenos en sangre como la testosterona, cuya ausencia desencadenara conductas feminizadas en los cerdos machos como el notable aumento del EGD en la canal, efecto que se observó en la presente investigación.

En el caso específico de la suplementación de Met Cr, González *et al.* (2018) reportaron un aumento del EGD y han sugerido que la deposición de grasa es debido al incremento de glucosa en el interior de la célula. Lo anterior se refiere a que cuando la glucosa disponible es suficiente para abastecer la síntesis y el mantenimiento muscular, la glucosa celular excedente se convierte en energía que podrá ser utilizada para la conversión de grasa en los adipocitos (lipogénesis) y por consiguiente aumentará el depósito de la anterior en la estructura corporal del cerdo.

A diferencia de nuestra investigación, Gonzalez *et al.* (2018) determinaron que el engrasamiento subcutáneo de la canal de cerdos suplementados con 0.8 mg de Met Cr/kg de alimento, durante etapas de crecimiento y finalización tuvo la misma magnitud sin importar el tiempo de consumo (90 días de nacidos hasta 161 días de nacidos), por ende se sugiere que la acción del cromo inicia desde los primeros días de la suplementación y, probablemente, bajo ciertas circunstancias sea conveniente suplementar a mayor peso. Lo anterior concuerda con las investigaciones de Boleman *et al.* (1995) y González *et al.* (2018) quienes encontraron que la suplementación con cromo incrementó la proporción de tejido muscular en la canal de los cerdos, en relación a la proporción de grasa cuando fueron suplementados hasta el periodo de finalización, pero no se detectaron mejorías cuando se suplementó desde la etapa de crecimiento. En el presente experimento, el efecto de la Met Cr fue más evidente cuando la suplementación se realizó en periodos cortos, lo que

sugiere una tendencia a presentar una mayor tasa de retención de tejidos musculares en los animales suplementados a mayor peso.

La variable de marmoleo no se vio afectada por los tratamientos, de manera similar a lo reportado por Jin *et al.* (2018) quienes suplementaron dosis bajas de Met Cr (0.2 mg de Met Cr /kg de alimento) en dieta de cerdos y no encontraron ningún efecto significativo. Sin embargo, en el mismo estudio al administrar la combinación de 15 mg Pioglitazona + 0.2 mg de Met Cr /kg de alimento a dietas de cerdos, encontraron un aumento en la grasa intramuscular (19%) y en el puntaje de marmoleo (25%), en comparativa con las canales del grupo control. Es necesario aclarar que pese al efecto positivo de la combinación de Pioglitazona + Met Cr, la puntuación de marmoleo fue de 2 según la clasificación de la USDA, de manera similar a los resultados encontrados en el presente estudio. Los autores describen, que el efecto positivo sobre el marmoleo mediante del uso de Pioglitazona en la dieta de cerdos podría deberse a que este aditivo tiene mayor efecto sobre la deposición de grasa y en comparativa, Met Cr sobre la síntesis de proteínas gracias al efecto potencializador de la insulina. En el presente estudio el uso de RAC no redujo la puntuación de marmoleo en el músculo LT. Lo anterior no concuerda con lo reportado por Armstrong *et al.* (2004) quienes reportaron que el uso de RAC a lo largo del tiempo (6 a 34 días), se manifestó en una reducción lineal del marmoleo y de la cantidad de grasa extraída químicamente del músculo LT. En el presente estudio el AOC en las canales de cerdos suplementados, no tuvo efecto del tratamiento o del sexo de los animales. Estos resultados son diferentes a los descrito por González *et al.* (2018) quienes encontraron que al adicionar dosis incrementadas (0.6 - 0.8 de Met Cr /kg alimento) de Met Cr y finalizar a los cerdos a 100 kg, provocó un aumento del AOC. De manera similar otros autores, describen que la suplementación con RAC influyó positivamente en el AOC, al aumentar aproximadamente 7% en los animales que recibieron el referido agonista en la dieta (Armstrong *et al.*, 2004 y Xiong *et al.*, 2006). En el presente estudio se esperaba ver un aumento del AOC, ya que se ha correlacionado al incremento en el PF, PS, PCC y PCF. Sin embargo, al no encontrar lo esperado, se podría suponer que el aumento de peso en las canales de cerdos suplementados puede estar asociado a un aumento en la deposición de grasa y/o en el peso de vísceras, lo que se reduce a canales con un menor porcentaje de carne comercializable comestible. El pH de la carne a las 24 h *postmortem* de los cerdos suplementados con Met Cr no presentó efecto significativo del tratamiento o sexo de los animales (5.39-5.40). De manera similar al presente estudio Almeida *et al.* (2010) reportaron que el uso de Met Cr y RAC (0.4 mg Met Cr /Kg de alimento y 10 ppm/ Kg alimento, respectivamente) durante periodos largos (97 días), no ocasionó

un efecto sobre el pH de la carne de cerdo a las 24 h. Por otro lado, Lidemann *et al.* (2008) suplementaron 0.4 mg Met Cr / kg de alimento durante 75 días, el pH a las 24 h mostró valores compatibles a los del presente estudio (5.40 vs 5.38). Otros autores (Peres *et al.*, 2014 y Jin *et al.*, 2018) reportaron valores superiores para pH24 (5.74 vs 5.57) al administrar dosis bajas de Met Cr (0.2 mg Met Cr / kg de alimento). Lo anterior sugiere un efecto lineal sobre la dosificación de Met Cr en el pH24 en la carne de cerdo, esto significa, que a dosis bajas de Met Cr el pH24 incrementa y en caso contrario, a dosis altas el valor de pH24 va en decremento. Otra forma de explicar los hallazgos en el pH24 podría ser relación a condiciones de estrés previo al sacrificio, como ejemplo, el manejo, transporte, movilización y condiciones de estrés térmico de los animales. Sin embargo, pese a que los valores de pH24 encontrados en el presente estudio fueron más bajos a los reportados en otros estudios, estos oscilan en la normalidad lo que permite concluir que el manejo antemortem que se siguió en la presente investigación, fue el adecuado por lo que la caída de pH sucedió dentro de un rango de velocidad aceptable para evitar la condición PSE (carne pálida suave y exudativa). En general la suplementación de Met Cr mejoró algunas de las características de calidad de la canal (PS, PCC, PCF) con respecto a la información de otros investigadores, por lo que es importante definir el momento adecuado para iniciar su suplementación y considerar las metas productivas para poder estipular el peso de término o finalización de los cerdos.

6.3 Calidad de la Carne

6.3.1 Calidad Química y Fisicoquímica

En el Cuadro 7 se muestran los resultados de la composición proximal, el esfuerzo al corte (EC), las pérdidas por cocción (PPC), el pH y la capacidad de retención de agua (CRA) de la carne de los cerdos suplementados, donde se puede observar, que ninguno de los parámetros de calidad de la carne anteriormente mencionados, fueron modificados por los tratamientos evaluados ($P > 0.05$). En cuanto al parámetro pH, como se comentó en la sección 6.2 de la presente investigación los valores oscilan en la normalidad al obtener entre 5.43 a 5.47 puntos en el pH final de la carne. Conforme a lo descrito por Scheffler-Gerrard (2007) el pH en músculo vivo del cerdo es cercano

a 7.0, posterior al sacrificio del cerdo el pH disminuye gradualmente a valores de entre 5.6 a 5.7 (6-8 horas *postmortem*), pero es hasta las 24 horas *postmortem* cuando el descenso del pH se detiene para mantenerse constante a valores de entre 5.4 a 5.7.

Cuadro 7. Calidad Fisicoquímica y Composición Proximal de la Carne de Cerdos Suplementados con Metionina de Cromo o Ractopamina en dos Periodos de Engorda en Corral Bajo Estrés Calórico

Variables	Tratamientos ¹					Valor de P
	Testigo	RAC	Cr-C	Cr-L	EEM ²	
pH	5.48	5.43	5.46	5.47	5.02	0.905
CRA ³ , %	78.34	78.69	79.35	77.04	1.44	0.720
EC ⁴ , Kg F	6.95	6.56	6.39	6.07	0.32	0.275
PPC ⁵ , %	21.71	22.92	21.52	21.67	1.15	0.812
<i>Composición proximal</i>						
Humedad, %	70.97	71.43	71.59	71.92	0.42	0.462
Grasa, %	2.02	1.86	2.07	1.76	0.40	0.942
Proteína, %	21.70	21.10	20.16	22.23	0.63	0.142
Cenizas; %	1.24	1.37	1.38	1.20	0.12	0.601

¹ Tratamientos: Testigo, cerdos alimentados con la dieta basal (DB); RAC, DB + suplementación de 10 mg de clorhidrato de ractopamina/kg alimento; Cr-C, DB + suplementación de 0.4 mg de metionina de cromo/kg alimento por 34 días previo al sacrificio; Cr-L, DB + suplementación de 0.4 mg de metionina de cromo/ kg alimento por 81 días.² Media de n=8 por tratamiento.² EEM: error estándar de la media. ³ CRA: Capacidad de retención de agua; ⁴ Esfuerzo al corte Warner-Bratzler. ⁵ PPC: Pérdida de peso por cocción.

Cabe resaltar que los informes de literatura que describen los efectos de la suplementación con Met Cr sobre la calidad del músculo LT han sido inconsistentes y variables (Jin *et al.*, 2018, Peres *et al.*, 2014 y Almeida *et al.*, 2010) pero concuerdan entre sí al no encontrar diferencias en el pH final de la carne al utilizar tratamientos con cromo orgánico o quelatado. A pesar de que el comportamiento del pH de la carne de cerdos suplementados con RAC no fue diferente de los demás tratamientos, el valor fue numéricamente menor, y esto se puede aludir a que los agonistas β -adrenérgicos reflejan una menor producción de ácido láctico en la carne (Warriss *et al.*, 1990). En cuanto a la CRA, según León *et al.* (2018), esta variable determina la aptitud de la carne para mantener ligada su propia agua bajo la influencia de fuerzas externas, generalmente sus valores son expresados en porcentaje y representan el agua perdida por efecto de centrifugación, de manera normal la CRA de la carne de cerdo oscilan entre un 75 a 90%.

En base a los autores citados previamente, los resultados de la CRA de la carne de los cerdos suplementados de la presente investigación se encuentran dentro del rango normal esperado y sin cambios debido a los tratamientos. Resultados similares fueron descritos por Zhang *et al.* (2011) quienes al administrar 0.4 mg de picolinato de cromo /kg de alimento, encontraron valores normales de CRA de la carne de los cerdos suplementados. Por lo que se puede concluir que las fuentes orgánicas de cromo ayudan a mantener los valores de CRA dentro del rango de normalidad. La importancia de mantener la normalidad en los valores de CRA asegura la preservación sensorial de otras propiedades de calidad de la carne como el color, la textura y la firmeza. Además, una mayor CRA del músculo permite salvaguardar nutrientes propios de la carne al retener vitaminas, sales minerales y aminoácidos, y no permitir que estos nutrientes sean arrastrados junto con el agua perdida en forma de exudado (Cori *et al.*, 2014). Por último, a nivel industria una mejora en la CRA de la carne representa la conservación del peso, el rendimiento y el valor económico de los productos cárnicos.

En el caso específico del EC los resultados obtenidos en el presente estudio no fueron significativamente diferentes con los obtenidos con el tratamiento control, lo cual no están en concordancia con los reportados por Sánchez *et al.* (2013) quienes al administrar dosis similares a las del presente estudio (0.4 mg de Met Cr / kg alimento) en dietas de cerdos encontraron una reducción del EC de la carne de los cerdos suplementados en comparación con el grupo no suplementado. En el mismo sentido, González *et al.* (2018) reportaron una mayor suavidad en la carne de los cerdos suplementados cuando se dosificaron dosis altas de Met Cr (0.8 mg de Met Cr / kg alimento) a la dieta de los cerdos durante tiempos de exposición largos (71 días) y cuando dichos animales iniciaron la suplementación a pesos más ligeros (60 kg vs 100 kg). Del mismo modo, Li *et al.* (2013), reportaron que el suplementar dosis incrementadas de Met Cr (0.9 mg de Met Cr / kg alimento) durante periodos cortos de 28 días mejoran la suavidad de la carne.

Los estudios previos sugieren que para disminuir los resultados del EC y mejorar la suavidad de la carne de los cerdos suplementados con Met Cr es importante seleccionar la dosis de exposición al suplemento. Por ejemplo, si la suplementación se realizara durante periodos cortos se recomienda utilizar dosis altas de Met Cr (0.6 a 0.9 Met Cr / kg alimento) para poder encontrar un efecto del tratamiento sobre el EC. De manera inversa, cuando la suplementación sea por periodos largos se esperaría que utilizar dosis bajas de Met Cr (0.2 a 0.4 Met Cr / kg alimento) sean suficientes para causar un efecto significativo en la reducción del EC debido a que el tiempo de exposición al suplemento es mayor, situación que no sucedió en la presente investigación.

Durante varios años se han documentado las causas que afectan la terneza de la carne, tanto la cantidad y características de: el tejido conjuntivo, agua (jugosidad), grasa intramuscular y el colágeno (cuyos cambios en solubilidad promueve un mayor número de entrecruzamientos covalentes que influyen de forma importante en la dureza de la carne) repercuten directamente en la suavidad de la carne (Braña *et al.*, 2011). Además, la raza de los animales, el sistema de producción (extensivo, intensivo, mixto), el sacrificio, los sistemas de conservación de la carne (refrigeración, congelación, maduración), la temperatura de cocción, el acortamiento de los sarcómeros y el grado de proteólisis afectan o benefician a la carne (Honikel, 1998). Asegurar una buena textura de la carne es fundamental, debido a que los consumidores relacionan como ideal una mayor terneza y jugosidad de los productos, evitar la dureza en la carne resulta primordial.

Respecto a la variable de PPC tampoco se encontró un efecto del tratamiento. Los resultados del presente estudio reflejaron un efecto contrario a los previamente reportados por González *et al.* (2018) y Jin *et al.* (2018), quienes encontraron un efecto significativo sobre la reducción de las PPC en carne de cerdos suplementados con dosis de 0.2 a 0.8 mg de Met Cr /kg de alimento. Sin embargo, los valores de la presente investigación se asemejan numéricamente a los de los autores anteriormente citados (dentro del 20%) y se encuentran dentro del rango de la normalidad según los valores de pérdidas por cocción en carne fresca de cerdo (10-20% en los primeros 5 días de almacenamiento en refrigeración) (Castro *et al.*, 2013).

En base al análisis de composición química de la carne de los cerdos suplementados la variable humedad no presentó efecto de los tratamientos ($P>0.05$). En un estudio realizado Tian *et al.* (2015) quienes evaluaron el porcentaje de humedad de la carne de cerdos suplementados con una dosis similar a la del presente estudio (0.4 Met Cr / kg alimento), reportaron que no existió efecto de los tratamientos, dicha investigación se asemeja al presente estudio al encontrar valores de humedad de alrededor de 72%. Según la USDA (2019) el porcentaje de humedad en lomo de cerdo es de 69.7%, la variabilidad mínima en los porcentajes de humedad no representa un defecto en la muestra cárnica.

Como continuación de la composición proximal, el contenido de grasa intramuscular fue similar entre tratamientos ($P>0.05$). Se esperaba una reducción del contenido de grasa en la carne de los animales suplementados con RAC, debido a los efectos lipolíticos y de inhibición de la lipogénesis que se traducen en una reducción en el porcentaje de grasa en el lomo de cerdo (Moody *et al.*, 2000). Sin embargo, esto no ocurrió. Respecto a la suplementación de Met Cr, ninguno de los dos tiempos de exposición a Met Cr afectó el contenido de grasa, lo cual es contrario a lo reportado por

Ohh *et al.* (2005) y Jin *et al.* (2018), quienes suplementaron Met Cr durante periodos largos y encontraron una disminución en el % de grasa en lomo de cerdo y una mejora en la concentración de los ácidos grasos oleico y linoleico.

En el caso específico del porcentaje proteína no se encontró efecto de los tratamientos ($P > 0.05$). Estos resultados no concuerdan un estudio previo donde se utilizó una dosis de 10 ppm de RAC en dietas de cerdos finalizadores, y encontraron que RAC ocasionó un incremento en el nivel de proteína cruda (%) en músculo de cerdo de alrededor de 6 a 8% (Armstrong *et al.*, 2004), situación que no se observó en la presente investigación. Es importante aclarar que los efectos positivos de RAC sobre el aumento del % de proteína cruda en músculo de cerdo solo se evidencian cuando niveles altos de proteína cruda son usados en la dieta (Xiao *et al.*, 1999). Diversas casas comercializadoras de RAC recomiendan incrementar el contenido de proteína cruda en la dieta cuando se utilice el aditivo, mínimamente se debe asegurar un contenido total de proteína cruda en dieta del 16% (PISA, 2022), lo anterior, se debe a que los requerimientos proteicos de animales suplementados con RAC son mayores que animales no suplementados (Dunshea *et al.*, 1993). En la presente investigación no se previno tal condición, debido a que la dieta basal administrada a los cerdos en finalización (Cuadro 4) contenía alrededor de 14% de proteína cruda, lo que pudo haber condicionado los resultados el resultado final del % de proteína cruda en la carne de los cerdos suplementados.

Por último, los resultados de porcentaje de cenizas no fueron significativos. Pese a que en teoría se podría pensar que los tratamientos Cr-C y Cr-L podrían resultar con un % más alto de ceniza en comparativa con el grupo TES, ya que debido a la naturaleza del suplemento Met Cr (rico en cromo), se esperaría un aumento de la cantidad de cromo presente en la muestra cárnica. Sin embargo, los resultados no resultan distintos entre sí, por lo que se puede inferir que la Met Cr es debidamente metabolizada por el cerdo y no se presenta como trazas de residuo en la muestra cárnica, y de manera general la totalidad de los datos se encuentran dentro del rango de la normalidad entre el 1 y 2% (USDA, 2019).

Con respecto al perfil de ácidos grasos, en la actualidad los consumidores son más conscientes sobre el beneficio del consumo de grasa de buena calidad en su dieta diaria observándose una tendencia en la preferencia de productos que denoten menor contenido de ácidos grasos (AG) saturados y mayor contenido de ácidos grasos insaturados, debido a que este tipo de consumo de lípidos es considerado como benéfico para su salud, por lo que identificar la concentración de los diversos AG presentes en los alimentos (perfil de ácidos grasos) es importante.

De manera general, en el perfil lipídico de la grasa intramuscular del LT de todos los tratamientos (Cuadro 8) se observó que los principales AG saturados fueron el ácido palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0); el ácido oleico (C18:1 ω 9c) fue el AG monoinsaturado más abundante, mientras que el ácido linoleico fue el ácido graso poliinsaturado mayormente detectado.

Cuadro 8. Valores de Ácidos Grasos Detectados (%) en la Grasa Intramuscular del Músculo *Longissimus Thoracis* de Cerdos Suplementados con Metionina de Cromo o Ractopamina Bajo Estrés Calórico

Ácido graso, %	Tratamientos ¹					Valor de P
	Testigo	RAC	Cr-C	Cr-L	EEM ²	
C10:0	0.07	0.06	0.09	0.07	0.01	0.460
C12:0	0.08	0.07	0.10	0.08	0.01	0.459
C14:0	1.39	1.28	1.44	1.40	0.05	0.249
C16:0	26.13	25.39	26.51	26.40	0.42	0.283
C16:1	3.10	2.79	2.94	3.02	0.11	0.264
C17:0	0.06	0.14	0.11	0.11	0.04	0.488
C17:1	0.05	0.08	0.07	0.09	0.02	0.689
C18:0	14.70	14.40	15.58	15.37	0.40	0.126
C18:1 ω 9c	42.03	40.67	41.53	41.15	0.71	0.614
C18:2 ω 6t	0.07	0.08	0.11	0.11	0.02	0.585
C18:2 ω 6c	8.55	10.04	7.99	8.51	0.65	0.143
C18:3 ω 3	0.43	0.45	0.41	0.41	0.03	0.791
C20:0	0.09	0.10	0.15	0.15	0.029	0.301
C20:1 ω 9	0.72	0.72	0.72	0.74	0.07	0.983
C20:2	0.36	0.42	0.33	0.37	0.03	0.403
C20:3 ω 6	0.25	0.38	0.23	0.29	0.04	0.080
C20:4 ω 6	1.52 ^a	2.47 ^b	1.27 ^a	1.50 ^a	0.17	0.001
C20:3 ω 3	0.01	0.06	0.05	0.04	0.02	0.548
C24:0	0.27	0.36	0.24	0.27	0.04	0.209

¹ Tratamientos: Testigo, cerdos alimentados con la dieta basal (DB); RAC, DB + suplementación de 10 mg de clorhidrato de ractopamina/kg alimento; Cr-C, DB + suplementación de 0.4 mg de metionina de cromo/kg alimento por 34 días previo al sacrificio; Cr-L, DB + suplementación de 0.4 mg de metionina de cromo/ kg alimento por 81 días. ² EEM: Error estándar de la media de n=8. ab Medias con diferente literal, indican diferencia (P<0.05). ab Medias con diferente literal, indican diferencia (P<0.05).

Con respecto al efecto de los tratamientos, no se observó efecto de las dietas experimentales sobre el contenido de algún ácido graso individual ($P>0.05$), excepto el efecto observado en el contenido del ácido graso C20:4 ω 6 ($P<0.05$). De manera específica se observó que el contenido de C20:4 ω 6 (ácido araquidónico) incrementó un 62.5% en la carne de RAC en comparativa con TES (1.52 vs 2.47); y por otro lado, ambos tratamientos de cromo presentaron valores similares al grupo TES. Dichos resultados concuerdan con Trujillo *et al.* (2020) quienes al administrar dosis de 10 ppm de RAC y 0.4 mg de cromo orgánico /kg de alimento en dietas de cerdos, encontraron modificaciones sobre la concentración de AG poliinsaturados en la carne de los cerdos suplementados, observándose que el grupo RAC incrementó la relación de ácido araquidónico en la muestra cárnica en comparativa con el grupo TES. Por otro lado, Jin *et al.* (2018) y Tian *et al.* (2015) suplementaron 0.2 mg de Met Cr /kg de alimento en dieta de cerdos, y sus resultados demostraron que la concentración de ácido araquidónico en la carne de los cerdos suplementados con Met Cr no se vio modificada por el tratamiento, al ser similar al grupo TES. El ácido araquidónico (AA) es considerado como un AG esencial, al ser precursor de los eicosanoides (sustancias mediadoras de la inflamación, respuesta inmune, vasodilatadores, entre otros). Es sumamente importante en lactantes; sin embargo, en adultos sanos no es necesario suplementarlo si la dieta habitual proporciona cantidades de ácido linoleico mayores de 2.5% (De Caterina *et al.*, 2000 y Adam *et al.*, 2003). Lo anterior, lleva a inferir que no necesariamente un mayor contenido de AA en la carne (RAC) denota una mayor calidad del producto, sino que la carne proveniente del grupo TES y de ambos tratamientos de cromo presenta valores dentro del rango de la normalidad en el perfil lipídico, y cuyos valores numéricos se consideran adecuados para cubrir los requerimientos nutricionales de la dieta en una persona adulta.

En el Cuadro 9 se muestran los resultados de las sumatorias de AG y sus relaciones nutricionales. Se observó un efecto de la dieta ($P<0.05$) sobre las sumatorias de AG polinsaturados (Σ AGP) y omega 6 (Σ n-6), donde ambas variables se vieron incrementadas para RAC (33% Σ AGP y 35% Σ n-6) en comparativa con el grupo Cr-C, además tanto el grupo TES y Cr-L fueron similares a RAC y a Cr-C ($P>0.05$). Con respecto a la relación de AGP/AGS, también hubo efecto de tratamientos ($P<0.05$), observándose que esta relación nutricional fue mayor en un 47% para el grupo RAC comparado con Cr-C y tanto TES como Cr-L fueron similares a RAC y a Cr-C ($P>0.05$). Por último la relación omega 6/ omega 3 (n-6/n-3) se vio incrementada en un 15% para RAC en comparativa con el grupo TES ($P<0.05$), mientras que ambos grupos de cromo presentaron valores similares a TES. Las sumatorias Σ AGS, Σ AGM, Σ n-3 y la relación AGM / AGS, no mostraron efecto de la

suplementación dietaria de Met Cr o RAC ($P>0.05$). De manera general, las sumatorias de los AG saturados e insaturados (\sum AGS, \sum AGM, \sum AGP, \sum n-3 y \sum n-6) de la presente investigación concuerdan con valores determinados por otros autores (Jin *et al.*, 2018, Untea *et al.*, 2017 y Tian *et al.*, 2015) encontrándose dentro del rango reportado para carne de cerdo finalizado comercialmente con dieta alta en grano. Aunque la suplementación con RAC incrementó la \sum AGP en la presente investigación, resultados diferentes fueron reportados por Trujillo *et al.* (2020) quienes de manera inversa encontraron valores inferiores de la \sum AGP.

Cuadro 9. Sumatorias de los Ácidos Grasos y sus Relaciones Nutricionales de la Grasa Intramuscular del Músculo *Longissimus Thoracis* para cada Tratamiento Experimental.

Ácido graso, %	Tratamientos ¹					Valor de P
	Testigo	RAC	Cr-C	Cr-L	EEM ²	
\sum AGS ³	42.82	41.83	44.25	43.88	0.77	0.122
\sum AGM ⁴	45.92	44.28	45.25	45.01	0.80	0.530
\sum AGP ⁵	11.25 ^{ab}	14.04 ^b	10.49 ^a	11.05 ^{ab}	0.87	0.026
AGM / AGS	1.07	1.06	1.02	1.03	0.03	0.610
AGP/ AGS	0.26 ^{ab}	0.34 ^b	0.23 ^a	0.25 ^{ab}	0.02	0.019
\sum n-3 ⁶	0.44	0.51	0.46	0.45	0.05	0.758
\sum n-6 ⁷	10.36 ^{ab}	13.01 ^b	9.57 ^a	10.11 ^{ab}	0.84	0.025
n-6 / n-3	23.60 ^a	27.35 ^b	21.02 ^a	22.71 ^a	1.04	0.029

¹ Tratamientos: Testigo, cerdos alimentados con la dieta basal (DB); RAC, DB + suplementación de 10 mg de clorhidrato de ractopamina/kg alimento; Cr-C, DB + suplementación de 0.4 mg de metionina de cromo/kg alimento por 34 días previo al sacrificio; Cr-L, DB + suplementación de 0.4 mg de metionina de cromo/ kg alimento por 81 días; ² EEM: error estándar de la media de n=8; ³AGS: ácidos grasos saturados; ⁴ AGM: ácidos grasos monoinsaturados; ⁵ AGP: ácidos grasos poliinsaturados; ⁶ n-3: ácidos grasos omega 3 ; ⁷ n-6: ácidos grasos omega 6.

Por otro lado, Untea *et al.* (2017) no encontraron ningún efecto de los tratamientos sobre la modificación \sum n-6, tal como sucedió en la presente investigación. Las variaciones entre investigaciones pueden estar relacionadas a los distintos periodos de suplementación en dieta (largo vs corto), un ejemplo claro, es que, a pesar de que no se registró diferencia estadística para el tratamiento con Cr-L en comparativa con el grupo Cr-C o TES, existió una tendencia a que a medida que incrementa los días de suplementación con cromo en la dieta, la concentración de estos AG aumenta.

En cuanto a las relaciones de AG (AGM / AGS, AGP/ AGS y n-6 / n-3), la FAO indica que la relación idónea de un alimento para AGM/AGS debería ser cercana a 1:1, y de 5:1 para el caso de n-6/ n-3 al poder esta última verse incrementada, pero sin rebasar la relación 10:1 como máximo (Zamorano *et al.*, 2010 y FAO, 2010). Por otro lado, Wood *et al.* (2003) describen que la relación entre AGP/AGS recomendada debería estar por encima de 0.4 y naturalmente algunas carnes tienen una relación menor (0.1) a este valor, que produce un desbalance directo en la concentración de AG de los consumidores. Lo anterior, indica que en la presente investigación el tratamiento que presentó un mayor valor en la relación AGP/AGS fue RAC y dicho valor se encuentra cercano a los valores recomendados como ideales (0.34 vs 0.4). Además, concuerda con los resultados de Trujillo *et al.* (2020) y Tavárez *et al.* (2012) quienes al suplementar 10 ppm de RAC encontraron un incremento en la relación AGP/AGS.

En cuanto a la relación n-6/ n-3, los valores de todos los tratamientos se encuentran por encima de la recomendación anterior y de la máxima aceptable (10:1). Lo anterior se debe a que en producción de cerdos las dietas administradas están basadas principalmente en cereales cuyo contenido es bajo en C18:3 (ácido linolénico) y alto en C18:2 (ácido linoleico), n-3 y n-6 respectivamente, lo que ocasiona en la carne una relación n-6/ n-3 indeseablemente alta. En caso contrario, los rumiantes presentan una relación de n-6/ n-3 beneficiosa, debido a que su dieta es rica en el consumo de pastizales, donde predomina el C18:3 (Williams, 2000). Sin embargo, al comparar el perfil de ácidos grasos de carne de cerdo vs carne de rumiantes como la de bovino y cordero, se puede observar que la composición de grasa y el contenido de AG saturados en el músculo *Longissimus* es mayor en la carne de rumiantes y menor en carne de cerdo, esta última es superior en AG polinsaturados considerados como beneficiosos para la salud humana (Enser *et al.*, 1996 y Wood *et al.*, 2003). Los resultados de la presente investigación confirman que la carne de cerdo es una fuente rica de AG insaturados, que representa un producto final con alto valor nutricional para los consumidores, además en cuestión de calidad, los consumidores buscan que la carne de cerdo cumpla con una buena palatabilidad, jugosidad, terneza y sabor, que indudablemente mejoran al tener niveles normales de AG insaturados en la carne.

6.3.2. Estudio de Estabilidad en Refrigeración a 4 °C

En el Cuadro 10 se describen los hallazgos del estudio de estabilidad del color y la oxidación de la carne durante su almacenamiento en refrigeración por siete días a 4 °C. En cuanto al color de la carne de los cerdos suplementados, se observó un efecto ($P < 0.05$) de los tratamientos y del tiempo de refrigeración, sobre la coordenada cromática L^* . Se observó que la carne de los cerdos suplementados con Cr-C fue más luminosa en comparativa con los demás tratamientos ($P < 0.05$). Por otro lado, los valores de L^* de los tratamientos restantes (TES, RAC y Cr-L) oscilaron en alrededor de 52 (día 1) y 57 (día 7) puntos, y no se encontraron diferencias ($P > 0.05$) entre grupos. Con respecto al efecto del tiempo de almacenamiento, de manera general el valor de L^* fue inferior ($P < 0.05$) en el día 1 en comparativa con el día 7. Por último, no se observó un efecto significativo ($P > 0.05$) en la interacción entre tratamiento x tiempo de almacenamiento, para el parámetro L^* .

Cuadro 10. Parámetros de Color, Oxidación Lipídica y Proteica de la Carne de Cerdos Suplementados con Metionina de Cromo Durante Su Almacenamiento en refrigeración a 4 °C.

Tratamiento ¹	Variables					
	L^*	a^*	b^*	Matiz	TBARS ²	MetMb ³
<i>Día 1</i>						
Testigo	52.28 ^a	6.88	6.26	41.76	0.245	43.54
RAC	52.82 ^a	7.2	6.39	41.47	0.221	45.05
CR-C	57.26 ^b	7.49	7.06	43.66	0.207	40.73
CR-L	52.42 ^a	6.55	6.11	42.7	0.25	38.65
<i>Día 7</i>						
Testigo	54.78 ^a	3.3	6.46	62.42	0.871	64.01
RAC	57.21 ^a	3.39	7.19	64.88	0.703	64.82
CR-C	60.16 ^b	4.09	7.51	64.93	0.783	63.23
CR-L	57.40 ^a	3.72	7.51	63.89	1.067	61.7
EEM ⁶	1.59	0.49	0.52	2.33	0.12	1.84
<i>Valores de P</i>						
Tratamiento	0.013	0.49	0.084	0.826	0.447	0.064
Día	0.001	0.0001	0.015	0.0001	0.0001	0.0001
Tratamiento x día	0.843	0.788	0.653	0.938	0.62	0.778

¹ Tratamientos: Testigo, cerdos alimentados con la dieta basal (DB); RAC, DB + suplementación de 10 mg de clorhidrato de ractopamina/kg alimento; Cr-C, DB + suplementación de 0.4 mg de metionina de cromo/kg alimento por 34 días previo al sacrificio; Cr-L, DB + suplementación de 0.4 mg de metionina de cromo/ kg alimento por 81 días. ² TBARS: sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (mg de malonaldehído/kg tejido); ³ MetMb: Porcentaje de metamioglobina. ⁶ EEM: error estándar de la media (n=8 por tratamiento). ab Medias con diferente literal, indican diferencia ($P < 0.05$)

Los resultados de los parámetros de color a^* , b^* y ángulo de matiz, así como la oxidación lipídica (TBARS) y oxidación proteica (MetMb) de la carne de los cerdos suplementados, resultaron afectados por el tiempo de almacenamiento en refrigeración ($P < 0.05$). En general, los valores de los parámetros fueron inferiores en el día 1 en comparativa al día 7, a excepción del parámetro de color a^* donde el comportamiento fue a la inversa (mayor al día 1, y menor al día 7). No se encontró efecto de los tratamientos ($P > 0.05$), ni de la interacción entre tratamiento x tiempo de almacenamiento ($P > 0.05$) para los parámetros anteriormente citados.

Con respecto a los resultados de color L^* (conocido como luminosidad, donde, a mayor valor indica un color más brillante), el grupo Cr-C difirió estadísticamente al día uno y siete de los demás tratamientos al presentar valores más altos, lo que indica que la carne de los cerdos suplementados con Cr-C al día uno fue más luminosa y brillante. El efecto del parámetro L^* del presente estudio concuerda con lo reportado por Sánchez *et al.* (2013) quienes al administrar dosis similares a las nuestras (0.4 mg de Met Cr / kg alimento) encontraron un valor mayor de L^* en la carne de los cerdos suplementados.

Los resultados observados en el valor L^* por efecto del tiempo de almacenamiento, concuerdan con lo reportado por Lindemann *et al.* (2008), quienes evaluaron el color de la carne de los cerdos suplementados con cromo y observaron valores superiores de L^* al día cinco, en comparativa con el día uno, tal como en la presente investigación.

El aumento del parámetro L^* al día siete en el presente estudio, está relacionado con la cantidad de luz reflejada por la carne, que puede deberse a factores químicos, como la desnaturalización proteica (que incrementa con el tiempo de almacenamiento) que provocan cambios ópticos en la percepción del color de la carne. La desnaturalización de proteínas limita la habilidad del músculo para retener el agua y causa que se libere, para formar exudados en la superficie externa de la carne (Fennema, 1990), que provocaran un incremento en la luminosidad de la carne. Además, a medida que las proteínas se desnaturalizan, las fibras musculares pierden su estructura original y causan que la luz incidente hacia la célula sea mayor, por ende se produzca una mayor reflectancia (Oyagüe, 2007), lo que deriva en un aumento del parámetro L^* en la carne de los cerdos.

En la presente investigación la variable color a^* no tuvo influencia de los tratamientos, sin embargo, se observó efecto del factor tiempo al presentarse valores superiores al día uno en comparativa con el día siete. Resultados similares fueron reportados por Lindemann *et al.* (2008) quienes encontraron valores superiores del parámetro a^* en la carne de cerdos suplementados al

día uno en comparativa con el día cinco, según su estudio. Dicho efecto podría deberse a que en los primeros días de estudio la mioglobina de la carne de los cerdos suplementados mostró alta afinidad por el oxígeno, transformándose a su forma activa conocida como oximioglobina, que está relacionada con el color rosáceo de la carne. Conforme los días pasan la oximioglobina puede sufrir una oxidación no enzimática, al dar lugar a la metamioglobina, pigmento que induce el color oscuro a la carne, fenómeno coloquialmente denominado como “decoloración de la carne” (Kim *et al.*, 2009).

Investigaciones previas han descrito que el valor de b^* indica el amarilleo de la carne y es utilizado para estimar el estado químico de la mioglobina (Oyagüe, 2007). En el presente estudio el parámetro de color b^* no presentó efecto del tratamiento, lo anterior concuerda con el estudio de Almeida *et al.* (2010) quienes no reportaron un efecto significativo de la suplementación de Met Cr sobre el parámetro de color b^* en la carne de cerdos suplementados, al ofrecer dosis similares a las nuestras (0.4 mg/kg Met Cr) en dieta de cerdos. En otros estudios realizados por González *et al.* (2018) y Lindemann *et al.* (2008) observaron un efecto del tratamiento al suplementar dosis superiores de Met Cr (0.5 y 0.8 mg/kg de Met Cr, respectivamente), se observó un decremento en el valor de b^* de la carne. Además, en nuestra investigación el factor tiempo mostró un efecto significativo sobre el parámetro de color b^* , al obtener valores ligeramente mayores de b^* al día siete en comparativa con el día uno, estos resultados concuerdan con Lindemann *et al.* (2008) quienes reportaron que los valores de b^* son mayores conforme aumentan los días de almacenamiento (día 1 vs día 5).

Como continuación, los resultados del matiz de la carne de los cerdos suplementados del presente estudio no mostraron efecto de los tratamientos, pero sí del tiempo de almacenamiento. A grandes rasgos el matiz de la carne fue inferior en la determinación al día uno en comparativa con el día siete (41.76 vs 64.93). Lo anterior podría explicarse debido a que en el espacio de color (CIE $L^*a^*b^*$) un ángulo de matiz cercano a cuarenta y cinco grados es indicativo de un tono rojo (Konica Minolta®, 2020). En el presente estudio, el resultado del matiz al día uno en la carne de los cerdos suplementados podría relacionarse con la concentración de oximioglobina presente en la carne fresca. Por otro lado, un ángulo de matiz cercano a sesenta grados revela tonos amarillos dorados, que con respecto a la carne de nuestra investigación pudiese ser un indicativo de cambios en la composición o deterioro de los ácidos grasos presentes en la grasa intramuscular (Joo *et al.*, 2002). Las discrepancias en los resultados de los parámetros de color (L^* , a^* , b^* y matiz) reportados por

los autores citados previamente, podría deberse a factores como: diferencias en el nivel de suplementación de Met Cr en la dieta de los cerdos, selección del método y la herramienta para la determinación de color en carne. Es necesario aclarar que los estudios cuyos resultados mostraron mayor similitud a los nuestros, fueron aquellos que emplearon equipos colorimétricos pertenecientes a la casa comercial Konica Minolta® (equivalentes al utilizado en la presente investigación).

Por otro lado, con respecto a la oxidación de la metamioglobina (MetMb) de la carne de los cerdos suplementados, se encontró que no existió efecto de los tratamientos, pero si del tiempo de almacenamiento, ya que se obtuvieron valores inferiores del porcentaje de MetMb para el día uno, en comparativa con el día siete. Al recapitular lo que se comentó con anterioridad, la metamioglobina (MetMb) representa la forma oxidada de la mioglobina (Mb) y se genera cuando la Mb se expone al oxígeno durante periodos prolongados, lo que ocasiona la presencia de un color pardo (Ledward, 1992). Lo anterior explica de una manera sencilla por qué el porcentaje de MetMb en la carne de los cerdos suplementados incrementó con los días de almacenamiento, que está íntimamente relacionado con el aumento del tiempo de exposición al oxígeno en la superficie de las muestras cárnicas conforme incrementaron los días de almacenamiento.

Según los resultados descritos por Stanišić *et al.* (2016), quienes analizaron muestras frescas de *M. Longissimus thoracis* de cerdos comerciales y de campo, durante distintos periodos (de 1 a 6 días) de almacenamiento en refrigeración a 4 ± 1 °C, se observó un efecto lineal entre los días de almacenamiento y el aumento del % de MetMb. En otro estudio realizado por Marcinkowska *et al.* (2021) quienes evaluaron el recubrimiento de lomos de cerdo con películas de propóleo durante su almacenamiento a 2 °C en periodos de 1 a 12 días, encontraron un aumento del % de MetMb conforme aumentaban los días de almacenamiento. Ambos estudios concuerdan con los valores de la presente investigación de alrededor del 20% de MetMb en la carne de los cerdos para el día cero/uno de almacenamiento y alrededor del 80% de MetMb en la carne de los cerdos a la semana de almacenamiento.

En cuanto a la oxidación lipídica el parámetro de TBARS de la carne de cerdos suplementados del presente estudio mostró un efecto del tiempo de almacenamiento ($P < 0.05$), donde, al final del almacenamiento (día 7) la carne presentó resultados superiores de oxidación lipídica con respecto al inicio del almacenamiento, cuyos valores fueron inferiores (1.067 día siete vs 0.207 día uno).

Han *et al.* (2006) quienes al almacenar carne de cerdo en refrigeración (4 °C) durante 20 días,

reportaron que los valores de malondialdehído (MDA) incrementaron en carne fresca conforme al tiempo de almacenamiento (0.2 día uno, 0.46 día siete y 1.2 día veinte), además describen que la degradación de la calidad organoléptica de la carne inicia partir de valores de 0.40 mg MDA/kg, hasta alcanzar resultados irreversibles a partir de los 0.5 a 1.1 mg MDA/kg por causa de la oxidación lipídica. Al realizar una comparativa de los valores de malonaldehído (MDA) en carne obtenidos por los autores citados, se puede inferir que la carne de los cerdos suplementados en la presente investigación, obtuvo valores DE MDA indicativos de carne fresca no oxidada, pero no para el final, donde los valores fueron de 2 a 3 veces más altos a los descritos por los autores.

Los valores superiores de malondialdehído (MDA) en carne de los cerdos suplementados en la presente investigación pueden relacionarse a que el almacenamiento de la misma, se llevó a cabo en empaques no especializados (parafilm vs al vacío), con exposición a luz indirecta, que pudo propiciar la afectación de las características originales de la carne de los cerdos suplementados. En función del grado de deterioro observadas en las muestras (aunque no medidas) en el periodo final de almacenamiento la carne presentó un color pálido, olor desagradable, viscosidad y presencia de exudado. Los valores MDA encontrados al día siete indican la degradación de la carne, por lo que instancias como el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) recomiendan el almacenamiento de carne de cerdo empaquetada con parafilm e durante periodos máximos de 3 a 5 días (en refrigeración a 4 °C con presencia de luz), con la finalidad de asegurar la garantía de calidad de la carne (Jing *et al.*, 2017).

La vulnerabilidad oxidativa de la carne al tiempo de almacenamiento se explica por la composición química de la misma, debido a que existe una correlación entre la cantidad y composición de lípidos presentes en la carne, que constituyen sustrato disponible para sufrir reacciones oxidativas (Sánchez, 2003). Además, moléculas como radicales libres y la presencia de hierro son los principales catalizadores de la oxidación de lípidos en carne fresca, que propician la rancidez cárnica, mediante la formación de compuestos de la oxidación lipídica y causan la afectación de la carne (Estévez *et al.*, 2003).

Por último, integrando los resultados del estudio de estabilidad de la carne en refrigeración, se puede aseverar que la suplementación de Met Cr no ocasionó cambios importantes en los parámetros estudiados, y a pesar de que los cerdos estuvieron sometidos a condiciones de estrés calórico, la estabilidad del color de la carne de los animales fue similar a otros estudios con cerdos no estresados. Además, aunque no hubo significancias de los tratamientos en la mayoría de los

parámetros evaluados, la información actual sirve como precedente para continuar con las investigaciones sobre para buscar posibles beneficios de la suplementación de Met Cr sobre la calidad de la carne.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La suplementación de 0.4 mg de metionina de cromo durante un periodo corto (34 d) ocasionó que la ganancia diaria de peso, el peso al sacrificio de los animales y los pesos de la canal, fuesen similares a RAC en cerdos confinados bajo condiciones de estrés calórico.

Contrario a lo hipotetizado, la suplementación de metionina de cromo durante periodos largos (81 d), no mejoró el desempeño productivo de los cerdos.

El sexo de los cerdos afectó el desempeño productivo y algunas características de las canales, al ser mejor en los machos.

La calidad fisicoquímica y la composición proximal de la carne no tuvo cambios significativos por la suplementación dietaria de cromo en dos periodos o por la suplementación de ractopamina.

En el estudio de estabilidad en refrigeración a 4 °C, se observaron cambios en los parámetros de color y la oxidación lipídica de la carne, sólo por efecto del tiempo de almacenamiento.

La suplementación de ractopamina en la dieta de los cerdos, produjo algunos cambios favorables en el perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular del LT, al aumentar el contenido de AGP y la relación AGP/AGS y n-6/ n-3.

Con base a los resultados generados en desempeño productivo y calidad de la canal, se propone a la Met Cr como una posible alternativa natural de promoción del crecimiento, en cerdos alimentados bajo condiciones de estrés calórico de moderado a severo, con ello se espera mantener la eficiencia productiva requerida por los productores ante la limitación o prohibición de promotores de crecimiento de tipo sintético.

Se recomienda en futuros estudios, incrementar la dosis de metionina de cromo (0.6 - 0.8 mg de Met Cr / kg de alimento) cuando se suplementa a los cerdos por periodos cortos. Así mismo, se sugiere finalizar a los cerdos a pesos ligeros de no más de 110 kg, para encontrar un incremento en el rendimiento de tejido magro y la reducción del porcentaje de grasa en la canal.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Aalhus, J., Jones, S., y Schaefer, S. 1990. El efecto de la ractopamina sobre el rendimiento, la composición de la canal y la carne calidad de los cerdos de finalización. *Revista canadiense de animales ciencia*. 70(5): 943-952.
- Acosta, M. 2018. Instalaciones porcinas orientado al pequeño y mediano productor del NEA y NOA. Libro digital, ISBN 978-987-521-893-2 1.1a ed. Argentina. 106: 25-26.
- Adam, O., Wolfram, G., y Zollner, N. 2003. Influence of dietary linoleic acid intake with different fat intakes on arachidonic acid concentrations in plasma and platelet lipids and eicosanoid biosynthesis in female volunteers. *Annals of nutrition and metabolism*. 47(1): 31-36.
- Agostini, P., Manzanilla, E., Blas, C., Fahey, A., Silva, C. y Gasa, J. 2015. Managing variability in decision making in swine growing-finishing units. *Irish veterinary journal*. 68(1): 1-13.
- Almeida, V., Berenchein, B., Costa, L., Tse, M., Braz, D., y Miyada, V. 2010. Ractopamina, cromo-metionina e suas combinações como aditivos modificadores do metabolismo de suínos em crescimento e terminação. *Revista brasileira de zootecnia*. 39(9): 1969-1977.
- Alvarado, A., Blanco, R., y Mora, E. 2002. El cromo como elemento esencial en los humanos. *Revista costarricense de ciencias médicas*. 23(1-2): 55-68.
- AMSA. 1995. Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat. American meat science association.
- AOAC. 1990. Official methods analysis, 15th ed. Washington: B.
- Ardoino, S., Toso, R., Alvarez, H., Mariani, E., Cachau, P., Mancilla, M., y Oriani, D. 2018. Antimicrobianos como promotores de crecimiento (AGP) en alimentos balanceados para aves: uso, resistencia bacteriana, nuevas alternativas y opciones de reemplazo. *Ciencia veterinaria*. 19(1): 50-66.
- Armendáriz, L., Bacardí, M., y Cruz, A. 2007. Evidencias del efecto del cromo en personas con diabetes: revisión sistemática. *Revista biomédica*. 18(2): 117-126.
- Armstrong, T., Ivers, D., Wagner, J., Anderson, D., Weldon, W., y Berg, E. 2004. The effect of dietary ractopamine concentration and duration of feeding on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of finishing pigs. *Journal of animal science*. 82(11): 3245-3253.
- Avendaño, L., Torres, V., Meraz, F., Pérez, C., Figueroa, F., y Robinson, P. 2006. Effects of two beta-adrenergic agonists on finishing performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot steers. *Journal of animal science*. 84(12): 59-65.
- Barbosa, C., Silva, C., Cantarelli, V., Zangeronimo, G., Sousa, R., Garbossa, C., y Zeviani, W. 2012. Ractopamine in diets for finishing pigs of different sexual categories. *Revista brasileira de zootecnia*. 41(5): 1173-1179.
- Baumgard, L., Rhoads, R., Rhoads, M., Gabler, N., Ross, J., Keating, A. y Sejian, V. 2012. Impact of climate change on livestock production. Environmental stress and amelioration in

- livestock production. Springer, Berlin, Heidelberg. 413-468.
- Bligh, E. y Dyer, W. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian journal of biochemistry and physiology*. 37(8): 911-917.
- Boleman, S., Boleman, S., Bidner, T., Southern, L., Ward, T., Pontif, J., y Pike M. 1995. Effect of chromium picolinate on growth, body composition, and tissue accretion in pigs. *Journal of animal science*. 73: 2033-2042.
- Bracke, M. 2011. Review of wallowing in pigs: description of the behaviour and its motivational basis. *Journal of applied animal behavior science*. 132:1-13.
- Braña, D., Ramírez, E., Rubio, S., Sánchez, A. Torrecano, G., Arenas, M., Partida, J., Ponce, E. y Ríos, F. 2011. Manual de Análisis de Calidad en Muestras de Carne. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. Folleto técnico N.º1, octubre 2011.
- Broderick, T., Gutierrez, O., Lee, J., y Duong, T. 2021. Evaluation of functional feed additive administration in broiler chickens to 21 d. *Journal of applied poultry research*. 30(2): 121.
- Brunori, J., y Juárez, E. 2013. Producción de cerdos en Argentina: situación, oportunidades, desafíos. Argentina. INTA. Recuperado de: <https://inta.gov.ar/documentos/produccion-de-cerdos-en-argentina-situacion-oportunidades-desafios>
- Brustolini, A., Rodrigues, L., Silva, F., Peloso, J., Aldaz, A., y Fontes, D. 2019. Interactive effects of feed allowance and ractopamine supplementation on growth performance and carcass traits of physically and immunologically castrated heavy weight pigs. *Livestock science*. 228: 120-126.
- Burnett, D., Paulk, B., Tokach, D., Nelssen, L., Vaughn, A., Phelps, J., Dritz, S., DeRouche, J., Goodband, D., Haydon, K., y Gonzalez, J. 2016. Effects of Added Zinc on Skeletal Muscle Morphometrics and Gene Expression of Finishing Pigs Fed Ractopamine-HCL. *Animal biotechnology*. 27(1):17-29.
- Cassens, R., Demeyer, D., Eikelenboom, G., Honikel, K., Johansson, G., Nielsen, T., Renner, M., Richardson, I. y Sakata, R. 1995. Recommendation of reference methods for meat color (Vol. 41). San Antonio, USA.
- Castro, K., y Narvaez, W. 2013. Calidad sensorial y pérdidas por cocción en carne de cerdo: efecto del sexo y fuente de selenio. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 11(1): 130-135.
- Chavez, A. 2010. Efecto de la suplementación en la dieta cromo sobre la productividad general y características de la canal en cerdo durante la etapa de engorde (tesis de pregrado). Universidad autónoma agraria Antonio narro. México.
- Chica, J., Restrepo, G., & Cardenas, N. 2012. Determinación del efecto y nivel de suplementación de Cromo sobre los parámetros productivos y económicos de pollos de engorde (tesis de grado). Universidad CES, Medellin, Colombia.
- Cori, M., Michelangeli, C., De Basilio, V., Figueroa, R., y Rivas, N. 2014. Solubilidad proteica, contenido de mioglobina, color y pH de la carne de pollo, gallina y codorniz. *Archivos de zootecnia*. 63(241): 133-143.
- Costa, C., Moreira, J., Marinho, A., Silva, N., Carmo, M., Ramalho, A., y Teixeira, E. 2020.

Substitution of ractopamine by safflower or coconut oil as an additive in finishing pig diets. *Ciencia Rural*. 50(6): 1678.

- Da Fonseca de Oliveira, A., Vanelli, K., Sotomaior, C., Weber, S., y Costa, L. 2019. Impacts on performance of growing-finishing pigs under heat stress conditions: a meta-analysis. *Veterinary research communications*. 43(1): 37-43.
- De Caterina, R., Liao, J., y Libby, P. 2000. Fatty acid modulation of endotelial activation. *The American Journal of clinical nutrition* .71(1): 213S-223S.
- Domínguez, V., González, R., Pinos, J., Bórquez, G., Bárcena, M., Mendoza, L., Zapata, L. y Landois. 2009. Effects of feeding selenium-yeast and chromium-yeast to finishing lambs on growth, carcass characteristics, and blood hormones and metabolites. *Animal feed science and technology*. 152(1-2):42-49.
- Dunshea, F., Allison, J., Bertram, M., Boler, D., Brossard, L., Campbell, R., Crane, J.P., Hennessy, D., Huber, L., de Lange, C., Ferguson, N., Matzat, P., McKeith, F., Moraes, P., Mullan, B.P., Noblet, J., Quiniou, N., y Tokach, M., 2013. The effect of immunization against GNRH on nutrient requirements of male pigs: a review. *Journal of Animal Science*. 7:1769-1778.
- Dunshea, F., D'souza, D., Pethick, D., Harper, G., y Warner, R. 2005. Effects of dietary factors and other metabolic modifiers on quality and nutritional value of meat. *Meat science*. 71(1):8-38.
- Dunshea, F., King, R., y Campbell, R. 1993. Interrelationships between dietary protein and ractopamine on protein and lipid deposition in finishing gilts. *Journal of Animal Science*. 71: 2931-2941.
- Enser, M., Hallett, K., Hewett, B., Fursey, G., y Wood, J. 1996. Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork at retail. *Meat science*. 44:443-458.
- Estévez, M. 2005. Development of novel cooked products using livers, muscles and adipose tissues from Iberian pigs with natural antioxidants (tesis doctoral). University of Extremadura, España.
- Estévez, R., & Sánchez, J. 2016. Estudio histórico del uso y prohibición de los promotores del crecimiento en la ganadería española (tesis doctoral). Universidad complutense de Madrid. Madrid, España.
- FAO. 2010. Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation. Ginebra. Extraído de: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2016049106>
- FAO. 2020. Meat market review: Emerging trends and outlook, December 2020. Rome. FAO-ORG. Recuperado de: <https://www.fao.org>
- FAO. 2021. Meat market review: Overview of global meat market developments in 2020, March 2021. Rome. FAO-ORG. Recuperado de: <https://www.fao.org>
- Fennema, O. 1990. Comparative water holding properties of various muscle foods: A critical review relating to definitions, methods of measurement, governing factors, comparative data and mechanistic matters. *Journal of Muscle Foods*. 1(4): 363-381.
- Fernandez, M., Stoakes, S., Abuajamieh, M., Seibert, J., Johnson, J., Horst, E., Rhoads, R., y Baumgard, L. 2015. Heat stress increases insulin sensitivity in pigs. *Physics Reports*. 3:1-12.

- Ferreira, M., Sousa, R., Oliveira, V., Zangerônimo, M., y Oliveir, N. 2011. Cloridrato de ractopamina em dietas para suínos em terminação. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 33(1): 25-32.
- Figueroa, G., Hernández, A., & Ruiz, F. 2016. Respuesta productiva en lechones recién destetados suplementados con extractos de plantas y aceites esenciales (tesis de pregrado). Universidad Autónoma Chapingo, México.
- FIRA. 2020. Panorama agroalimentario carne de cerdo 2020. Dirección de investigación y evaluación económica y sensorial. Ciudad de México. Recuperado de: <chrome-extension://efaidnbmninnkacgpocleplinkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.inforural.com.mx%2Fwp-content%2Fuploads%2F2020%2F11%2FAtlas-Agroalimentario-2020.pdf&clen=38895966&chunk=true>
- Fu, R., Liang, C., Chen, D., Yan, H., Tian, G., Zheng, P., He, J., Yu, J., Mao, X., Huang, Z., Luo, Y., Luo, J. y Yu, B. 2021. Effects of dietary *Bacillus coagulans* and yeast hydrolysate supplementation on growth performance, immune response and intestinal barrier function in weaned piglets. *Journal Animal Physiology Animal Nutrition. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 105(5):898-907.
- Fuentes, G. 2020. Manejo de las excretas de cerdos y las alternativas de mitigación al impacto ambiental (tesis de pregrado). Universidad técnica de Babahoyo, Ecuador.
- Gao, C., Kuklane, K., Ostergren, P., y Kjellstrom, T. 2017. Occupational heat stress assessment and protective strategies in the context of climate change. *International Journal of Biometeorology*. 62: 359-371.
- García, A., y Garns, P. 2004. Papel del cromo y del zinc en el metabolismo de la insulina. *Revista médica del instituto mexicano del seguro social*. 42(4): 342-352.
- Gasa, J., Novais, A., Dias, C., Santos, R. y Silva, C. 2016. Factors affecting the daily feed intake and feed conversion ratio of pigs in grow-finishing units: the case of a company. *Porcine health management*. 2(1):1-8.
- Gispert, M., Olivera, M., y Velarde, A. 2010. Carcass and meat quality characteristics of immunocastrated male, surgically castrated male, entire male and female pigs. *Meat science*. 85 (4): 664-670.
- Gomes, M., Rogero, M., y Tirapegui, J. 2005. Considerations about chromium, insulin and physical exercise. *Revista brasileira de medicina do esporte*. 11: 262-266.
- González, H., Peña, E., Avendaño, L., Valenzuela, N., Pinelli, A., y Muhlia, A. 2019. Ácidos hidroxicinámicos en producción animal: farmacocinética, farmacodinamia y sus efectos como promotor de crecimiento. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*. 10(2): 391-415.
- González, J., Gómez, T., Gómez, N., Sánchez, E., Soto, A., Cruz, M. y Yáñez, J. 2018. Growth performance, carcass characteristics and meat quality of pigs fed sorghum-soybean meal diets with chromium methionine supplementation at different stages. *Mexican Journal of Biotechnology*. 3(4):1-18.
- Grijalva, M., Ballesteros, M., y Cabrera, R. 2001. Contenido de cromo en alimentos y estimación de su ingestión dietaría en el noroeste de México. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*.

51(1): 105-110.

- Gu, Y., Schinckel, A., Forrest, J., Kuei, C., y Watkins, L. 1991. Effects of ractopamine, genotype, and growth phase on finishing performance and carcass value in swine: I. Growth performance and carcass merit. *Journal of Animal Science*. 69(7): 2685-2693.
- Hahn, G. L. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal dairy science*. 82(2):10-20.
- Han, G., Shin, D., Kim, J., Cho, Y., y Jeong, K. 2006. Effects of propolis addition on quality characteristics of oriental medicinal seasoning pork. *Korean journal of food science and technology*. 38(1): 75-81.
- Hernández, C., Guerrero, M., Pérez, A., López., y Ramírez, E. 2007. Interaction of dietary selenium and magnesium level on digestive function in lambs fed high concentrate diets. *Journal applicate animal*. 31(1): 41-46.
- Herrera, G., y Trigueros, J. 2019. Efecto del fitobiótico Digestarom® Finish en el desempeño productivo de cerdos de engorde (tesis de pregrado). Escuela agrícola panamericana, zamorano. Honduras.
- Hong, J., Steiner, T., Aufy, A., y Lien, T. 2012. Effects of supplemental essential oil on growthperformance, lipid metabolites and immunity, intestinal characteristics, microbiota and carcass traits in broilers. *Livestock science*. 144(3): 253-262.
- Honikel, K. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat science*. 49(4): 447-457.
- Jackson, A., Powell, S., Johnston, S., Matthews, J., Bidner, T., Valdez, F., y Southern, L. 2009. The effect of chromium as chromium propionate on growth performance, carcass traits, meat quality, and the fatty acid profile of fat from pigs fed no supplemented dietary fat, choice white grease, or tallow. *Journal of animal science*. 87(12):4032-41.
- Jiménez, C., Martínez, E. y Fonseca, J. 2009. Flavonoides y sus acciones antioxidantes. *Revista facultad mededica UNAM*. 52(2).
- Jin, C., Wang, Q., Zhang, Z., Xu, Y., Yan, H., Li, H. y Wang, X. 2018. Dietary supplementation with pioglitazone hydrochloride and chromium methionine improves growth performance, meat quality, and antioxidant ability in finishing pigs. *Journal of agricultural and food chemistry*. 66(17): 4345-4351.
- Jing, B., Jung, L., Sang, L. Y., Soojin, K., Mi, C., y Youngjae, C. 2017. Changes in quality characteristics of pork patties containing antioxidative fish skin peptide or fish skin peptide-loaded nanoliposomes during refrigerated storage. *Korean journal for food science of animal resources*. 37(5): 752.
- Jones, S., Robertson, W. y Talbot, S. 1992. Marbling standards for beef and pork. Agriculture and Agri-Food Canada Pub.
- Joo, S., Lee, J., y Ha, Y. 2002. Effects of dietary conjugated linoleic acid on fatty acid composition, lipid oxidation, color, and water-holding capacity of pork loin. *Journal of animal science*. 80:108-112.
- Kim, Y., Keeton, J., Yang, H., Smith, S., Sawyer, J., y Savell, J. 2009. Color stability and biochemical characteristics of bovine muscles when enhanced with L- or D-potassium lactate

in high-oxygen modified atmospheres. *Meat science*. 82(2):234-240.

- Labala, J. 2013. Aditivos En Alimentación Porcina. Departamento Vetifarma. Recuperado de: chrome extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fw
- Ledward, D., Okonkwo, T., y Obanu, Z. 1992. Characteristics of some intermediate moisture smoked meats. *Meat science*. 31(2):135-145.
- León, M., Orduz, A., y Velandia, M. 2018. Composición fisicoquímica de la carne de ovejo, pollo, res y cerdo. *Ciencia y tecnología Alimentaria*. 15(2): 62-75.
- Li, Y., Zhu, N., Niu, P., Shi, F., Hughes, C., Tian, G. y Huang, R. 2013. Effects of dietary chromium methionine on growth performance, carcass composition, meat colour and expression of the colour-related gene myoglobin of growing-finishing pigs. *Asian-australasian journal of animal sciences*. 26(7): 1021. 52.
- Li, Y., Zhu, N., Niu, P., Shi, F., Hughes, C., Tian, G., & Huang, R. 2013. Effects of dietary chromium methionine on growth performance, carcass composition, meat colour and expression of the colour-related gene myoglobin of growing-finishing pigs. *Asian-australasian journal of animal sciences*. 26(7): 1021.
- Lindemann, M., Cromwell, G., Monegue, H., y Purser, K. W. 2008. Effect of chromium source on tissue concentration of chromium in pigs. *Journal of animal science*. 86(11): 2971-2978.
- Lukaski, H. 2000. Magnesium, zinc, and chromium nutriture and physical activity. *Journal clinical nutrition*. 72(2): 585S-93S.
- Maes, D., Dewulf, J., Piñeiro, C., Edwards, Kyriazakis, I. 2019. A critical reflection on intensive pork production with an emphasis on animal health and welfare. *Journal of Animal Science*. 98(1): S15-S26.
- Marcinkowska, M., Wojtasik, I., Onopiuk, A., Zalewska, M., y Poltorak, A. 2021. Application of Propolis Extract in Gelatin Coatings as Environmentally Friendly Method for Extending the Shelf Life of Pork Loin. *Coatings*. 11(8):979.
- Marin, D., Petroman, I., Lozici, A., Ciolac, R., y Petroman, C. 2016. Analysis of Swine Meat Quality and Classification by Class Quality Exploited in Semi-Intensive System. USA. Recuperado de: <https://www.semanticscholar.org/paper/ANALYSIS-OF-SWINE-MEAT-QUALITY-AND-CLASSIFICATION-Marín-Petroman/6e266956e8ce7becea777602937dd090f62e688b>
- Marinho, P., Fontes, D., y Silva, F. 2007. Efeito da ractopamina y de métodos de formulación de dietas sobre o desempenho y como características de carcaça de suínos machos castrados em terminación. *Revista brasileira de zootecnia*. 36(4): 1061-1068.
- Matthews, J., Southern, L., Fernandez, J., Pontif, J., Bidner, T. y Odgaard, R. 2001. Effect of chromium picolinate and chromium propionate on glucose and insulin kinetics of growing barrows and on growth and carcass traits of growing-finishing barrows. *Journal of animal science*. 79(8): 2172-2178.
- Mayorga., Renaudeau, D., Ramirez, B., Ross, J., y Baumgard, L. 2019. Heat stress adaptations in pigs. *Animal frontiers* 9(1): 54-61.
- Mendoza, S., Mueller, I., Hendel, E., Murugesan, R. y Gourley, G. 2018. Evaluation of Dietary

Supplementation of a Phytogetic Blend and Ractopamine HCl to Growing Pigs on Pork Meat Quality. *Meat and muscle biology*. 2(2).

- Mills, S., 2002. Biological basis of the ractopamine response. *Journal of Animal Science*. 80(2): 28-32.
- Moberg, G. y Mench, J. 2000. The biology of animal stress, basic principles and implications for animal welfare. *Applied animal behaviour science*. 1:1-21.
- Mohan, A. 2009. Myoglobin redox form stabilization: role of metabolic intermediates and NIR detection. (Tesis Doctoral). Kansas state university. USA.
- Moody, D., Hancock, D., y Anderson, D. 2000. Phenethanolamine repartitioning agents. *Farm Animal Metabolism and Nutrition*. 65-96. doi:10.1079/9780851993782.0065
- Moraes, E., Kiefer, C., y SILVA, I. 2010. Ractopamina em dietas para suínos machos imunocastrados, castrados e fêmeas. *Ciência Rural*. 40(2): 409-414.
- Morales, A., Grageola, F., García, H., Arce, N., Araiza, B., Yáñez, J. y Cervantes, M. 2013. Performance, serum amino acid concentrations and expression of selected genes in pair-fed growing pigs exposed to high ambient temperatures. *Journal of animal physiology and animal nutrition*. 98: 928-935.
- National Research Council (NRC). 2012. *Nutrient Requirements of Swine: Eleventh Revised Edition*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13298>.
- Núñez, Oscar. 2017. Los costos de la alimentación en la producción pecuaria. *Journal of the selva andina animal science*. 4(2), 93-94.
- OCDE-FAO. 2017. “Carne”, en OCDE-FAO *Perspectivas Agrícolas 2017-2026*, OECD Publishing, París. DOI: http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-10-es
- OCDE-FAO. 2021. Exámenes de mercado en México: Estudio del mercado de la carne de cerdo. Extraído de: <https://www.oecd.org/daf/competition/market-examinations-mexico-pork-meat-market-web-esp.pdf>
- Ohh, S., y Lee, J. 2005. Dietary chromium-methionine chelate supplementation and animal performance. *Asian-australasian journal of animal sciences*. 18(6): 898-907.
- Olcza, K., Nowicki, J., y Klocek, C. 2015. Pig behaviour in relation to weather conditions a review. *Journal of Animal Science*. 15:601-610.
- Ortiz, A., Barbosa, M., Partida, J., y González, M. 2015. Effect of zilpaterol hydrochloride on animal performance and carcass characteristics in sheep: a meta-analysis. *Journal of Applied Animal Research*. 44(1): 104-112.
- Oyagüe, M. 2007. Estabilidad del color de la carne fresca. *Nacameh*. 1(1): 67-74.
- Page, T., Southern, L., Ward, D., Thompson. 1993. Effect of chromium picolinate on growth and serum and carcass traits of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*. 71(3): 656-62.
- Park, P. y Goins, R. 1994. In situ preparation of fatty acid methyl esters for analysis of fatty acid composition in foods. *Journal of Food Science*. 59(6):1262-1266.
- Parr, T., Mareko, M., Ryan, K., Hemmings, K., Brown, D. y Brameld, J. 2016. The impact of

growth promoters on muscle growth and the potential consequences for meat quality. *Meat Science*. 120:93-99.

Peres, L., Bridi, M., Silva, C., Andreo, N., Barata, C., & Dário, J. 2014. Effect of supplementing finishing pigs with different sources of chromium on performance and meat quality. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 43: 369-375.

Pfalzgraf, A., Frigg, M. y Steinhart, H. 1995. Alpha-tocopherol contents and lipid oxidation in pork muscle and adipose tissue during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 43(5): 1339-1342.

Phillips, I., Casewell, M., Cox, T., De Groot, B., Friis, C., Jones, R., Nightingale, C., Preston, R., y Waddell, J. 2004. Does the use of antibiotics in food animals pose a risk to human health? A critical review of published data. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 53(1):28-52.

Pinto, A., Naves., Lima., Garbossa, P., Silva, S., Barbosa, S., Maluf, C., Rosa, V., Zangeronimo, M., Cantarelli, V., y Sousa, R. 2019. Metabolism of glycerol in pigs fed diets containing mixed crude glycerin and β -adrenergic agonist. *Animal Production Science*. 59(1): 1631-1639.

PISA. 2020. Porcinocultura: Lapi- Racto. Julio 2022. México. Recuperado de: <https://www.porcicultura.com/producto/lapi-racto>

Puls, C., Allee, J., Hammer, S., y Carr, S. 2019. Effects of different antibiotic feeding programs on morbidity and mortality and growth performance of nursery pigs housed in a wean-to-finish facility. *Translational animal science*. 123-129.

Redondo, M., Chacana, A., Dominguez, J., y Fernandez, M. 2014. Perspectives in the use of tannins as alternative to antimicrobial growth promoter factors in poultry. *Frontiers in microbiology*. 5(1): 29-45.

Rikard-Bell, C., Curtis, M., y Van Barneveld, R. 2009. Ractopamine hydrochloride improves growth performance and carcass composition in immunocastrates boars, intact bors and gilts. *Journal of animal science*. 87(11): 3536-3543.

Ritchie, H., y Roser, M. 2020. "Meat and Dairy Production". Published online at [OurWorldInData.org](https://ourworldindata.org/meat-production). Recuperado de: <https://ourworldindata.org/meat-production>

Ritter, M., Johnson, A., Benjamin, M., Carr, S., Ellis, M., Faucitano, L., y Calvo, M. 2017. Effects of Ractopamine Hydrochloride (Paylean) on welfare indicators for market weight pigs. *Translational animal science*. 1(4): 533-558.

Rosas, C. 2014. Comparación del rendimiento productivo de pollos de engorde suplementados con Tylosina fosfato como promotor de crecimiento en dosis mínima y máxima (tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Peru.

SADER. 2015. Qué es la porcicultura? Gobierno federal de los estados unidos de México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/inaes/es/articulos/porcicultura-una-ac>

Sánchez Molinero, F. 2004. Modificaciones tecnológicas para mejorar la seguridad y calidad del jamón curado (tesis doctoral). Universitat de Girona. España.

Sánchez, E., Gaytán, N., Aranda, A., Arguello, J., & Hernández, J. 2013. Efecto de la adición de metionina de cromo a diferente peso sobre el comportamiento productivo, características de la canal y calidad de carne en cerdos en crecimiento-finalización. memoria de la xxiv reunión

internacional sobre producción de carne y leche en climas cálidos. 547.

- Scheffler, T., y Gerrard, E. 2007. Mechanisms controlling pork quality development: The biochemistry controlling postmortem energy metabolism. *Meat science*. 77(1): 7-16.
- Senasa. 2021. Qué es el ITH y 9 recomendaciones para evitar el estrés calórico en la hacienda. *Agrofynews*. <https://news.agrofy.com.ar/>. México.
- Stanišić, N., Parunović, N., Stajić, S., Petrović, M., Radović, Č., Živković, D., y Petričević, M. 2016. Differences in meat colour between free-range Swallow Belly Mangalitsa and commercially reared Swedish Landrace pigs during 6 days of vacuum storage. *Archives Animal Breeding*. 59(1): 159-166.
- Steiner, T., y Syed, B. 2015. Phytogetic feed additives in animal nutrition. In *Medicinal and aromatic plants of the world*. Springer, Dordrecht. 403-423.
- Stites, C., Mckeith, F., y Singh, S. 1991. El efecto del clorhidrato de ractopamina en los rendimientos de corte de la canal de cerdos en finalización. *Revista de Ciencia Animal*. 69(8): 3094-3101.
- Sumano, H. y Ocampo, L. 2006. *Farmacología veterinaria*. Mc Graw Hill. Tercera Edición. México. 10: 361-384.
- Sun, Y., Ramirez, J., Woski, S., y Vincent, J. 2000. The binding of trivalent chromium to low-molecular-weight chromium-binding substance (LMWCr) and the transfer of chromium from transferrin and chromium picolinate to LMWCr. *JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry* 5(1): 129-136.
- Sutton, D., Ellis, M., Lan, Y., McKeith, F. y Wilson, E. 1997. Influence of slaughter weight and stress gene genotype on the water-holding capacity and protein gel characteristics of three porcine muscles. *Meat Science*. 46(2):173-180.
- Tavárez, M., Boler, D., Carr, S., Ritter, M., Petry, D., Souza, C., y Dilger, A. 2012. Fresh meat quality and further processing characteristics of shoulders from finishing pigs fed ractopamine hydrochloride (Paylean). *Journal of Animal Science*. 90(13): 5122-5134.
- Tian, Y., Gong, L., Xue, J., Cao, J., & Zhang, Y. 2015. Effects of graded levels of chromium methionine on performance, carcass traits, meat quality, fatty acid profiles of fat, tissue chromium concentrations, and antioxidant status in growing-finishing pigs. *Biological trace element research*. 168(1): 110-121.
- Trujillo, L., Rincón, J., Caivio, S., y González, J. 2020. El cromo-levadura y la ractopamina afectan el perfil de ácidos grasos y la calidad de la carne en cerdos. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*. 23(1).
- Untea, A., Varzaru, I., Panaite, T., Habeanu, M., Ropota, M., Olteanu, M., y Cornescu, G. 2017. Effects of chromium supplementation on growth, nutrient digestibility and meat quality of growing pigs. *South African Journal of Animal Science*. 47(3): 332-338.
- USDA. 2019. FoodData Central: Pork, fresh, loin, center loin (chops), bone-in, separable lean and fat, raw. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168238/nutrients>. USA.
- Usnayo, E. 2015. Determinación de cromo trivalente (Cr⁺³) en pacientes con diabetes mellitus tipo II que acudieron al centro de salud de alto selva alegre setiembre a noviembre del 2014. *Perú*. 23-28.

- Valente, D., Barbosa, L., Soares, M., Rodrigues, G., Gomes, M., Silva, C. y Saraiva, A. 2021. Dietary supplementation of chromium for finishing pigs. *Ciencia Rural*. 51(6).
- Valverde, V. 2020. Inclusión de subproductos de pulpa de cítricos en dietas de cerdos de cebo: rendimientos productivos y estudio de la salud intestinal (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Wagner, J., Schinckel, A., Chen, W., Forrest, J., y Coe, B. 1999. Analysis of body composition changes of swine during growth and development. *Journal of Animal Science*. 77: 1442-1466.
- Warriss, P.; Brown, S.; Rolph, T. 1990. Interactions between the beta-adrenergic agonist salbutamol and genotype on meat quality in pigs. *Journal of Animal Science*. 68 (11): 3669-3676.
- Williams, C. 2000. Dietary fatty acids and human health. *Annales Zootechnie*. 49: 165-180.
- Wood, J., Richardson, R., Nute, G., Fisher, A., Campo, M., Kasapidou, E., Sheard, P., Enser, M. 2003. Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science*. 66:21-32.
- Xiao, R., Xu, Z., y Chen, H. 1999. Effects of ractopamine at different dietary protein levels on growth performance and carcass characteristics in finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 79: (119-127).
- Xiong, Y., Gower, M., Li, C., Elmore, C. 2006. Effect of dietary ractopamina on tenderness and postmortem protein degradation of pork muscle. *Meat Science*. 73(4): 600-604.
- Zamorano, M., Llanquin, P., y Montealegre, R. 2010. Composición en ácidos grasos de alimentos de alto consumo por la población escolar de la región Metropolitana de Chile, incluyendo contenido en ácidos grasos trans. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 60(3):306-311.
- Zenteno, S., Cueva, R. y Crespo, E. 2019. Calidad de la canal de cerdos en la industria porcina de Ecuador (Artículo de Revisión). *Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal*. 2(2):118-131.
- Zhang, H., Dong, B. Zhang, M. y Yang, J. 2011. Effect of chromium picolinate supplementation on growth performance and meat characteristics of swine. *Biological Trace Element Research*. 141(1):159-169.
- Zima, T., Mestek, O., Tesar, V., Tesarova, P., Nemecek, K. y Zak., A. 1998. Chromium levels in patients with internal diseases. *IUBMB Life* 46(2): 365-374.
- NIDA: National Institute on drugs abuse. 2012. Los esteroides anabólicos. U.D. Department of Health and Human Services. National Institutes of Health: 2-6.