

TMg UCHUET
VIL con
2019
c.2



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS y PECUARIAS
ESCUELA DE POSTGRADO Y POSTÍTULO

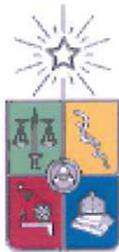
**CONDUCTA ALIMENTARIA DE CERDOS DE RECRÍA FRENTE
A ELEMENTOS DE ENRIQUECIMIENTO AMBIENTAL
COMESTIBLE CON HIERRO ENCAPSULADO**

ÁLVARO RODRIGO VILLARROEL FUENTES

Tesis para optar al Grado de
Magíster en Ciencias Animales y Veterinarias

Santiago-Chile

2019



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS y PECUARIAS
ESCUELA DE POSTGRADO Y POSTÍTULO

INFORME DE APROBACIÓN DE TESIS DE MAGÍSTER

SE INFORMA A LA DIRECCIÓN DE POSTGRADO Y POSTÍTULO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS, QUE LA TESIS DE MAGÍSTER PRESENTADA POR EL CANDIDATO

ALVARO RODRIGO VILLARROEL FUENTES

HA SIDO APROBADA POR LA COMISIÓN EVALUADORA DE TESIS COMO REQUISITO PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS ANIMALES Y VETERINARIAS EN EXAMEN DE DEFENSA DE TESIS RENDIDO EL DÍA 07 DE JUNIO DE 2019

DIRECTORA DE TESIS

DRA. CAROLINA VALENZUELA V.

CO DIRECTOR DE TESIS

DR. JAIME FIGUEROA H.

COMISIÓN EVALUADORA E INFORMANTE DE TESIS

DR. RIGOBERTO SOLIS M.

DR. SERGIO GUZMÁN R.

**Esta Tesis de Grado se realizó en el Departamento de Fomento de la Producción
Animal de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de
Chile, y contó con financiamiento**

**PROYECTOS FONDECYT N° 11140249
Y 11140576**

BIOGRAFÍA

Álvaro Rodrigo Villarroel Fuentes, nacido el día 17 de abril de 1986, en la comuna de Recoleta, ciudad de Santiago. Su madre Raquel Fuentes, su padre Victor Villarroel Bustamante y su hermana Natalia Villarroel Fuentes. Cursó sus estudios básicos y medios en el Colegio Quinto Centenario Cordillera de la comuna de La Florida, Santiago. Rindió la PSU el año 2003, ingresando a la carrera de Medicina Veterinaria en la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile, en el año 2004. Durante este tiempo fue vicepresidente y presidente del Centro de Estudiantes de la carrera. Realizó su tesis de pregrado en el Laboratorio de Reproducción Animal del Departamento de Fomento de la Producción Animal, titulándose el año 2013, año donde también ingreso al programa de Magíster. En los últimos años se ha desempeñado como profesional en el área comercial y de producción animal en monogástricos y animales de compañía.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Cs. Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile y en especial al Departamento de Fomento de la Producción Animal por haberme acogido durante mis años de pre y post grado.

A los Dres. Jaime Figueroa y Sergio Guzmán por su acompañamiento en este proceso y en especial a la Dra. Carolina Valenzuela por la oportunidad de retomar el camino del Magíster con paciencia y dedicación.

Al equipo de trabajo de Sociedad de Nutrición y Sanidad Animal Ltda., y en especial a Cristian Dasso por haberme dado el espacio para concluir este trabajo.

A mi familia, mis padres Raquel y Víctor, mi hermana Natalia, por acompañarme siempre y estar en los momentos importantes de mi vida. Gracias por todo y por tanto, los amo.

A mis amigos de Universidad, Isleño, Pato, Martín, Felipe, Libe, Shago, Angie, Nico y Claudio. A pesar de los distintos caminos de cada uno me encanta verlos crecer. El terminar este proceso me hace recordar todos aquellos momentos vividos. Los quiero.

A Muriel, por ser parte de mi vida y darme ánimos en cada parte de este proceso.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

- Resumen.....	Pág. 1
- Abstract.....	Pág. 2
- Introducción.....	Pág. 3
- Revisión Bibliográfica.....	Pág. 4
- Hipótesis, Objetivo General y Objetivos Específicos.....	Pág. 8
- Material y Métodos.....	Pág. 9
- Resultados y Discusión.....	Pág. 14
- Conclusiones.....	Pág. 23
- Bibliografía.....	Pág. 24

ÍNDICE DE AYUDAS ILUSTRATIVAS

FIGURA 1. Aspecto de los elementos de enriquecimiento ambiental comestibles (EC): Control, sin adición de fuente de Fe (ECC); con Fe no hemo (EC1) y de mezcla (Fe hemo/Fe no hemo) (EC2).....Pág. 14

TABLA 1. Análisis químico proximal (AQP) y contenido de Fe de los elementos de enriquecimiento ambiental comestible (EC).....Pág. 15

FIGURA 2. Consumo de alimento suplementado con Fe Hemo (eritrocitos bovinos 1%) y con Fe no hemo (Sulfato ferroso 1%) en prueba de preferencia contra un alimento control sin Fe en cerdos en recría durante 10 min.....Pág. 17

FIGURA 3. Aceptabilidad de los elementos de enriquecimiento ambiental (EC) medida a través de su consumo (g), según tipo de EC y presentación (ECC=Sin Fe, EC1=Fe no hemo y EC2=Fe Hemo), en cerdos en recría durante 10 min cada una.....Pág. 18

FIGURA 4. Aceptabilidad de los elementos de enriquecimiento ambiental comestibles (EC) medido a través del número de acercamientos, según tipo de EC y presentación (ECC=Sin Fe, EC1=Fe no hemo y EC2=Fe hemo), en cerdos en recría, durante 10 min cada una.....Pág. 19

FIGURA 5. Aceptabilidad de los elementos de enriquecimiento ambiental comestible (EC) medido a través del tiempo de consumo/juego (s), según tipo de EC y presentación (ECC=Sin Fe, EC1=Fe no hemo y EC2=Fe hemo), en cerdos en recría.....Pág. 20

FIGURA 6. Consumo de elementos de enriquecimiento ambiental comestibles (EC), según tipo de EC (ECC=Sin Fe, EC1=Fe No Hemo y EC2=Fe Hemo/No Hemo) durante pruebas de preferencia de tres platos con EC enteros y molidos, en cerdos en recría, durante 10 min.....Pág. 22

RESUMEN

El destete es una etapa estresante para los cerdos presentándose neofobia, y donde se producen diferentes deficiencias, tales como la anemia. Se han usado diversos elementos de enriquecimiento ambiental para contrarrestar el estrés, sin embargo poco se ha estudiado el uso de elementos de enriquecimiento ambiental comestibles (EC). La encapsulación es una técnica que permitiría generar un EC para vehicular hierro (Fe) en esta etapa. Por esto el objetivo de este trabajo fue desarrollar un EC que vehiculice Fe y evaluar la conducta alimentaria de cerdos de recría estudiando su preferencia y aceptabilidad. Se desarrollaron tres tipos de EC: ECC (Sin Fe), EC1 (con Fe no hemo) y EC2 (con una mezcla de Fe no hemo/Fe hemo), en forma entera y molida. Los EC enteros se caracterizaron por sus propiedades físicas y nutricionales. Se utilizaron 32 cerdos PIC, los cuales fueron sometidos a pruebas de preferencia de alimento con fuentes de Fe no hemo y hemo sin encapsular; y pruebas de aceptabilidad (consumo, número de acercamientos y tiempo de consumo/juego) y preferencia de los EC en presentación entera y molida. Se obtuvieron todos los EC, cuyos principales componentes eran carbohidratos y proteína. El contenido de Fe de los EC fue de 0,3; 2,3 y 0,8 mg/100g para ECC, EC1 y EC2, respectivamente. Los cerdos mostraron un menor consumo del alimento con Fe no hemo sin encapsular, y una mayor aceptabilidad de los EC en presentación entera que molida, independiente del tipo de fuente de Fe utilizado. En conclusión, los cerdos mostraron menor preferencia por fuentes de Fe no hemo sin encapsular, lo cual no se observó al entregar a los cerdos el Fe no hemo de forma encapsulada como EC. Los EC enteros podrían ser una buena alternativa para enriquecer el ambiente de los cerdos debido a que son aceptados y consumidos, y a la vez pueden vehicular nutrientes.

Palabras clave: destete, conducta alimentaria, anemia, elementos de enriquecimiento ambiental comestibles.

ABSTRACT

Weaning is a stressful stage for pigs which might present neophobia, and where different deficiencies occur, such as anemia. Several environmental enrichment elements have been used to counteract stress. However, only a few have been studied regarding the use of edible environmental enrichment elements (EC). Encapsulation is a technique that would allow to generate an EC to transport iron (Fe) in this stage. Therefore, the objective of this work was to develop an EC that could carry Fe and evaluate the pigs feeding behavior by studying their preference and acceptability. Three types of EC were developed: ECC (Without Fe), EC1 (with Fe nonheme) and EC2 (with a mixture of Fe nonheme / Fe heme), in complete and milled presentation. Complete EC were characterized by their physical and nutritional properties. 32 PIC pigs were used, which were subjected to food preference tests with Fe non-heme and non-encapsulated heme sources; and tests of acceptability (consumption, number of approaches and time of consumption / game) and preference of the EC in complete and milled presentation. The main components of the EC were carbohydrates and protein. The Fe content of the ECs was 0.3; 2.3 and 0.8 mg / 100g for ECC, EC1 and EC2, respectively. There was a lower consumption of Fe non-heme non-encapsulated feed. The EC had better acceptability in complete presentation than in milled, regardless of the type of Fe source used. In conclusion, the pigs showed less preference for non-heme Fe sources without encapsulation, which was not observed when giving the pigs the non-heme Fe in an encapsulated form, as EC. The complete EC could be a good alternative to enrich the pigs' environment because they are accepted and consumed, and at the same time they are able to transport nutrients.

Key words: weaning, feeding behavior, anemia, edible environmental enrichment elements.

1. INTRODUCCIÓN

En los sistemas productivos intensivos de cerdos se realiza un destete prematuro a los 21 días de edad, el cual genera estrés produciéndose una disminución del consumo de alimento por parte de los animales (Pluske *et al.*, 2007). Se han utilizado diversas estrategias para disminuir el estrés al destete, como el uso de elementos de enriquecimiento ambiental (Van der Weerd *et al.*, 2003; Van der Weerd y Day, 2009), sin embargo, la mayoría de estos elementos no son comestibles y los comestibles han tenido una baja aceptabilidad. Debido a esto, resulta innovador el desarrollo de elementos de enriquecimiento ambiental comestibles (EC) que puedan ser aceptados y consumidos por los cerdos.

Además del estrés, en la etapa de lactancia y destete, se producen importantes deficiencias nutricionales, tales como la deficiencia de hierro (Fe), encontrando cerdos anémicos, deficientes o con sus reservas de Fe depletadas (Perri *et al.*, 2016). Debido a esto, ha sido necesario estudiar otras formas de suplementación de Fe durante estas etapas, sin embargo, las suplementaciones orales clásicas, no han dado buenos resultados, ya que requieren de un excesivo manejo de los animales para entregarlas vía oral y por la neofobia de los cerdos destetados a nuevos alimentos, lo que dificulta la entrega del Fe en las dietas (Antileo *et al.*, 2016). Además, para la industria, es importante minimizar el número de manejos realizados a los animales, debido al tiempo y recursos humanos que se requieren. Por tanto, es importante dirigir los esfuerzos en investigación e innovación a algún EC para el destete, el cual genere interés en los cerdos y que no conlleve un manejo por parte de los operarios, pudiendo vehicular nutrientes deficitarios como el Fe.

Uno de los aspectos fundamentales que se deben estudiar después del desarrollo de los EC es la conducta alimentaria de los cerdos frente a estos elementos. Así, el objetivo de esta tesis fue evaluar la conducta alimentaria de cerdos en recría mediante el estudio de sus preferencias alimentarias y aceptabilidad, frente a EC con Fe encapsulado.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Tanto en Chile como en el mundo, en las granjas de producción intensiva de cerdos se realiza un destete prematuro (entre los 21 a 28 días de edad). Esto trae como consecuencia un alto nivel de estrés para los cerdos, debido a que son sometidos abruptamente a la separación de sus hermanos y madre, mezcla con otros animales, cambios en su alimentación, cambio de ambiente, entre otros, produciéndose un bajo consumo de alimento durante los primeros días o incluso anorexia de hasta 48 horas (Pluske *et al.*, 2007). Además, en los sistemas modernos de producción animal, los cerdos se encuentran confinados en un ambiente simple e invariante el cual ofrece muy pocas opciones para que ellos puedan expresar comportamientos naturales. Debido a esto, los ambientes enriquecidos son una herramienta para favorecer el bienestar de los animales, disminuyendo patrones anormales de comportamiento como agresiones e incrementando aquellos positivos como el juego e interacción social (Van der Weerd y Day, 2009). Se ha descrito que el enriquecimiento ambiental potencia también conductas de acercamiento y consumo de alimentos, lo cual tiene como consecuencia una mejora en la nutrición de los cerdos (Van der Weerd *et al.*, 2003).

El cerdo al ser un animal omnívoro, que utiliza la mayor proporción de su tiempo activo en la búsqueda de alimento, se le debería administrar elementos de enriquecimiento que promovieran sus conductas de exploración. Trabajos anteriores han descrito en este sentido que un elemento óptimo debiera ser moldeable, poseer olor y sabor agradables, ser masticable, destructible e ingerible, entre otras características (Van der Weerd *et al.*, 2003). Sin embargo, la mayoría de los estudios se han enfocado en diseñar e implementar elementos de enriquecimiento ambiental no comestibles tipo “juguetes” para cerdos como: cuerdas, pelotas, juguetes de plástico, y cadenas de metal (Van der Weerd *et al.*, 2003; Van der Weerd y Day, 2009). Actualmente, existen pocos estudios sobre el desarrollo y aplicación de elementos de enriquecimiento ambiental comestibles (EC). Algunos ejemplos que se describen en la literatura son: sales minerales en

forma de cubos, hielo, vegetales y paja de trigo dispuestos en cajas, sujetos a la pared, colgados o directamente en el suelo (Van der Weerd *et al.*, 2003).

Se ha descrito que los ingredientes alimentarios derivados de los lácteos, como el suero de leche, incrementan el consumo de alimento, debido a su alto contenido de lactosa que le confiere una gran palatabilidad, generando además un aporte nutricional debido a su contribución de macronutrientes proteicos y energéticos, hecho que lo ha llevado a incorporarse en dietas de transición (Burnell *et al.*, 1988). En este sentido, se podrían utilizar tecnologías emergentes en la industria alimentaria para generar EC en base a suero de leche e hidrocoloides como el Alginato de sodio. El alginato es un polisacárido proveniente de las algas pardas, bastante utilizado por la industria de alimentos, debido a que posee propiedades gelificantes que permite el desarrollo de estructuras tridimensionales (Glicksman, 1987; Hamed *et al.*, 2015), las cuales le podrían dar forma a los EC.

En cerdos criados de manera intensiva se ha descrito una alta prevalencia de anemia por deficiencia de Fe, la cual tiene un origen multifactorial (Valenzuela *et al.*, 2015). El tratamiento preventivo actual consiste en la suplementación con una dosis única de 200 mg de Fe dextrano vía parenteral, dentro de los primeros días de vida (Lipinski *et al.*, 2013). Sin embargo, datos recientes han mostrado que este tipo de suplementación no es suficiente para obtener un buen estado de nutrición de Fe al destete, observando una alta prevalencia de cerdos depletados, deficientes o anémicos (Antileo *et al.*, 2016; Perri *et al.*, 2016). Esta deficiencia, que la mayoría de las veces es subclínica, afecta los parámetros productivos y el rendimiento de los cerdos, disminuyendo el peso de los animales afectados en las primeras etapas de recría. Por ejemplo, un cerdo anémico en esta etapa podría pesar 0,82 kg menos que un cerdo no anémico (Perri *et al.*, 2016). Varios autores han investigado la suplementación oral de Fe como una alternativa o un complemento a la administración parenteral, sin embargo, no han tenido buenos resultados debido a una alta variación en la biodisponibilidad de Fe no hemo (Lipsinki *et al.*, 2013), a la baja expresión de receptores y transportadores de Fe no hemo en los primeros días

de vida (Lipinski *et al.*, 2010), a las repetidas y altas dosis de Fe que se deben administrar (Antileo *et al.*, 2016), generando manejos excesivos que los productores no están dispuestos a realizar, y al rechazo de las fuentes de Fe orales debido a su baja palatabilidad (Valenzuela *et al.*, 2016), probablemente por el sabor metálico descrito en humanos al ingerir Fe no hemo y a “sangre” para el Fe hemo (Stevens *et al.*, 2006). Sin embargo, no se cuenta con información de la preferencia de distintas fuentes de Fe en cerdos.

En nutrición humana, la tecnología de encapsulación del Fe ha sido bastante utilizada en estrategias de suplementación y fortificación. La cual se basa en el micro-empaquetamiento del Fe con diversos materiales (múltiples polímeros y biopolímeros), en donde el Fe queda protegido, y se reducen varias de las desventajas antes mencionadas de suplementar Fe oral. Esta técnica además permite desarrollar distintas estructuras tridimensionales como matrices (Churio *et al.*, 2018), que podrían dar origen a los EC. La encapsulación del Fe ha tenido buenos resultados en humanos y roedores (Zimmermann, 2004; Xu *et al.*, 2014). Lo que principalmente se describe es una mejora en la biodisponibilidad del Fe encapsulado y una reducción de las características organolépticas adversas, siendo posible disminuir el número de dosis a utilizar. También es posible mezclar ambos tipos de Fe para potenciar su absorción (Churio *et al.*, 2018). En cerdos la investigación sobre encapsulación de Fe es escasa (Antileo *et al.*, 2016; Churio *et al.*, 2018). En estos trabajos se les entregó un suplemento de Fe encapsulado a cerdos lactantes en forma de toma oral, que mejoró el estado de nutrición de Fe de los animales. Sin embargo, se observó un aumento considerable en la manipulación de los cerdos al requerir administrar el suplemento varias veces durante la lactancia, lo cual generó estrés en los animales y alteró la conducta de la camada de forma negativa (Valenzuela *et al.*, 2016). Por tanto, es necesario estudiar una forma de administración de este mineral en lactancia o destete que no requiera de la manipulación de los animales. En lactancia se ha comprobado que es muy difícil cualquier estrategia de suplementación oral no forzada, ya que los cerdos lactantes

tienden a consumir sólo leche materna y el consumo de otros alimentos es bajo y muy variable, como por ejemplo el caso del “creep feed” (Solà-Oriol y Gasa, 2017).

Para evaluar el consumo de nuevos ingredientes o alimentos tras el destete es fundamental estudiar la conducta alimentaria de los cerdos que puede verse afectada tanto por la variabilidad de cada individuo (Cabanac, 1971), como por las características organolépticas del alimento entregado. De esta manera la industria busca la inclusión de elementos palatables para contrarrestar las consecuencias de la neofobia post-destete como sustancias de sabor dulce y/o umami (Hellekant y Danilova, 1999). Otros factores a considerar son el tamaño de partícula y la textura del alimento, los cuales tienen un rol preponderante en la preferencias alimentarias de cerdos destetados (Solà-Oriol *et al.*, 2007). Para describir la conducta alimentaria de los animales en producción animal, generalmente se realizan pruebas de preferencia y aceptabilidad; considerando preferencia como la elección por parte de un individuo de un alimento por sobre otro, y aceptabilidad como el consumo total de un alimento o solución determinada en un periodo de tiempo en una exposición única del mismo (Forbes, 2010).

3. HIPÓTESIS

Los cerdos destetados presentan una mayor aceptabilidad y preferencia por elementos de enriquecimiento ambiental comestible que vehiculizan Fe encapsulado en presentación entera con respecto a la presentación molida.

4. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la conducta alimentaria de cerdos en recría ante la utilización de elementos de enriquecimiento ambiental comestibles que vehiculicen Fe.

5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar y caracterizar nutricionalmente los elementos de enriquecimiento ambiental comestibles.
- Determinar la preferencia de alimento con Fe hemo y no hemo sin encapsular en cerdos destetados.
- Determinar la aceptabilidad y preferencia de los elementos de enriquecimiento ambiental comestibles con Fe encapsulado en cerdos destetados.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Objetivo Esp. 1: Desarrollar y caracterizar nutricionalmente los EC

Se desarrollaron tres tipos de EC: 1) un elemento comestible control elaborado sin Fe (ECC), 2) elemento comestible con Fe no hemo en forma de sulfato ferroso (EC1) y 3) elemento comestible de mezcla de Fe hemo en forma de eritrocitos bovinos atomizados/Fe no hemo en forma de sulfato ferroso (EC2). Los EC fueron elaborados previamente en el Laboratorio de Encapsulación de Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile (FAVET). Los EC se elaboraron en base a una mezcla base de 40% p/v de suero de leche y 2% p/v de alginato de sodio. Esta mezcla base se dividió en dos partes iguales y se realizó una mezcla con Fe hemo al 1% p/v y otra con Fe no hemo al 1% p/v (EC1). Luego ambas mezclas con Fe se combinaron en proporción de 50:50 v/v (EC2). Para formar los EC, se depositaron las mezclas en moldes de silicona, para luego ser sometidas a un proceso de refrigeración por 48 h. Al finalizar este tiempo, a los EC se les sometió a un proceso de reticulación con cloruro de calcio 5% p/v por 30 min, para finalmente ser secados en estufa por 48 h, a 50°C.

Los EC fueron caracterizados por análisis químico proximal, según los procedimientos estándar de la AOAC (1996), en el Laboratorio de Nutrición Animal de FAVET. El contenido de Fe se cuantificó utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (GBC, 905AA, Australia), con una $\lambda = \text{Fe}: 248,3$.

6.2. Objetivo Esp. 2: Determinar la preferencia de alimento con Fe hemo y no hemo sin encapsular en cerdos destetados.

6.2.1. Animales y alojamiento

Todos los estudios descritos a continuación se realizaron en el Centro de Investigación, Innovación Tecnológica y Capacitación para la Industria Porcina Nacional (CICAP), Pontificia Universidad Católica de Chile (Pirque, Región Metropolitana, Chile). Estos estudios fueron aprobados por el Comité de Bioética de FAVET (28-2014).

Se utilizó un total de 32 cerdos de la línea genética PIC (Genus plc, Hampshire, Reino Unido), 16 machos y 16 hembras, clínicamente sanos, todos tratados al nacimiento con inyección parenteral de 200 mg de Fe dextrano, los cuales fueron destetados a los 21 días de edad para luego ser trasladados a la sala de recría para ser distribuidos en 16 corrales (2 cerdos por corral), con una densidad de 1 m² por animal. A la llegada de los animales al CICAP, estos fueron identificados con crotales numerados y pesados individualmente en una balanza digital.

6.2.2. Diseño experimental

Dos horas antes de las pruebas de preferencia los comederos de los cerdos fueron bloqueados con el fin de incentivar el consumo de los animales y no tener efectos de confusión con el plato de alimentación durante las pruebas. Los platos utilizados en estas pruebas consideraron un diámetro que permitió el adecuado consumo por parte de los dos cerdos, sin que existieran interferencias dadas por el espacio del plato de alimentación. Los 32 cerdos estudiados, tuvieron un día de aclimatación por lo que a los 22 días de edad se les dio a elegir durante 10 minutos entre: 1) un alimento control molido sin la inclusión adicional de fuentes de Fe y 2) un alimento al cual se le incluyó 1% p/v de Fe hemo o 1% p/v de Fe no hemo. El experimento se realizó en dos días consecutivos en donde el primer día a la mitad de los animales se le realizó la prueba de preferencia con dos platos de alimentación, entre alimento control vs. Fe hemo y a la otra mitad entre alimento control vs. Fe no hemo realizándose el segundo día las pruebas opuestas. Adicionalmente, la mitad de los animales recibió el plato con alimento con Fe a la izquierda y la otra mitad a la derecha. De esta manera el diseño quedo

contrabalanceado en cuando a las pruebas realizadas y lateralidad entre parejas y días.

Con la finalidad de estimar el consumo de alimento, los platos de alimentación fueron pesados antes y después de ofrecerlos a los cerdos, para posteriormente calcular ingesta y preferencia relativa al alimento control [(consumo alimento con Fe/consumo alimento control + consumo alimento con Fe)*100]

6.3. Objetivo Esp. 3: Determinar la aceptabilidad y preferencia de los EC con Fe encapsulado en cerdos destetados.

6.3.1. Aceptabilidad

Una vez concluida la prueba de preferencia (Objetivo Específico 2), vale decir a los 24 días de edad, a las mismas parejas de animales se les presentó un tipo de EC de forma entera (galleta) y de forma molida (polvo), en tres días consecutivos (un tipo de EC por día). Para la entrega de los EC enteros, se pesaron dos unidades (30 g), las cuales fueron colocadas en los platos de alimentación, en la parte frontal de cada corral durante 10 minutos. Una vez concluido el tiempo se retiraron los platos y se pesó el contenido restante. Después de un receso de 30 min, a cada pareja de cerdos se les presentó 30 g EC de forma molida, colocándolos en los mismos platos, durante 10 min. Una vez concluido el tiempo se retiraron los platos y se pesaron. La aceptabilidad se estimó por la diferencia de del peso del EC pre y post consumo.

Ocho cámaras de video (Cámaras IR exterior 1/3 Sony® 700tvl cmos, SENKO S.A., Santiago, Chile), fueron instaladas a los costados del galpón a una altura aproximada de 2 m, arriba de los corrales, lo que permitió monitorear dos corrales por cámara, con la intención de registrar la conducta alimentaria de los cerdos al momento de ofrecer los EC. En base a la revisión de los videos obtenidos del estudio de aceptabilidad, se registró el número de acercamientos de los cerdos hacia los EC y también el tiempo de consumo/juego, como una medida de registrar

de forma cuantificable el grado de atracción o rechazo de los cerdos por los EC (Frías *et al.*, 2016).

6.3.2. Preferencia

Para medir la preferencia se presentaron a los cerdos de 27 días de edad, los tres tipos de EC, al mismo tiempo, durante 10 minutos. Se utilizó el EC en presentación entera (dos galletas de 30 g en total) en primera instancia y luego de una pausa de 30 minutos, la presentación molida (30 g), usando un tipo de EC por plato de alimentación. Se buscó determinar la preferencia por parte de los cerdos, contrabalanceando las posiciones de los EC entre parejas de animales, lo que implicó disponer al azar la posición de cada plato de alimentación por cada corral entre izquierda, centro y derecha. Los EC enteros y molidos se pesaron antes y después de entregarlos a los cerdos con la finalidad de estimar los consumos. Para posteriormente calcular la preferencia relativa de cada EC se utilizó la siguiente fórmula: $(\text{Consumo EC}_x / (\text{consumo EC}_x + \text{consumo EC}_y + \text{consumo EC}_z)) * 100$. Donde EC_x: corresponde al tipo de EC de una determinada prueba; EC_y y EC_z los otros EC de la misma prueba, obteniendo de esta manera el porcentaje de EC consumido relativo a prueba de EC entero y molido, respectivamente.

6.4. Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante el software estadístico SAS® (SAS Institute, Cary, NC, EEUU). Los resultados de contenido de Fe de los distintos EC, fueron analizados con una prueba de ANOVA y Tukey ($p < 0,05$). Para los consumos en las pruebas de preferencia y aceptabilidad, el número de acercamientos y tiempo de consumo fueron analizados mediante un ANOVA utilizando un procedimiento MIXED en donde en el objetivo esp. 2 se consideró como variable dependiente el consumo del alimento y como variables independientes el tipo de alimento (control o suplementada con hierro) y el tipo de hierro utilizado en la prueba (hemo y no-hemo) además de la interacción entre ambos factores. En el objetivo esp. 3 se consideró el tipo de EC (ECC, EC1 y EC2), la presentación de cada EC (entero o molido), y la interacción entre ambos factores como variables independientes para

el análisis del consumo. Se consideró a la pareja de cerdos como medida repetida y unidad experimental. Las medias fueron presentadas como LsMeans siendo estas previamente ajustadas con una prueba de Tukey. Se utilizó una significancia de $p < 0,05$.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El aspecto físico de los EC se presenta en la Figura 1. Los EC fueron redondos debido al molde utilizado. Todos resultaron moldearse adecuadamente, sin presentar desprendimientos al momento del desmolde. Mostraron superficies lisas por ambos lados y sin fisuras. El ECC mostró un color amarillo, por estar compuesto por suero de leche, el cual es un insumo de color similar. El EC1 presentó un color verdoso debido a la presencia de Fe no hemo en su formulación, ya que el sulfato ferroso tiene un color turquesa. El EC2 presentó una coloración marrón debido a la inclusión de Fe hemo como eritrocitos atomizados, los cuales tienen una pigmentación marrón-rojiza, típica del grupo hemo (Wismer-Pedersen, 1988).



FIGURA 1. Aspecto de los elementos de enriquecimiento ambiental comestibles (EC): Control, sin adición de fuente de Fe (ECC); con Fe no hemo (EC1) y de mezcla (Fe hemo/Fe no hemo) (EC2).

Aunque la capacidad de detectar colores por parte de los cerdos ha sido poco estudiada, investigaciones han identificado que los cerdos poseen una visión dicromática, lo que implica la capacidad de ver tonalidades azules y/o verdes (Lomas *et al.*, 1998). Sin embargo, otros investigadores han evidenciado que los cerdos sólo poseen una visión monocromática en el rango de tonalidades azules y también tonalidades grises claras u oscuras, siendo imposible para ellos detectar tonalidades rojas o verdes (Tanida *et al.*, 1991). Debido a esto, y a pesar de que los cerdos son capaces de detectar ciertas tonalidades de claros y oscuros, sería

posible presumir que los cerdos no tendrían una predilección especial por los EC utilizados en este estudio.

En la Tabla 1 se presentan los resultados del análisis químico proximal (AQP) de los EC, en donde se observa que los tres tipos de EC tienen una composición química similar, observándose sólo diferencias significativas para el contenido de cenizas, lo cual se explica por la adición de las fuentes de Fe. Los EC estuvieron compuestos principalmente de extracto no nitrogenado (ENN) y proteína, mostrando una composición bastante similar al suero de leche, que tiene 12% de proteína cruda y 3.190 Kcal/kg de energía metabolizable (Batal *et al.*, 2012).

TABLA 1. Análisis químico proximal (AQP) y contenido de Fe de los elementos de enriquecimiento ambiental comestible (EC).

AQP	ECC	EC1	EC2
Humedad (%)	4,8 ± 0,0	4,6 ± 0,2	4,4 ± 0,0
Materia seca (%)	95,2 ± 0,0	94,8 ± 0,0	95,6 ± 0,0
Proteína cruda (%)	11,8 ± 0,1	11,9 ± 0,3	12,9 ± 0,5
Fibra cruda (%)	0,9 ± 0,2	0,8 ± 0,1	1,0 ± 0,2
Extracto etéreo (%)	0,2 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0
ENN (%)	72,1 ± 0,1	71,0 ± 0,1	71,3 ± 0,0
Cenizas (%)	9,2 ± 0,0 ^a	11,3 ± 0,1 ^b	10,9 ± 0,1 ^b
Fe (mg/g)	0,3 ± 0,1 ^a	2,3 ± 0,6 ^b	0,8 ± 0,2 ^c

ECC: Sin Fe; EC1: Fe no hemo; EC2: Fe hemo/no hemo; ENN: extracto no nitrogenado. Letras distintas en superíndices entre filas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

En la Tabla 1 también se presenta el contenido de Fe de los EC. El ECC contiene niveles traza de Fe a pesar de no haber sido agregado este mineral en su formulación. Esto se debe a que el Fe se encuentra en la mayoría de los ingredientes alimentarios, encontrándose en alta concentración en la naturaleza. El contenido de Fe de EC1 fue superior al de EC como era de esperar, pero bastante

superior al contenido de Fe de EC2, lo cual se explica por el aporte de las diferentes fuentes de Fe usadas, ya que la fuente de Fe hemo, utilizada como eritrocitos bovinos atomizados contienen 2,5 mg de Fe/g (Valenzuela *et al.*, 2015), a diferencia de la fuente de Fe no hemo (Sulfato ferroso) que contiene aproximadamente 162 mg de Fe/g (Churio *et al.*, 2018), siendo este segundo mucho más concentrado al ser una sal inorgánica de Fe, lo que explicaría las diferencias en el contenido de Fe de los EC.

La cantidad que puede aportar cada fuente de Fe es bastante diferente, lo que hace cuestionarse si es eficiente agregar el Fe hemo en vez de agregar sólo Fe no hemo, que es lo que se ha hecho en muchos estudios anteriores de suplementación con Fe para cerdos (Lipiński *et al.*, 2013). Sin embargo, el Fe hemo es más biodisponible que el no hemo en cerdos (Quintero-Gutiérrez *et al.*, 2008; Lipiński *et al.*, 2013), es capaz de aumentar la biodisponibilidad del Fe no hemo (South *et al.*, 2000) y absorberse por una vía diferente a nivel intestinal (Staroń *et al.*, 2017). Otro punto importante a notar es que debido a la baja concentración por gramo de Fe hemo, sería necesario utilizar un volumen muy grande para alcanzar los mismos niveles que el hierro no-hemo lo cual haría poco viable su entrega a los cerdos.

En la Figura 2 se presenta el consumo de alimento según la inclusión de ambas fuentes de Fe. La inclusión del tipo de Fe en el alimento tuvo un efecto en el consumo de los cerdos ($p=0,001$), con respecto a un alimento control. Los cerdos estudiados mostraron una mayor ingesta del alimento con Fe hemo respecto al alimento con Fe no hemo ($p=0,005$). Sin embargo, no hubo diferencias entre el alimento control (C) y el alimento con Fe hemo ($p=0,986$), diferencias que si existieron entre el alimento control y el con Fe no hemo ($p=0,001$). Así, se podría inferir que más que una preferencia por el alimento con Fe hemo los animales presentaron una aversión por el Fe no hemo.

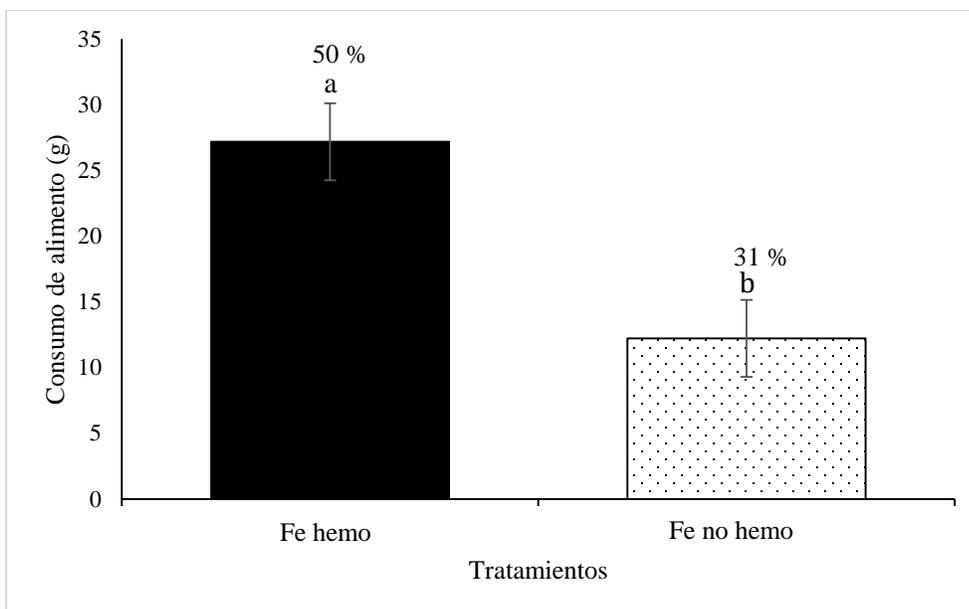


FIGURA 2. Consumo de alimento suplementado con Fe Hemo (eritrocitos bovinos 1%) y con Fe no hemo (Sulfato ferroso 1%) en prueba de preferencia contra un alimento control sin Fe en cerdos en recría durante 10 min. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Las barras representan el error estándar de las medias y los porcentajes de preferencia el consumo relativo del alimento contra el alimento control.

El menor consumo observado para el alimento con Fe no hemo con respecto al alimento con Fe hemo podría tener relación con el sabor desagradable de las sales inorgánicas de Fe, específicamente del sulfato ferroso, cuando éste no está encapsulado y se agrega en los alimentos. Estudios en humanos han descrito rechazo de los consumidores de productos fortificados con Fe sin encapsular (Nedovic *et al.*, 2011), al igual que en otras especies como ratas (Moslemi *et al.*, 2018). En humanos ha sido posible describir el sabor de éstos alimentos como metálicos, produciéndose la aversión debido a un componente gustatorio reflejo en donde se involucra la zona retronasal de la cavidad bucal (Stevens *et al.*, 2006), lo cual se condice con la forma que tienen los cerdos de percibir ciertos sabores, rechazando también sabores de este tipo (Roura y Fu, 2017). En cambio el alimento con Fe hemo no presento diferencias de consumo respecto al alimento control. Este resultado concuerda con otros estudios, en donde se ha reportado que la

aceptabilidad de alimentos por los cerdos no se ha afectado con la inclusión de hemoglobina (Tepper *et al.*, 2002), la cual es fuente de Fe hemo, u otros que han utilizado Fe hemo dentro de galletas que fueron consumidas por los cerdos (Quintero-Gutierrez *et al.*, 2008).

En la Figura 3 se observa el consumo de EC por parte de los cerdos. Se evidencia un consumo significativamente mayor del EC2 entero en comparación al ECC molido ($p=0,007$) y al EC1 molido ($p=0,002$). No se observaron diferencias entre EC para la misma forma.

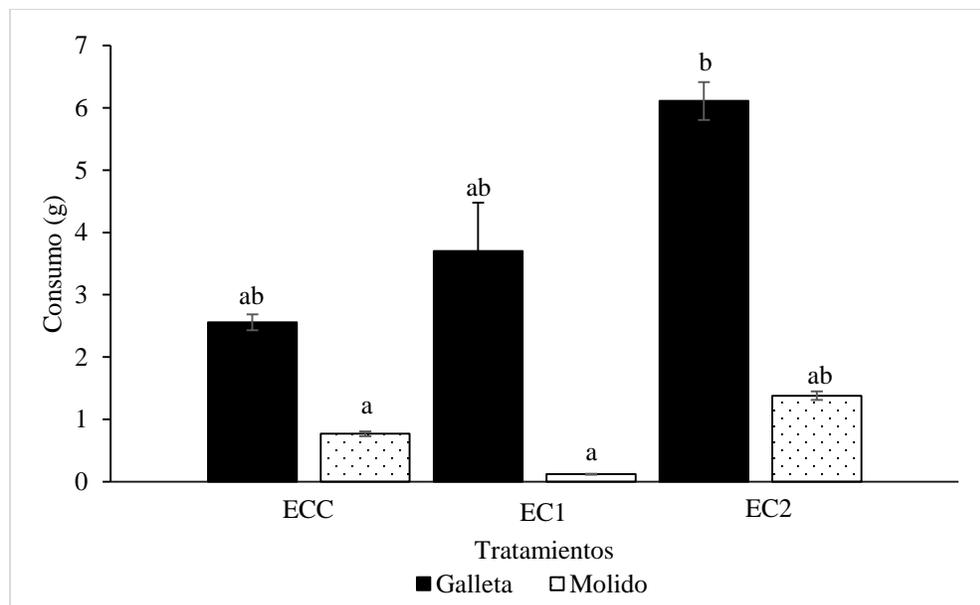


FIGURA 3. Aceptabilidad de los elementos de enriquecimiento ambiental (EC) medida a través de su consumo (g), según tipo de EC y presentación (ECC=Sin Fe, EC1=Fe no hemo y EC2=Fe Hemo), en cerdos en recría durante 10 min cada una. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$).

En la Figura 4, se observan el número de acercamientos por parte de los cerdos según tipo de EC y presentación. Lo que principalmente se observa es un efecto de la presentación sobre el número de acercamientos ($p=0,006$), en donde la forma entera presentó mayores acercamientos que la molida, a excepción del ECC molido.

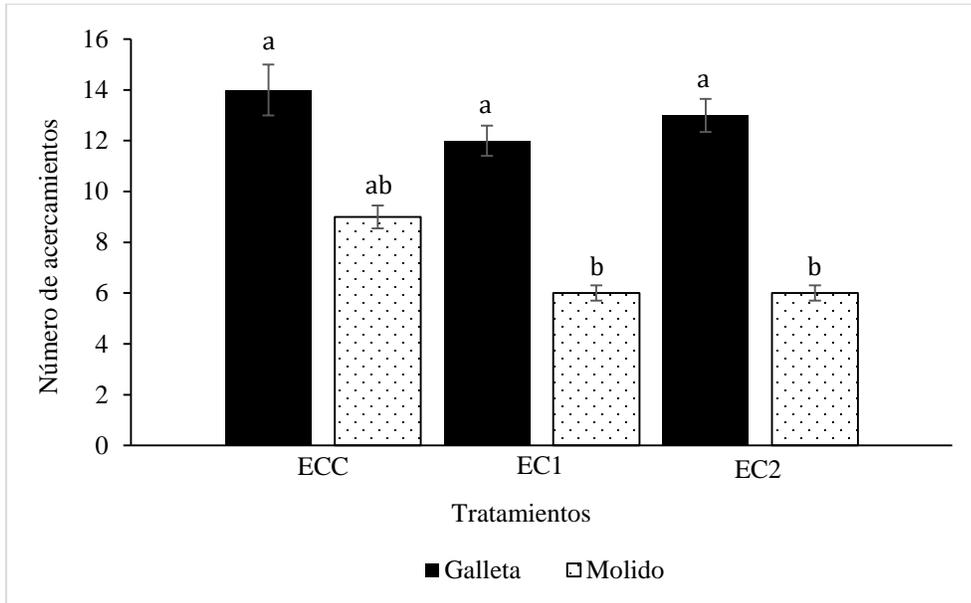


FIGURA 4. Aceptabilidad de los elementos de enriquecimiento ambiental comestibles (EC) medido a través del número de acercamientos, según tipo de EC y presentación (ECC=Sin Fe, EC1=Fe no hemo y EC2=Fe hemo), en cerdos en recría, durante 10 min cada una. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Finalmente, en la Figura 5 se observa el tiempo de consumo/juego de los EC, en donde se observa un mayor tiempo de interacción por parte de los cerdos con los EC en presentación entera por sobre la molida ($p < 0,0001$). No se observaron diferencias entre EC.

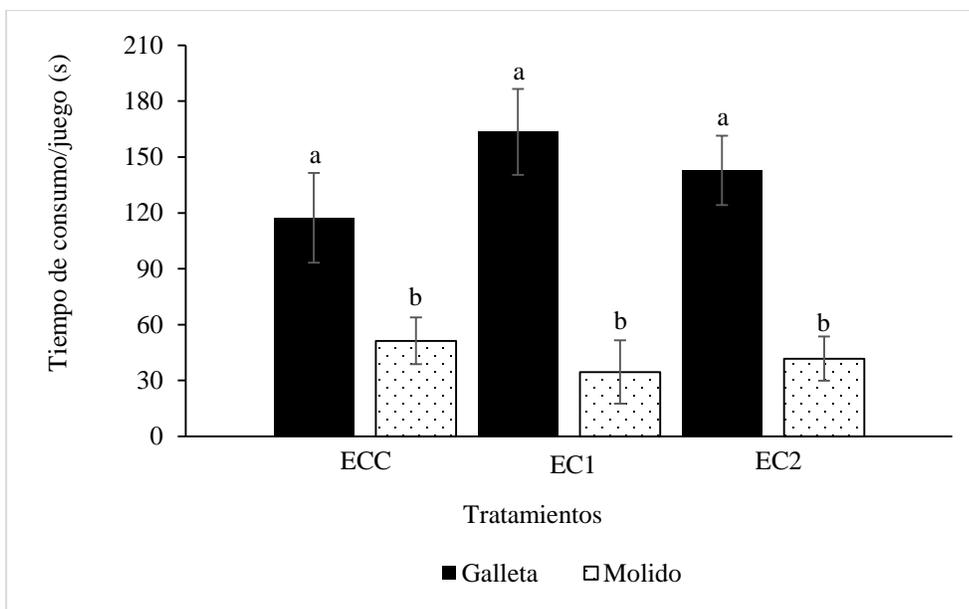


FIGURA 5. Aceptabilidad de los elementos de enriquecimiento ambiental comestible (EC) medido a través del tiempo de consumo/juego (s), según tipo de EC y presentación (ECC=Sin Fe, EC1=Fe no hemo y EC2=Fe hemo), en cerdos en recría. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

En términos generales en este estudio se encontró que hubo una mayor aceptabilidad, número de acercamientos y tiempo de consumo/juego de los cerdos frente a los EC en presentación entera, en comparación a la presentación molida. Esto se podría deber principalmente a la forma de galletas de los EC que es atractiva para los cerdos, ya que cumplen con algunos de los requisitos que debe tener un elemento de enriquecimiento ambiental para llamar la atención de los animales, como tener una forma física atractiva como juguete, ser masticable y deformable (Van der Weerd *et al.*, 2003). Así los EC podrían ser utilizados como un elemento de enriquecimiento ambiental, ya sea en etapa de destete u otra estresante para los cerdos. Esto se suma a que son aceptados adecuadamente por los cerdos por lo que sería posible vehicular nutrientes distintos al Fe, mediante la técnica de encapsulación, lo que sería necesario estudiar en futuras investigaciones considerando distintos y mayores tiempos de presentación de los EC a los cerdos. Esto es importante destacar, ya que se han utilizado otros elementos comestibles

tipo alimento como paja comestible, que no han tenido una buena aceptabilidad (Van der Weerd *et al.*, 2003).

Por otra parte, se logró lo esperado con el proceso de encapsulación que era enmascarar el sabor desagradable del Fe no hemo, ya que los cerdos no discriminaron entre EC. De esta manera la encapsulación juega un rol fundamental al poder incorporar en una matriz un nutriente que genera aversión, al igual como se ha desarrollado en la industria de alimentación y farmacéutica humana (Nedovic *et al.*, 2011), y en lo evidenciado en otras investigaciones en ratas (Moslemi *et al.*, 2018), pudiendo enmascarar sabores desagradables usando esta tecnología.

Es importante poner en evidencia que no hubo diferencias entre cada tipo de EC, en lo que respecta al número de acercamientos y tiempo de consumo/juego, lo cual también rebate la posibilidad de que los cerdos hayan discriminado a los EC debido a su diferente coloración y/o sabor.

No hubo un efecto del tipo de EC sobre el consumo de los cerdos durante la prueba de preferencia de tres platos ($p=0,972$). Tampoco hubo un efecto de la presentación ($p=0,071$), ni de la combinación entre ambos factores ($p=0,302$), a excepción de un mayor consumo del EC2 entero sobre el EC1 molido ($p=0,036$) (Figura 6).

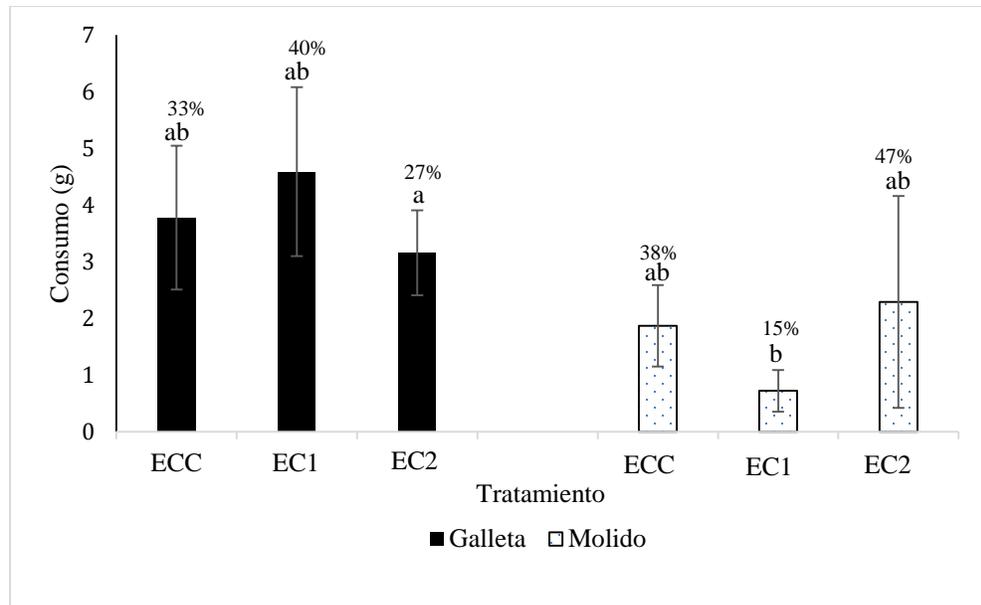


FIGURA 6. Consumo de elementos de enriquecimiento ambiental comestibles (EC), según tipo de EC (ECC=Sin Fe, EC1=Fe No Hemo y EC2=Fe Hemo/No Hemo) durante pruebas de preferencia de tres platos con EC enteros y molidos, en cerdos en recría, durante 10 min. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). La preferencia en porcentaje se indica en cada barra del gráfico.

Nuevamente vuelve a evidenciarse un mayor consumo de los EC en presentación entera (EC2) en relación al molido (EC1), lo cual se condice con los resultados de aceptabilidad. Lo evidenciado en esta investigación es consistente con las investigaciones en cerdos las cuales muestran una mayor atracción por alimentos enteros los cuales son más atractivos, ya que incentivan la curiosidad y el comportamiento de exploración (Sola-Oriol y Gasa, 2017). Algo que sería interesante investigar son los tiempos de presentación de cada tratamiento para los cerdos estudiados, para de esta forma evaluar que tiempos serían suficientes para la ingestión de una adecuada cantidad de Fe, así como también estudiar los niveles plasmáticos de Fe, luego de consumir Fe oral vehiculizado en EC con la finalidad de tratar estados de deficiencia de Fe al destete.

8. CONCLUSIONES

En conclusión, fue posible desarrollar EC y vehicular Fe en ellos, independiente su fuente de origen. Los cerdos mostraron una menor preferencia por el Fe no hemo en comparación al Fe hemo, cuando éstos fueron incorporados al alimento sin encapsular. Los cerdos no discriminaron entre los distintos tipos de EC, indicativo que la tecnología de encapsulación enmascara el sabor del Fe no hemo. Los cerdos presentaron una mayor aceptabilidad e interacción con los EC enteros en comparación a los EC molidos. Los EC podrían utilizarse como una estrategia de enriquecimiento ambiental para cerdos destetados y también para vehicular nutrientes.

9. BIBLIOGRAFÍA

AOAC. 1996. Official Methods of Analysis. Assoc. Off. Anal. Chem., Arlington, VA.

ANTILEO, R; FIGUEROA, J; VALENZUELA, C. 2016. Characterization of a novel encapsulated oral iron supplement to prevent iron deficiency anemia in neonatal piglets. *J. Anim. Sci.* 94:157-60.

BATAL, A; DALE, N; PERSIA, M. 2012. Feedstuffs Ingredient Analysis Table. 2012 edition. Athens: University of Georgia. Available: http://fdsmagissues.feedstuffs.com/fds/Reference_issue_2012/03_Ingredient%20Analysis%20Table%202012%20Edition.pdf. Consultado: 20 Noviembre 2018.

BURNELL, T. W.; CROMWELL, G. L.; STAHLY, T. S. 1988. Effects of dried whey and copper sulfate on the growth responses to organic acid in diets for weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 66(5):1100-08.

CABANAC, M. 1971. Physiological role of pleasure. *Science.* 173:1103-7.

CHURIO, O; PIZARRO, F; VALENZUELA, C. 2018. Preparation and characterization of iron-alginate beads with some types of iron used in supplementation and fortification strategies. *Food Hydrocolloid.* 74:1-10.

FIGUEROA, J; SOLÀ-ORÍOL, D; MANTECA, X; PÉREZ, J.F. 2013. Social learning of feeding behaviour in pigs: Effects of neophobia and familiarity with the demonstrator conspecific. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 148:120-7.

FRÍAS, D; TADICH, T; FRANCO-ROSSELLÓ, R; DWYER, D.M.; FIGUEROA, J. 2016. Consumption patterns: A proposed model for measurement of solution palatability in pigs. *J. Anim. Sci.* 94:103-5.

FORBES, J. M. 2010. Palatability: Principles, methodology and practice for farm animals. CAB Rev. 5:1-16.

GLICKSMAN, M. 1987. Utilization of seaweed hydrocolloids in the food industry. Hydrobiologia. 151(1):31-47.

HAMED, I.; ÖZOGUL, F.; ÖZOGUL, Y.; REGENSTEIN, J. M. 2015. Marine bioactive compounds and their health benefits: A review. Compr. Rev. Food Sci. F. 14(4):446-65.

HELLEKANT, G Y DANILOVA, V. 1999. Taste in domestic pig, *Sus scrofa*. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 82:8-24.

LIPÍŃSKI, P; R. STARZYŃSKI, F; CANONNE-HERGAUX, B; TUDEK, R; OLINSKI, P; KOWALCZYK, T; DZIAMAN, O; THILBAUDEAU, M; GRALAK, E; SMUDA, J; WOLINSKI, A; USINSKA; ZABIELSKI, R. 2010. Benefits and risks of iron supplementation in anemic neonatal pigs. Am. J. Pathol. 177:1233-43.

LIPÍŃSKI, P; A. STYŚ, y STARZYŃSKI, R. 2013. Molecular insights into the regulation of iron metabolism during the prenatal and early postnatal periods. Cell. Mol. Life Sci. 70:23-38.

LOMAS, C.A.; PIGGINS, D.; PHILLIPS, C.J.C. 1998. Visual awareness. Appl. Anim. Behav. Sci. 57:247-57

MOSLEMI, M.; HOSSEINI, H.; REZA NEYESTANI, T.; AKRAMZADEH, N.; NEZHAD FARDE, R. 2018. Effects of non-digestive polymers used in iron encapsulation on calcium and iron apparent absorption in rats fed by infant formula. J. Trace Elem. Med. Bio. 50:393-8.

NEDOVIC, V.; KULUSEVIC, A.; MANOJLOVIC, V.; LEVIC, S.; BUGARSKI, B. 2011. An overview of encapsulation technologies for food applications. Proc. Food Sci. 1:1806-15.

PERRI, A.; FRIENDSHIP, R.; Y HARDING, J. 2016. An investigation of iron deficiency and anemia in piglets and the effect of iron status at weaning on post-weaning performance. J. Swine Health Prod. 24(1):10-20.

PLUSKE, J.; KIM, J.; HANSEN, C.; MULLAN, B.; PAYNE, H.; HAMPSON, D.; CALLESEN, J.; WILSON, R. 2007. Piglet growth before and after weaning in relation to a qualitative estimate of solid (creep) feed intake during lactation: a pilot study. Arch. Anim. Nutr. 61:469–80.

QUINTERO-GUTIÉRREZ, A., GONZÁLEZ-ROSENDO, G., SÁNCHEZ-MUÑOZ, J., POLO-POZO, J., RODRÍGUEZ-JEREZ, J., 2008. Bioavailability of heme iron in biscuit filling using piglets as an animal model for humans. Int. J. Biol. Sci. 18:58-62.

ROURA, E. y FU, M. 2017. Taste, nutrient sensing and feed intake in pigs (130 years of research: then, now and future). Anim. Feed Sci. Tech. 233:3-12.

SOLÀ-ORIO, D y GASA, J. 2017. Feeding strategies in pig production: Sows and their piglets. Anim. Feed Sci. Tech. 233:34-52.

SOLÀ-ORIO, D.; ROURA, B, E; TORRALLARDONA, D. 2007. Pig preference for cereal based diets, relationship with their digestibility and physical properties. Livest. Sci. 108:190-3.

SOUTH P.; LEI X.; MILLER D. 2000. Meat enhances non heme iron absorption in pigs. Nutr. Res. 20(12):1749-59.

STAROŃ, R.; LIPIŃSKI, P.; LENARTOWICZ, M.; BEDNARZ, A.; GAJOWIAK, A.; KRZEPTOWAKI, W.; PIESZKA, M.; KOROLONEK, T.; HAMZA, I.; SWINKELS, D.; VAN SWELM, R.; STARZYŃSKI, R. 2017. Dietary hemoglobin rescues young piglets from severe iron deficiency anemia: Duodenal expression profile of genes involved in heme iron absorption. *Plos One* 12(7): e0181117

STEVENS, D; SMITH, R; LAWLESS, H. 2006. Multidimensional scaling of ferrous sulfate and basic tastes. *Physiol. Behav.* 87:272-9.

TANIDA, H; SENDA, K; SUZUKI, S; TANAKA, T; YOSHIMOTO, T. 1991. Color discrimination in weanling pigs. *J. Anim. Sci. Technol.* 62:1029–34.

TEPPER, R; GONZÁLEZ, A; CASTELLANOS, D; HURTADO, E. 2005. Acceptability and consumption of spray dried plasma and hemoglobin in diets for starter pigs. *Rev. Cient.* 12(2): 458-60.

VALENZUELA, C.; ANTILEO, R.; LAGOS, G.; PIZARRO, F. 2015. El cerdo como modelo experimental para la nutrición de hierro. *Rev. Chil. Nutr.* 42(2):191-8.

VALENZUELA, C.; LAGOS, G.; FIGUEROA, J.; TADICH, T. 2016. Behavior of suckling pigs supplemented with an encapsulated iron oral formula. *J. Vet. Beh.* 13:6-9.

VAN DER WEERD, H.A., DOCKING, C.M., DAY, J.E.L., AVERY, P.J., EDWARDS, S.A. 2003. A systematic approach towards developing environmental enrichment for pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 84:101-118.

VAN DER WEMRD, H; DAY, J. 2009. A review of enviromental enrichment for pigs housed in intensive housing systems. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 116:1-20.

WISMER-PEDERSEN, J. 1988. Use of haemoglobin in food – A review. *Meat Sci.* 24(1):31 – 45.

XU, Z; LIU, S; WANG, H; GAO, G; YU, P; CHANG, Y. 2014. Encapsulation of iron in liposomes significantly improved the efficiency of iron supplementation in strenuously exercised rats. *Biol. Trace Elem. Res.* 162:181-8.

ZIMMERMANN, M. 2004. The potential of encapsulated iron compounds in food fortification: A review. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* 74:453-461.