



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS

**CONDUCTA ALIMENTARIA DE CERDOS FRENTE A ELEMENTOS
COMESTIBLES CARGADOS CON HIERRO ENCAPSULADO Y
SABORIZADOS CON EDULCORANTES**

Mauricio Octavio Anticoi Urzúa

Memoria para optar al Título
Profesional de Médico Veterinario
Departamento de Fomento de la
Producción Animal

PROFESOR GUÍA: CAROLINA PAZ VALENZUELA VENEGAS
Universidad de Chile

FONDECYT 11140249

SANTIAGO, CHILE
2018



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS

**CONDUCTA ALIMENTARIA DE CERDOS FRENTE A ELEMENTOS
COMESTIBLES CARGADOS CON HIERRO ENCAPSULADO Y
SABORIZADOS CON EDULCORANTES**

Mauricio Octavio Anticoi Urzúa

Memoria para optar al Título
Profesional de Médico Veterinario
Departamento de Fomento de la
Producción Animal

Nota Final:

Firma:

Profesor Guía:	Carolina Paz Valenzuela Venegas
Profesor Corrector:	Sergio Alejandro Guzmán Pino
Profesor Corrector:	Juan Ignacio Egaña Moreno

FONDECYT 11140249

SANTIAGO, CHILE
2018

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermanos por ser un apoyo fundamental durante todos estos años. Principalmente a mi madre Erika Urzúa, por brindarme valores, cariño y dedicación de forma incondicional y por siempre incentivarme a estudiar y a seguir mis sueños.

A mi novia y amiga Francesca, por estar en todo momento alentándome a seguir, brindándome momentos inolvidables, alegrando mi vida y ser la mejor compañera que pude escoger.

A mi amiga Camila, por todos los momentos vividos, sus consejos y su alegría.

A todo el equipo de trabajo, amigos y colegas de la clínica del Club hípico de Concepción, por brindarme todo el apoyo durante este proceso y en mi formación.

A la Dra. Carolina Valenzuela, por su paciencia y apoyo durante todo este proceso, por confiar en mí y orientarme en todo momento.

A todos aquellos que han aportado en este proceso de una u otra manera.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue desarrollar y caracterizar elementos de enriquecimiento alimentario (EEA) cargados con hierro (Fe) encapsulado y saborizados con distintos edulcorantes, y evaluar la conducta alimentaria de cerdos destetados frente a estos. Se elaboraron tres tipos de EEA, compuestos de una mezcla base de 40% p/v de suero de leche, 2% p/v de alginato de sodio, 1% p/v de Fe hemo (eritrocitos bovinos atomizados) y 1% p/v de Fe no hemo (sulfato ferroso). El EEA control (EEAC): fue elaborado sin edulcorante, EEA1: con 15% p/v de un edulcorante natural (sacarosa), y EEA2: con 0,03% p/v de un edulcorante artificial (Sucram[®]). Doce parejas de cerdos recientemente destetados fueron distribuidos en tres grupos experimentales: EEAC, EEA1 Y EEA2, para realizar pruebas de aceptabilidad y preferencia. En ambas pruebas la duración de la exposición a los EEA ofrecidos fue de 10 minutos y éstos fueron pesados al inicio y final de cada prueba para estimar consumo. Durante las pruebas de aceptabilidad se realizó la grabación de videos para evaluar la interacción y el número de acercamientos realizados a los EEA a los 2 y 10 minutos. No se registraron diferencias estadísticamente significativas en la aceptabilidad y preferencia de los tres tipos de EEA ofrecidos, así como tampoco en la cantidad de acercamientos e interacciones realizadas por los cerdos hacia éstos ($p>0,05$). En conclusión, el uso de edulcorantes naturales o artificiales, no presentan efectos sobre la preferencia y aceptabilidad de elementos comestibles cargados con Fe encapsulado, para cerdos de recría.

Palabras claves: cerdos, conducta alimentaria, edulcorantes, elementos comestibles, hierro.

ABSTRACT

The objective of this study was to develop and characterize food enrichment elements (FEE) loaded with encapsulated iron (Fe) and flavored with different sweeteners, and to assess the feeding behaviour of weaned pigs when they encounter these. We developed 3 types of FEE, with a base mixture of 40% w/v of milk serum, 2% w/v of sodium alginate, 1% w/v of heme iron (bovine atomized erythrocytes) and 1% w/v of non-heme iron (ferrous sulfate). The control FEE (CFEE) was prepared without sweeteners, FEE1: with 15% w/v of a natural sweetener (sucrose) and FEE2: with 0.03% w/v of an artificial sweetener (Sucram®). Twelve pairs of recently weaned pigs were distributed in 3 experimental groups: FEEC, FEE1 and FEE2, to perform preference and acceptability tests. For both tests the offered FEE was available for 10 minutes, and to estimate consumption, the FEE were weighed at the beginning and at the end of each test. During the acceptance tests, videos were recorded to assess interaction and number of approaches to the FEE at minutes 2 and 10. There were no statistically significant differences in the acceptability and preference of the three types of FEE offered, nor in the number of approaches and interactions of the pigs towards them ($p>0.05$). In conclusion, the use of natural or artificial sweeteners has no effect on the preference and acceptability of the edible elements loaded with encapsulated Fe for pigs.

Keywords: pigs, feeding behaviour, sweeteners, edible elements, iron.

INTRODUCCIÓN

La producción intensiva de cerdos se ha desarrollado rápidamente en los últimos años. Una de las principales deficiencias nutricionales que se presenta en este tipo de sistema es la anemia por deficiencia de Fe, debido a diversas causas. Para su prevención se utiliza una dosis única de 200 mg de Fe dextrano intramuscular, durante los primeros días de vida, sin embargo, este procedimiento en muchos casos no es totalmente efectivo, encontrando animales con depleción de Fe, deficientes e incluso anémicos al destete y recría (Antileo *et al.*, 2016; Perri *et al.*, 2016). Ante esto, la suplementación con Fe oral se presenta como una alternativa. Sin embargo, los múltiples intentos de suplementación oral con Fe en la etapa de lactancia no han tenido buenos resultados, debido a la necesidad de entregarlos en varias dosis (Antileo *et al.*, 2016), su bajo consumo por las características organolépticas adversas de las fuentes de Fe comúnmente utilizadas (Valenzuela *et al.*, 2016a), y la baja biodisponibilidad del Fe por la inmadurez de los receptores y transportadores de Fe a nivel intestinal durante la primera semana de vida (Lipinski *et al.*, 2010). Además de las características de consumo de alimento que presentan los cerdos durante la lactancia, en donde consumen casi exclusivamente leche materna, así como durante el destete, donde la presentación de neofobia hacia nuevos alimentos es altamente prevalente (Figuroa *et al.*, 2013).

La aplicación de la tecnología de encapsulación para elaborar suplementos orales con Fe podría disminuir algunos de los problemas mencionados anteriormente (Zimmermann, 2004). La encapsulación se describe como un proceso de micro-empaquetamiento de una sustancia usualmente denominada “núcleo”, dentro de otra(s) sustancia denominada material “muralla” (Nedovic *et al.*, 2011). Esta ha sido implementada en la generación de distintos prototipos de suplementos de Fe orales para ratas y humanos, con buenos resultados. Un material adecuado para generar un suplemento oral podría ser el alginato de sodio, ya que este es capaz de encapsular Fe hemo y no hemo eficientemente (Valenzuela *et al.*, 2014; Valenzuela *et al.*, 2016b; Churio *et al.*, 2018), es estable en soluciones de pH bajo, como las gástricas, mientras que en soluciones que simulan contenido intestinal se degrada lentamente y puede liberar su contenido de forma controlada (Valenzuela *et al.*,

2016b; Churio *et al.*, 2018). La principal técnica utilizada para encapsular nutrientes con alginato es la gelificación iónica, la cual permite generar elementos con distintas formas físicas e incluir ingredientes alimentarios que mejoren su aspecto y aceptabilidad, los cuales podrían ser ofrecidos a los cerdos como elementos de enriquecimiento alimentario (EEA) que pueden vehiculizar Fe de diversas fuentes, aumentando la biodisponibilidad del Fe y ser entregados a los cerdos sin manejar a los animales.

Un ingrediente alimentario que puede ser incluido en la formulación de EEA, son los edulcorantes, ya que existen diversos estudios relacionados con la preferencia que los cerdos presentan por el sabor dulce (Glaser *et al.*, 2000), el cual podría mejorar la presentación del producto, aumentando la aceptabilidad y preferencia de los suplementos orales de Fe. Una vez que se cuenta con un EEA ya formulado, se debe estudiar la conducta alimentaria de los animales usando pruebas de preferencia y aceptabilidad (Forbes, 2010). En las pruebas de preferencias se presentan dos o más muestras al animal con el objetivo de conocer cual muestra es preferida, mientras que en pruebas de aceptabilidad se presentan productos al animal de forma individual y se evalúa el grado de “gusto” o “aversión” por éste (Drake, 2007). Además de la realización de pruebas para analizar la conducta alimentaria, también es importante previo a la introducción de un EEA para los animales, observar y evaluar el comportamiento de los cerdos frente a la presencia del EEA, ya sea registrando el número de acercamientos, así como también las posibles interacciones que los animales desarrollen con estos elementos, ya sean juegos, agresiones, consumo, entre otras. Estudios previos han utilizado la evaluación de los acercamientos y las interacciones de los cerdos con distintas soluciones ofrecidas para cuantificar el valor hedónico de éstas, lo que es definido también como palatabilidad, mediante la observación de registros de videos (Frías *et al.*, 2016). Estas observaciones cobran importancia ya que según Oostindjer *et al.* (2011) proporcionar a los cerdos un ambiente enriquecido puede disminuir la presentación de neofobia alimentaria e incentivar el consumo de alimentos.

Así, el objetivo de este trabajo fue desarrollar y caracterizar EEA cargados con Fe encapsulado y saborizados con distintos edulcorantes, y evaluar la conducta alimentaria de cerdos destetados frente a estos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Elementos de enriquecimiento alimentario (EEA): los EEA fueron elaborados en el Laboratorio de Encapsulación de FAVET. Los EEA se componen de una mezcla base de 40% p/v de suero de leche y 2% p/v de alginato de sodio. Esta mezcla se dividió en dos partes iguales y se realizó una mezcla con Fe hemo (eritrocitos bovinos atomizados) al 1% p/v y otra con Fe no hemo (sulfato ferroso) al 1% p/v. Luego ambas mezclas con Fe se combinaron en proporción de 50:50 v/v. Esta mezcla fue depositada en moldes de silicona, que fueron refrigerados por 24 h, para luego ser sometidos a un proceso de reticulación con cloruro de calcio 5% p/v por 30 min, y secado en estufa por 48 h, a 50°C. Esta formulación corresponde a la mezcla base (EEA control). Se probaron 3 tipos de EEA: 1) control (EEAC): elaborado sin agente edulcorante y según lo descrito anteriormente, 2) EEA1: elaborado con 15% p/v de un edulcorante natural (sacarosa) agregada a la formulación de la mezcla base, y 3) EEA2: elaborado con 0,03% p/v de un edulcorante artificial (98% de sacarina sódica, 1% de neoesperidina dihidrocalcona y 1% de maltol), conocido en el mercado como Sucram®. El contenido de Sucram® agregado a EEA2 fue el sugerido por el comerciante.

La propuesta de los EEA se basó en un estudio previo, en donde se concluyó que el EEA control no presentó diferencias significativas en relación al consumo, aceptabilidad y preferencia con un EEA de igual formulación pero sin Fe (datos no publicados).

Caracterización de los EEA: Los EEA se caracterizaron también por sus propiedades físicas, determinando el peso con una balanza digital y tamaño con un pie de metro.

Los EEA fueron caracterizados según análisis químico proximal (AOAC, 1996), determinándose contenido de humedad (método 945.15), proteína cruda (método Kjeldahl 945.18, N x 6.25), fibra cruda (método 962.09), extracto etéreo (método 945.16), extracto no nitrogenado y cenizas (método 920.153), 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 $\lambda = \text{Fe}: 248,3$; en el Laboratorio de Nutrición Animal de FAVET.

Estudio en cerdos

Lugar: Este estudio se realizó en el Centro de Investigación, Innovación Tecnológica y Capacitación para la Industria Porcina Nacional (CICAP) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (Pirque, Región Metropolitana, Chile).

Instalación de cámaras:

Se utilizaron 8 cámaras de video (Cámaras IR exterior 1/3 Sony® 700tvl cmos, SENKO S.A., Santiago, Chile), cada una de ellas conectada a un DVR “*digital video record*” y a un monitor. Las cámaras fueron instaladas previo al inicio de las pruebas de evaluación de la conducta alimentaria, cada una de ellas fue ubicada en el extremo adyacente al sector frontal de los corrales N° 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 y 16 (Anexo 1), permitiendo la captura de videos de todos los corrales.

Animales y diseño experimental

Este estudio fue aprobado por el Comité de Bioética de FAVET. Doce parejas de cerdos destetados (21 días) machos y hembras ([Large White x Landrace] x Pietrain), fueron distribuidos aleatoriamente en 12 corrales de recría (1 pareja por corral, Anexo 1). A la llegada de los animales al CICAP, estos fueron identificados con crotales con números correlativos y pesados. Al final del estudio los animales fueron nuevamente pesados.

Estudio de aceptabilidad

Los animales fueron distribuidos a tres grupos experimentales: EEAC, EEA1 y EEA2. Una hora antes de comenzar las pruebas de aceptabilidad y preferencia a los animales se les retiraron los comederos. A cada pareja de cerdos se les presentó un tipo de EEA, en 3 días consecutivos (Tabla 1). Para la entrega de los EEA, se pesaron 2 unidades y fueron colocadas en platos especiales para este tipo de pruebas, en la parte frontal de cada corral durante 10 minutos (Figura 1A). Los tratamientos se contra-balancearon para evitar sesgos de posición. Antes de este procedimiento las cámaras comenzaron con el modo de filmación. Una vez concluido el tiempo se retiraron los comederos y se pesó el contenido restante. Las cámaras se apagaron.

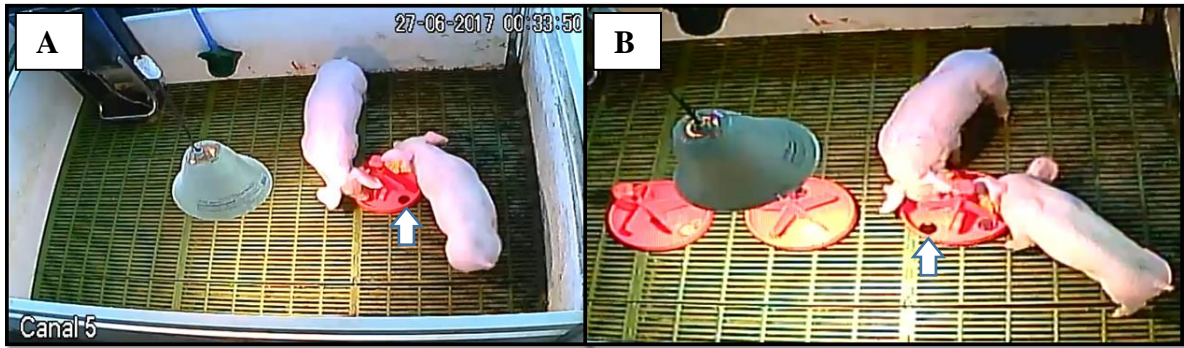


Figura 1. Imágenes de las pruebas de aceptabilidad (A) y de las pruebas de preferencia (B). La flecha de color blanco señala los EEA en los comederos.

Tabla 1. Distribución de los EEA: EEAC, EEA1 y EEA2, por corral para los estudios de aceptabilidad y preferencia.

Corrales	Estudio de aceptabilidad			Estudio de preferencia		
	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5		
1	2	C	1	2	C	1
2	2	1	C	2	1	C
3	C	2	1	C	2	1
4	1	C	2	1	C	2
5	2	1	C	2	1	C
6	C	1	2	C	1	2
7	1	2	C	1	2	C
8	2	C	1	2	C	1
9	C	2	1	C	2	1
10	1	2	C	1	2	C
11	2	C	1	2	C	1
12	C	1	2	C	1	2

Estudio de preferencia

Se determinó la preferencia alimentaria de los 3 tipos de EEA, usando los mismos animales del estudio de aceptabilidad. Una hora antes de comenzar las pruebas de aceptabilidad y preferencia a los animales se les retiraron los comederos. Este estudio se llevó a cabo en 1 día (Tabla 1, identificado como día 5). Para ello se les ofreció a los cerdos al mismo tiempo los tres EEA (C vs 1 vs 2), alternando las posiciones de los EEA en el corral (Tabla 1). Se entregaron 2 unidades de cada EEA, que fueron pesados previa entrega a los animales para estimar su consumo en gramos, y fueron ofrecidos cada uno en un plato diferente (Figura 1B), ubicados en la parte frontal de cada corral durante 10 minutos, posteriormente fueron retirados los comederos y se pesaron nuevamente.

Estudio de interacción y acercamiento con el EEA

Al finalizar el estudio de aceptabilidad y concluir con las grabaciones de videos, se procedió a realizar el análisis de estos registros para obtener el N° de acercamientos e interacciones a los 2 minutos y 10 minutos de filmación. Además se estableció para cada EEA una razón entre la cantidad de interacciones / N° acercamientos realizados por los cerdos en 2 y 10 minutos. La unidad experimental en este análisis fue cada cerdo.

Análisis estadístico

Caracterización nutricional de los EEA:

Los resultados del análisis químico proximal y contenido de Fe se analizaron por análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey ($p < 0,05$) usando el programa Stadistix 8[®]. Los resultados se presentaron como promedio \pm desviación estándar.

El consumo total de los EEA, en las pruebas de aceptabilidad y preferencia fueron analizadas con la prueba de Kruskal Wallis y comparación de múltiples rangos ($p < 0,05$), porque los datos no estaban distribuidos de forma normal (comprobado a través de una prueba de Shapiro-Wilk, $p < 0,05$). Estos análisis se realizaron con el programa Stadistix 8[®]. Los resultados se presentaron como promedio \pm error estándar de la media.

La interacción con los EEA se analizaron con la prueba de ANOVA y posteriormente una prueba de Tukey ($p < 0,05$), ya que los datos estaban distribuidos de forma normal, con el

programa Statistix 8[®]. Los resultados se presentaron como promedio \pm error estándar de la media.

RESULTADOS

Obtención y caracterización de los EEA

Fue posible obtener los tres tipos de EEA propuestos y en la Figura 2 se presentan sus aspectos. En la Tabla 2 se muestran las dimensiones de tamaño y el peso de los EEA. Los EEA poseen características físicas similares en cuanto a su forma ovalada, tamaño y peso. La apariencia de los EEA fue distinta en relación al color, el EEAC (Figura 2A) tuvo un color marrón claro, que varió a un tono marrón levemente más oscuro para EEA2 (Figura 2C), y bastante más oscuro para EEA1 (Figura 2B).



Figura 2. Aspectos de los elementos de enriquecimiento alimentario. A) Control (EEAC), B) con sacarosa (EEA1), y C) con edulcorante artificial (EEA2).

Tabla 2. Dimensiones y peso de los elementos de enriquecimiento alimentario control (EEAC), con sacarosa (EEA1), y con edulcorante artificial (EEA2).

Parámetros	EEAC	EEA1	EEA2
Alto (cm)	1,1 ± 0,3	1,2 ± 0,2	1,1 ± 0,4
Ancho (cm)	3,8 ± 0,4	3,9 ± 0,3	3,9 ± 0,5
Peso (g)	9,4 ± 0,6	9,5 ± 0,8	9,7 ± 0,6

*Indica diferencias significativas ($p < 0,05$).

El análisis químico proximal y contenido de Fe de los EEA se presentan en la Tabla 3. En esta se observa que el contenido de humedad fue bajo, y el EEA1 presentó un porcentaje de humedad significativamente mayor que el EEAC Y EEA2. El contenido de proteína fue

menor en el EEA1 en comparación con el EEAC Y EEA2. En cuanto al contenido de fibra cruda, éste fue bajo para todos los EEA y no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ellos. El porcentaje de extracto etéreo de todos los EEA fue bastante bajo y similar para todos los EEA. El cálculo del ENN, fue significativamente mayor en EEA1 que los otros dos. Por el contrario el contenido de cenizas del EEA1 fue significativamente menor en comparación con el EEAC y EEA2. Finalmente el contenido de Fe, fue similar en todos los EEA.

Tabla 3. Análisis químico proximal y contenido de Fe de los elementos de enriquecimiento alimentario control (EEAC), con sacarosa (EEA1), y con edulcorante artificial (EEA2).

Parámetros	EEAC	EEA1	EEA2
Humedad (%)	4,8 ± 0,0	5,5 ± 0,1*	4,6 ± 0,0
Proteína total (%)	11,8 ± 0,1	9,0 ± 0,3*	11,9 ± 0,2
Fibra cruda (%)	0,9 ± 0,0	1,01 ± 0,1	1,00 ± 0,1
Extracto etéreo (%)	0,03 ± 0,0	0,05 ± 0,1	0,04 ± 0,0
ENN (%)	73,1 ± 0,1	78,0 ± 0,1*	71,3 ± 0,3
Cenizas (%)	9,2 ± 0,0	4,9 ± 0,1*	9,9 ± 0,1
Fe (mg/g)	2,5 ± 0,8	2,2 ± 0,6	2,7 ± 0,5

ENN: extracto no nitrogenado. *Diferencias significativas ($p < 0,05$).

Prueba de aceptabilidad

En la Figura 3 se presentan los datos de consumo de los EEA por los cerdos, obtenidos desde las pruebas de aceptabilidad, en donde no se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre los EEA. Sin embargo, se observa una tendencia a un menor consumo del EEA1 ($p = 0,1273$) vs. EEAC ($p = 0,5796$) y EEA2 ($p = 0,2462$). El promedio de consumo de los EEA varió entre 8 a 13 g.

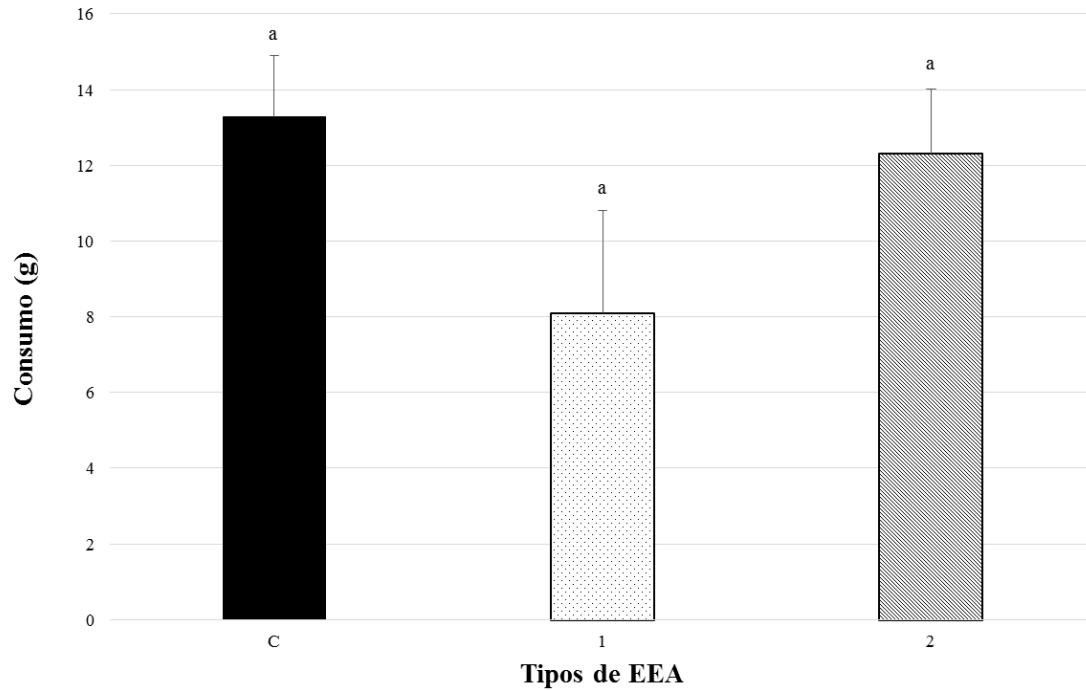


Figura 3. Consumo de los elementos de enriquecimiento alimentario (EEA) (datos expresados como promedio \pm error estándar de la media), por los cerdos en la prueba de aceptabilidad. Control (EEAC), con sacarosa (EEA1) y con edulcorante artificial (EEA2). Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Prueba de preferencias

En la Figura 4 se presentan los resultados de las pruebas de preferencia en los cerdos expuestos a los tres tipos de EEA, en donde no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la preferencia de los tres tipos de EEA ofrecidos. Sin embargo, se observa una tendencia a una menor preferencia por el EEA1 ($p = 0,0640$) vs. EEAC ($p = 0,4894$) y EEA2 ($p = 0,7650$).

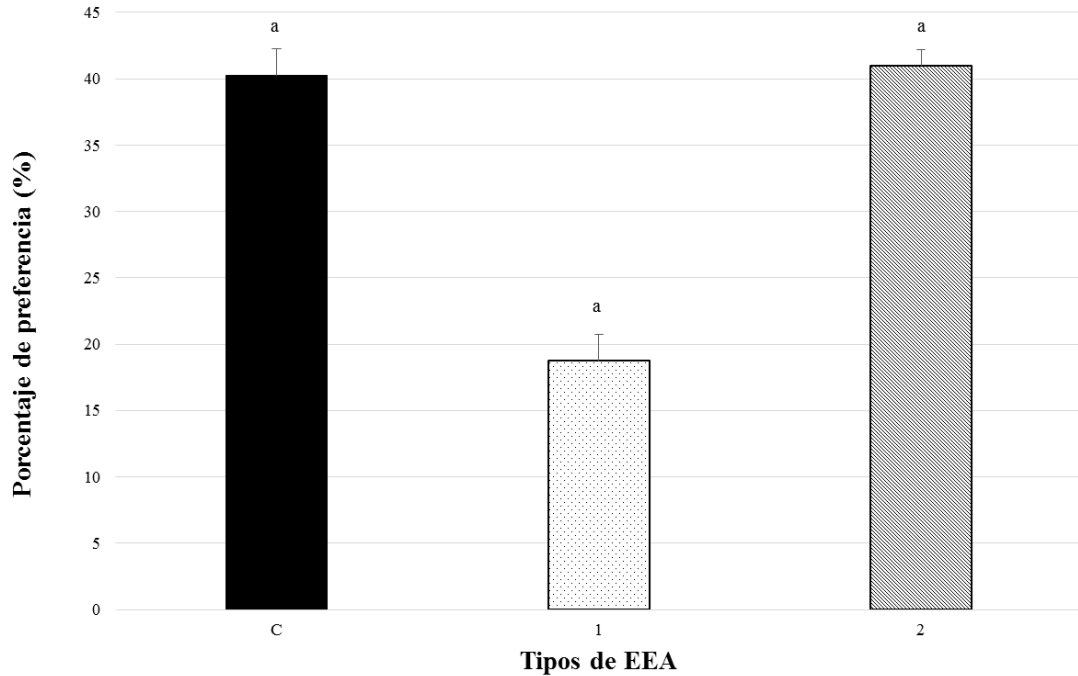


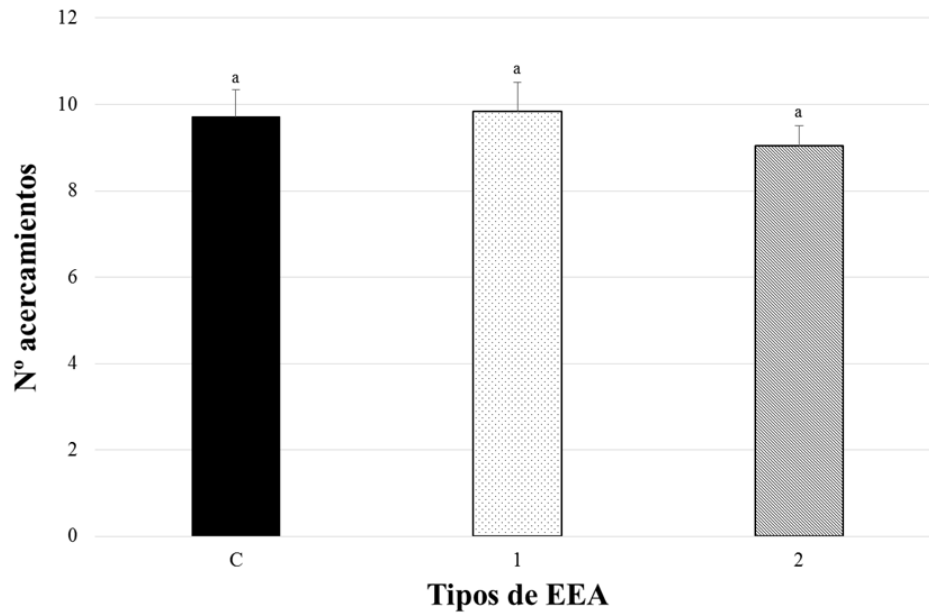
Figura 4. Porcentaje de preferencia de los elementos de enriquecimiento alimentario (EEA) (datos expresados como promedio \pm error estándar de la media), por los cerdos. Control (EEAC), con sacarosa (EEA1) y con edulcorante artificial (EEA2). Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Interacción con los EEA

Acercamientos en diferentes tiempos

En la Figura 5 se muestran los resultados del análisis de las grabaciones realizadas durante el desarrollo de las pruebas de aceptabilidad en los cerdos expuestos a los tres tipos de EEA. Los valores de la Figura 5 corresponden al número de acercamientos que los cerdos realizaron hacia los diferentes tipos de EEA durante diez (A) y dos minutos (B), respectivamente. En ambos tiempos de observación no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la cantidad de acercamientos realizados hacia los EEA.

A: acercamientos en 10 minutos



B: acercamientos en 2 minutos

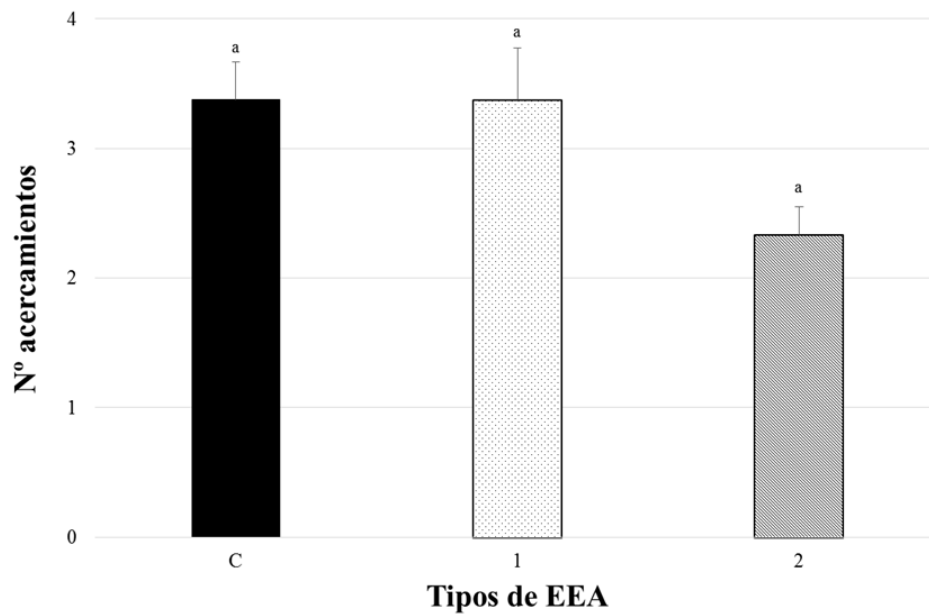
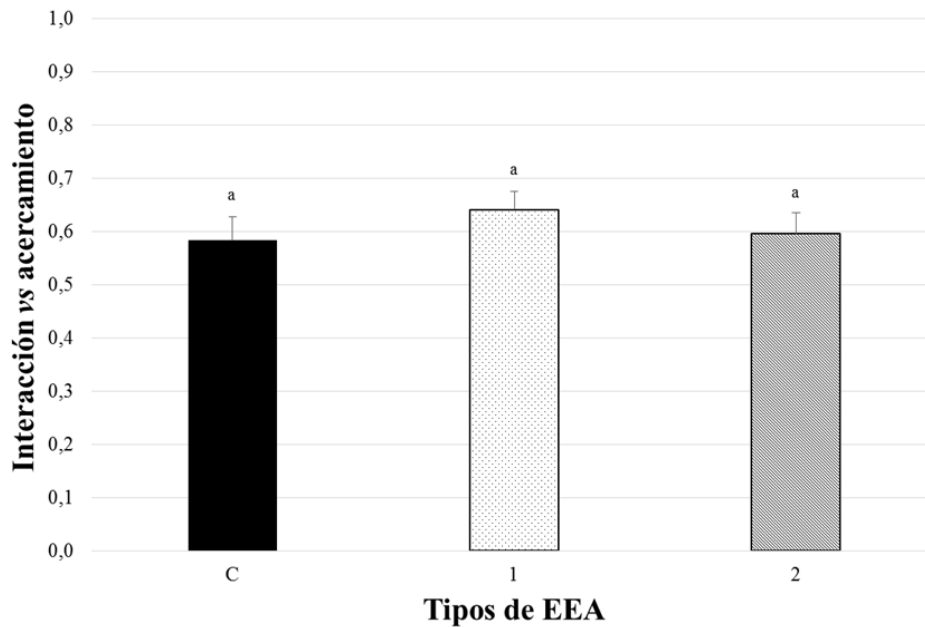


Figura 5. Cantidad de acercamientos realizados hacia los EEA (datos expresados como promedio \pm error estándar de la media), control (EEAC), con sacarosa (EEA1) y con edulcorante artificial (EEA2), evaluado a los diez (A) y dos (B) minutos. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Interacciones vs. Acercamientos

En la Figura 6 se presentan los resultados obtenidos al relacionar las interacciones vs. los acercamientos realizados durante el desarrollo de las pruebas de aceptabilidad en los cerdos expuestos a los tres tipos de EEA, durante diez (A) y dos minutos (B), respectivamente. Esta medición evalúa la cantidad de interacciones realizadas (consumo, lamidos, juego, entre otros) por cada acercamiento a los EEA, indicando una posible medida de interés hacia los EEA. En este análisis no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

A: interacción vs acercamiento en 10 minutos



B: interacción vs acercamiento en 2 minutos

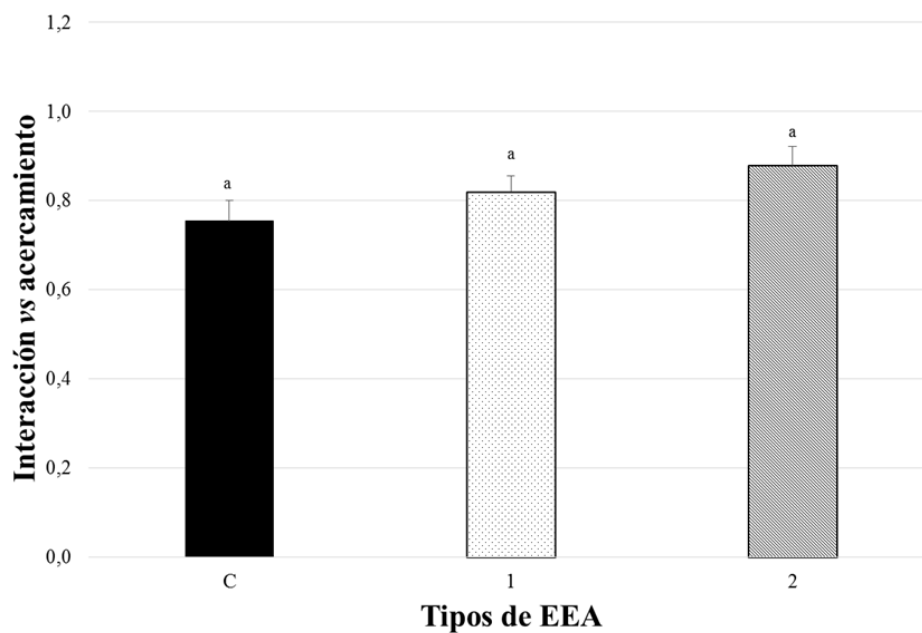


Figura 6. Relación entre interacción vs. Acercamiento, realizados hacia los EEA por los cerdos (datos expresados como promedio \pm error estándar de la media), control (EEAC), con sacarosa (EEA1) y con edulcorante artificial (EEA2), evaluado a los diez (A) y dos (B) minutos. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

DISCUSIÓN

La mayoría de los estudios relacionados con suplementación de Fe oral en cerdos, utilizan animales recién nacidos para el desarrollo de sus experimentos, siendo el grupo etario promedio, cerdos entre 1 a 21 días de edad, es decir animales lactantes que consumen casi exclusivamente leche materna (Zimmerman *et al.*, 1959; Svoboda y Dràbek, 2002; Antileo *et al.*, 2016). En el presente estudio por el contrario, se utilizaron cerdos en etapa de recría de 21 días de edad, esto debido a las características de los EEA, así como también a las características de consumo que presentan los cerdos durante este período, en donde el consumo de alimento sólido conocido como “*creep feed*” bordea los 13 g/día, a diferencia de los primeros días de lactancia donde el consumo de este tipo de alimento es de tan solo 2,2 g/día (Kuller *et al.*, 2010). Además, los EEA fueron ofrecidos a los cerdos en comederos especiales para ser consumidos voluntariamente; es por estas razones que las pruebas de aceptabilidad y preferencia fueron llevadas a cabo en cerdos durante esta etapa, ya que los animales durante este periodo consumen mayores cantidades de alimentos sólidos; a diferencia de la etapa de lactancia en que el consumo de agua y alimento es muy bajo (Delumeau y Meunier-Salaün, 1995; Forbes, 2010; Figueroa *et al.*, 2013). También es importante señalar que hace pocos años se ha descrito que los cerdos destetados de 21 días presentan diferentes estados de subnutrición de Fe, como depleción de los depósitos de Fe, deficiencia e incluso anemia, debido a que la suplementación parenteral no es suficiente para cubrir los requerimientos de Fe en los cerdos (Antileo *et al.*, 2016; Perri *et al.*, 2016).

En el presente estudio se evaluó la conducta alimentaria de lechones de 21 días de edad, frente a diversos EEA con Fe encapsulado y formulados con diferentes tipos de edulcorantes. Si bien la mayoría de los estudios de suplementación oral con Fe en cerdos, incorporan Fe en distintas presentaciones (Chwen *et al.*, 2001; Svoboda y Dràbek, 2002), a la fecha no existen estudios publicados en los cuales se hayan elaborado EEA para la suplementación oral de Fe en cerdos, así como tampoco el uso de la técnica de encapsulación de Fe para la formulación de EEA, siendo éstos elementos novedosos para la industria porcina. La técnica de encapsulación por gelificación iónica permitió encapsular exitosamente el Fe de las distintas fuentes en los EEA, obteniendo tres tipos de EEA de

forma y tamaño similar entre ellos, debido a que el molde usado fue el mismo. La coloración marrón común a todos los EEA se explica por la incorporación de eritrocitos bovinos atomizados a la mezcla base como fuente de Fe hemo, que cuando han sido usados en otros formatos de matrices para encapsular Fe, como perlas o micro-matrices, también han mostrado colores marrones (Valenzuela *et al.*, 2014; Churio *et al.*, 2018). El color marrón más oscuro adquirido por el EEA1 puede ser atribuido a un proceso de caramelización de la sacarosa al ser sometida a temperaturas más elevadas durante el proceso de secado de los EEA (Davis, 1995), así como también podría ser consecuencia de una posible reacción de pardeamiento no enzimático, como la reacción de Maillard, la cual se produce entre un azúcar reductora y un compuesto que posee un grupo amino libre, siendo dependiente de distintos factores como la temperatura y pH. Además esta reacción es responsable de la producción de compuestos que proporcionan diversas características organolépticas a los alimentos, como la coloración marrón (Martins *et al.*, 2001).

El contenido de humedad de los alimentos es uno de los factores más importantes a considerar para la conservación de éstos, ya que este es un factor clave para la proliferación de bacterias que pueden alterar las características del alimento y afectar su duración (Tapia *et al.*, 2008). El contenido de humedad en los EEA resultó ser bajo, lo cual proveería ventajas durante el almacenamiento al disminuir la probabilidad de proliferación de microorganismos que lo alteren. Por otra parte, el porcentaje de humedad más elevado del EEA1 podría ser consecuencia de la mayor capacidad higroscópica de la sacarosa (Davis, 1995; Sardar y Singhal, 2013), la cual fue utilizada como edulcorante en la preparación de este EEA. En cuanto al porcentaje de proteínas de los EEA, este se encuentra estrechamente relacionado al contenido de proteína presente en el suero de leche de alrededor del 12% (Pokniak *et al.*, 1980; NRC, 2012), debido a la inclusión de este ingrediente para la formulación de los EEA en proporción del 40% p/v de la mezcla base. Por otra parte el contenido de ENN presente en los EEA fue significativamente mayor en el EEA1 que en los otros dos EEA, diferencia atribuida a la adición de sacarosa (15% p/v) en la preparación de este EEA. Lo contrario sucede con el contenido de cenizas del EEA1, el cual fue menor para este EEA, atribuible a sustitución de nutrientes producto de una mayor inclusión de sacarosa, en comparación con el 0,03% p/v del edulcorante artificial adicionado al EEA2 y

la nula adición de edulcorante al EEAC. En cuanto al contenido de Fe, este fue similar para todos los EEA, ya que todos los EEA fueron formulados con la misma cantidad de Fe hemo y no hemo. En relación a este mineral, considerando el peso promedio de los EEA de 9,5 g, y un contenido de Fe de 2,5 mg/g, el aporte de Fe de estos bordearía los 24 mg por unidad, siendo consumidos por la pareja de cerdos, basados en los datos obtenidos en la prueba de aceptabilidad durante los diez minutos de exposición, entre 8 a 13 g de los EEA, lo que equivale a 20 y 32,5 mg de Fe, respectivamente. Considerando estas cifras, 1 unidad de EEA sería capaz de cubrir los requerimientos diarios de Fe de los cerdos durante la primera semana de destete (16 mg de Fe diarios) (NRC, 2012).

La sacarosa fue usada en la formulación de los EEA como edulcorante natural y el Sucram® como edulcorante artificial, utilizando para la fabricación del EEA1 un 15% p/v de sacarosa y para el EEA2 un 0,03% p/v de Sucram®. Es importante destacar que el poder edulcorante de ambos compuestos difiere drásticamente, siendo la sacarina sódica 300-500 veces más dulce que la sacarosa (Carlioni *et al.*, 2003). Si bien, esta diferencia fue considerada para la formulación de los EEA1 Y EEA2 (0,03 multiplicado por 500 es igual a 15), es necesario tener en cuenta los distintos elementos que componen el Sucram®, el cual además de incluir un 98% de sacarina sódica, también posee un 1% de neoesperidina dihidrocalcona y 1% de maltol, ingredientes que pueden potenciar el poder edulcorante de la sacarina sódica, modificando la relación previamente establecida. Por otra parte, el empleo de estos edulcorantes se basa en la evidencia científica de la alta aceptabilidad y preferencia que presentan los cerdos por el sabor dulce, en especial por azúcares como la sacarosa, que según diversos estudios tiene la mayor aceptabilidad al ser comparada con una gran variedad de edulcorantes naturales y artificiales (Glaser *et al.*, 2000; Harris *et al.*, 2004; Guzmán *et al.*, 2015). En este estudio, al analizar los resultados de las pruebas de aceptabilidad y preferencia, no se observó un mayor consumo de los EEA formulados con edulcorantes como se esperaba, incluso al observar los gráficos se evidencia una tendencia al menor consumo del EEA1, lo cual posiblemente puede ser atribuido a alteraciones físico-químicas de este EEA durante el proceso de secado, en donde adquirió una coloración más oscura por una posible reacción de pardeamiento no enzimático, la que además de generar cambios en la coloración, también produce sustancias amargas (Wong *et al.*, 2008). En

estudios realizados por Glaser *et al.* (2001), se reportó un rechazo en el consumo de compuestos con conocido sabor amargo en humanos, como el hidrocloreto de quinina y algunos L- aminoácidos, por parte de los cerdos debido a su sabor. Otros estudios describen reacciones de rechazo al ofrecer soluciones amargas a cerdos, como la retirada rápida de la cabeza desde el estímulo y la sacudida de ésta (Tinti *et al.*, 2000).

En este estudio los cerdos presentaron una aceptabilidad similar de los EEA, lo cual resulta positivo ya que el Fe es un metal poco palatable, que posee características organolépticas adversas, que resultan desagradables para los cerdos al ser suplementado oralmente (Quintero-Gutiérrez *et al.*, 2008; Valenzuela *et al.*, 2016a). Esta similitud en los consumos de los EEA puede ser explicada por las características de la mezcla base para la formulación de todos los EEA, la que además de Fe y otros ingredientes, incorpora suero de leche, el cual es reconocido por ser altamente palatable para los cerdos e incentivar el consumo de alimentos en etapas de transición (Pokniak *et al.*, 1980). Además de los beneficios propios de la encapsulación con alginato de sodio, que como ya se ha visto en otros estudios es capaz de enmascarar las características organolépticas desagradables de las fuentes de Fe comúnmente utilizadas, favoreciendo el consumo (Zimmermann, 2004).

Como ya fue mencionado, diversos estudios para la suplementación oral de Fe en cerdos, incorporan el Fe en forma de pastas o en el agua de bebida, lo que requiere de la manipulación de los cerdos para la administración de estos, ocasionando estrés en los cerdos (Chwen *et al.*, 2001; Svoboda y Dràbek, 2002; Valenzuela *et al.*, 2016a). Según un estudio realizado por Valenzuela *et al.* (2016a), la suplementación de Fe oral utilizando una pasta, requirió un mayor tiempo de manipulación de los animales y demora más en ser administrado al compararlo con la suplementación parenteral de Fe, lo cual ocasionó cambios conductuales negativos, como menor tiempo dedicado al descanso y mayor demora en retornar con el amamantamiento por parte de los cerdos. No obstante, en el presente estudio no fue necesario manipular a los cerdos para la suplementación con Fe, ya que la entrega de este mineral se realizó por medio de los EEA, los cuales fueron ofrecidos y consumidos de forma voluntaria por los cerdos con buena aceptación.

También ha sido descrito que los cerdos durante la etapa de destete y recría, manifiestan neofobia hacia nuevos alimentos, lo cual ha sido asociado a distintos cambios que deben enfrentar en un corto periodo de tiempo en su medio ambiente y alimentación, ocasionando disminución en el consumo de alimentos e incluso anorexia (Figueroa *et al.*, 2013). En este estudio los EEA presentaron una buena recepción por parte de los cerdos, obteniendo consumos similares durante todo el estudio, lo cual puede ser atribuido a las características organolépticas y físicas de los EEA, que disminuyen la aparición de neofobia alimentaria, ya que los EEA funcionaron como un elemento de enriquecimiento ambiental para los cerdos. En un estudio realizado por Oostindjer *et al.* (2011), se describió que al proveer de un ambiente enriquecido a los lechones se redujo la neofobia alimentaria. Por otra parte, Oliveira *et al.* (2016), observaron que la inclusión de elementos de enriquecimiento ambiental como juguetes, en conjunto con sustratos de viruta, han mejorado el rendimiento productivo de cerdos al compararlos con grupos sin enriquecimiento. En otros estudios también ha sido descrito que si bien el uso de juguetes puede proporcionar una forma de enriquecimiento para los cerdos, estos resultados no serían del todo consistentes (Van de Weerd *et al.*, 2003; Van de Weerd y Day, 2009).

En diversos estudios para la cuantificación del valor hedónico de distintas sustancias, se ha utilizado la cantidad de acercamientos realizados hacia estas y se ha relacionado con diferentes interacciones que producen estos acercamientos, ya sea consumo, expresiones faciales, entre otras. En ratas por ejemplo, para la evaluación de la palatabilidad se ha utilizado el “*cluster size*” que asocia la cantidad de lamidos que el animal realiza en un determinado número de acercamientos al alimento o solución ofrecida (Dwyer *et al.*, 2009). Estudios previos en cerdos siguiendo la metodología similar a la usada en ratas sugieren que al relacionar la cantidad de interacciones y número de acercamientos con el resultado de consumo en un determinado tiempo de observación, se puede desprender el valor hedónico de distintas soluciones, siendo aquellas soluciones con los acercamientos de mayor duración las más palatables (Frías *et al.*, 2016). En este estudio, si bien no fue posible realizar estas pruebas para evaluar la palatabilidad de los distintos tipos de EEA, debido a las dificultades para visualizar detalladamente las grabaciones de videos, por el pequeño tamaño de los EEA, sumado a la distancia a la cual se realizó la grabación, lo que

hizo imposible diferenciar entre acercamientos con resultados de consumo y sin consumo, si fue posible observar las interacciones y el número de acercamientos totales realizados por los cerdos hacia los EEA, logrando formular con estos datos una razón entre ellos, siendo los resultados obtenidos similares en todos los grupos evaluados, lo cual podría sugerir una medida del interés de los cerdos hacia los EEA, y por otra parte al igual que en los estudios realizados en roedores, el valor hedónico de los EEA, el cual en base a estos resultados sería similar para todos ellos. Sin embargo, para corroborar estos resultados es necesario recabar mayor información para poder realizar las mediciones antes mencionadas.

CONCLUSIONES

Fue posible obtener EEA, con fuentes inorgánicas y orgánicas de Fe encapsulado. Los EEA fueron de características similares y color marrón. Están compuestos principalmente por extracto no nitrogenado y proteína, y tienen una concentración de 2,2-2,7 mg de Fe/g. Por tanto, 1 unidad podría cubrir los requerimientos diarios de hierro en los cerdos destetados. Los EEA fueron consumidos por los cerdos de forma voluntaria, y el EEA1 presentó una tendencia a menor aceptabilidad y preferencia. Por tanto, EEAC y EEA2 podrían ser considerados una opción factible para la suplementación de Fe oral en cerdos de recría, ya que no requieren de manipulación de los animales para su entrega y los cerdos demostraron gran interés por los EEA durante el tiempo de exposición, interactuando con ellos.

Por otra parte, se concluye que el uso de edulcorantes no aumentó la aceptabilidad ni preferencia de los EEA con Fe encapsulado. Por tanto, el proceso de encapsulación podría ser suficiente para enmascarar el sabor desagradable del Fe.

Finalmente se sugiere llevar a cabo en un futuro nuevos estudios donde se obtenga material audio visual más detallado, para poder caracterizar cada tipo de interacción de los cerdos con los EEA, a fin de realizar mediciones para cuantificar el valor hedónico de los EEA, que no fueron posibles de realizar en este estudio. Además, se recomienda realizar estudios que evalúen la efectividad de estos EEA con Fe encapsulado, en la prevención de la anemia en cerdos de recría, midiendo parámetros hematológicos o analizando biomarcadores que den cuenta del estado de nutrición de Fe en los cerdos.

REFERENCIAS

- **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.* 94:157-160.
- **CARLONI FILHO, J.; SANTINI, A.O.; NASSER, A.L.M.; PEZZA, H.R.; DE OLIVEIRA, J.E.; MELIOS, C.B.; PEZZA, L.** 2003. Potentiometric determination of saccharin in commercial artificial sweeteners using a silver electrode. *Food Chem.* 83(2):297-301.
- **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 Hydrocolloids.* 74:1-10.
- **CHWEN, L.T.; HENG, L.K.; LEE, T.H.; KONG, M.C.; YOON, C.P.** 2001. The effects of iron supplementation in preweaning piglets. *Mal J Nutr.* 7(1-2):41-49.
- **DAVIS, E.A.** 1995. Functionality of sugars: physicochemical interactions in foods. *Am. J. Clin. Nutr.* 62(1):170-177.
- **DELUMEAU, O.; MEUNIER-SALAÜN, M.C.** 1995. Effect of early trough familiarity on the creep feeding behaviour in suckling piglets and after weaning. *Behav. Process.* 34(2):185-195.
- **DRAKE, M.A.** 2007. Invited review: Sensory analysis of dairy foods. *J. Dairy Sci.* 90(11):4925-4937.
- **DWYER, D.M.; PINCHAM, H.L.; THEIN, T.; HARRIS, J.A.** 2009. A learned flavor preference persists despite the extinction of conditioned hedonic reactions to the cue flavors. *Learn. Behav.* 37(4):305-310.
- **FIGUEROA, J.; SOLÀ-ORIOL, 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(1):120-127.
- **FORBES, J.M.** 2010. Palatability: principles, methodology and practice for farm animals. *CAB Persp. Agricul. Vet. Sci. Nutr. Nat. Res.* 5:1-16.

- **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.* 94:103-105.
- **GLASER, D.; WANNER M.; TINTI, J.M.; NOFRE, C.** 2000. Gustatory responses of pigs to various natural and artificial compounds known to be sweet in man. *Food Chem.* 68:375-385.
- **GLASER, D.; WANNER, M.; TINTI, J.M.; NOFRE, C.** 2001. Pig responses to taste stimuli. **In:** Marchlewska-Koj, A.; Lepri, J.J.; Muller-Schwarze, D. (Eds.). *Chemical Signals in Vertebrates 9.* Springer. Boston, MA. pp. 423-431.
- **GUZMÁN, S.; SOLÀ-ORIO, D.; FIGUEROA, J.; DWYER, D.; PÉREZ, J.** 2015. Effect of a long-term exposure to concentrated sucrose and maltodextrin solutions on the preference, appetite, feed intake and growth performance of post-weaned piglets. *Physiol. Behav.* 141:85-91.
- **HARRIS, J.A.; SHAND, F.L.; CARROLL, L.Q.; WESTBROOK, R.F.** 2004. Persistence of preference for a flavor presented in simultaneous compound with sucrose. *J. Exp. Psychol. Anim. Behav. Process.* 30:177-189.
- **KULLER, W.I.; TOBIAS, T.J.; VAN NES, A.** 2010. Creep feed intake in unweaned piglets is increased by exploration stimulating feeder. *Livest. Sci.* 129(1-3):228-231.
- **LIPINSKI, P.; STARZYNSKI, R.R.; CANONNE-HERGAUX, F.; TUDEK, B.; OLIŃSKI, R.; KOWALCZYK, P.; DZIAMAN, T.; THIBAudeau, O.; GRALAK, M.A.; SMUDA, E.; WOLINSKI, J.; USINSKA, A.; ZABIELSKI, R.** 2010. Benefits and risks of iron supplementation in anemic neonatal pigs. *Amer. J. Path.* 177(3):1233-1243.
- **MARTINS, S.I.; JONGEN, W.M.; VAN BOEKEL, M.A.** 2001. A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends Food Sci Technol.* 11(9-10):364-373.
- **NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC).** 2012. Nutrient requirements of swine. 11th rev. ed. National Academy of Science. Washington DC, USA. pp. 227-294.

- **NEDOVIC, V.; KALUSEVIC, A.; MANOJLOVIC, V.; LEVIC, S.; BUGARSKI, B.** 2011. An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia Food Sci.* 1:1806-1815.
- **OLIVEIRA, R.F.; SOARES, R.T.R.N.; MOLINO, J.P.; COSTA, R.L.; BONAPARTE, T.P.; SILVA JÚNIOR, E.T.; SANTOS, I.P.** 2016. Environmental enrichment improves the performance and behavior of piglets in the nursery phase. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 68(2):415-421.
- **OOSTINDJER, M.; MUÑOZ, J.M.; VAN DEN BRAND, H.; KEMP, B.; BOLHUIS, J.E.** 2011. Maternal presence and environmental enrichment affect food neophobia of piglets. *Biol. Letters.* 7(1):19-22.
- **PERRI, A.; FRIENDSHIP, R.; HARDING, J.; O’SULLIVAN, T.** 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.
- **POKNIAK, J.; CORNEJO, S.; BONACIC, M.** 1980. Suero fresco de quesería en raciones para cerdos en engorda. *Agric. Téc.* 40(04):147-151.
- **QUINTERO-GUTIÉRREZ, A.G.; GONZÁLEZ-ROSENDO, G.; SÁNCHEZ-MUÑOZ, J.; POLO-POZO, J.; RODRÍGUEZ-JEREZ, J.J.** 2008. Bioavailability of heme iron in biscuit filling using piglets as an animal model for humans. *Int J Biol Sci.* 4(1):58-62.
- **SARDAR, B.R.; SINGHAL, R.S.** 2013. Characterization of co-crystallized sucrose entrapped with cardamom oleoresin. *J. Food Eng.* 117(4):521-529.
- **SVOBODA, M.; DRÁBEK, J.** 2002. Effect of oral administration of Fe²⁺-fumarate on erythrocyte profile and growth rate of suckling piglets. *Acta Vet. Brno.* 71(2):217-222.
- **TAPIA, M.S.; ALZAMORA, S.M.; CHIRIFE, J.** 2008. 10 Effects of Water Activity (aw) on Microbial Stability: As a Hurdle in Food Preservation. **In:** Barbosa-CÃ, G.V; Fontana Jr, A.J; Schmidt, S.J; Labuza, T.P. (Eds.). *Water activity in foods: Fundamentals and Applications.* IFT Press y Blackwell Publishing. Texas, USA. pp. 239-271.

- **TINTI, J.M.; GLASER, D.; WANNER, M.; NOFRE, C.** 2000. Comparison of gustatory responses to amino acids in pigs and in humans. *LWT-Food Sci. Technol.* 33(8):578-583.
- **VALENZUELA, C.; HERNÁNDEZ, V.; MORALES, M.S.; NEIRA-CARRILLO, A.; PIZARRO, F.** 2014. Preparation and characterization of heme iron-alginate beads. *LWT- Food Sci. Tech.* 59(2):1283-1289.
- **VALENZUELA, C.; LAGOS, G.; FIGUEROA, J.; TADICH, T.** 2016a. Behavior of suckling pigs supplemented with an encapsulated iron oral formula. *J. Vet. Behav.* 13:6-9.
- **VALENZUELA, C.; HERNÁNDEZ, V.; MORALES, M.S.; PIZARRO, F.** 2016b. Heme iron release from alginate beads at in vitro simulated gastrointestinal conditions. *Biol. Trace Elem. Res.* 172(1):251-257.
- **VAN DE WEERD, H.A.; DOCKING, C.M.; DAY, J.E.; AVERY, P.J.; EDWARDS, S.A.** 2003. A systematic approach towards developing environmental enrichment for pigs. *Appl Anim Behav Sci.* 84(2):101-118.
- **VAN DE WEERD, H.A.; DAY, J.E.** 2009. A review of environmental enrichment for pigs housed in intensive housing systems. *Appl Anim Behav Sci.* 116(1):1-20.
- **WONG, K.H.; ABDUL AZIZ, S.; MOHAMED, S.** 2008. Sensory aroma from Maillard reaction of individual and combinations of amino acids with glucose in acidic conditions. *Int. J. Food Sci. Technol.* 43(9):1512-1519.
- **ZIMMERMAN, D.R.; SPEER, V.C.; HAYS, V.W.; CATRON, D.V.** 1959. Injectable iron-dextran and several oral iron treatments for the prevention of iron-deficiency anemia of baby pigs. *J. Anim. Sci.* 18(4):1409-1415.
- **ZIMMERMANN, M.** 2004. The potential of encapsulated iron compounds in food fortification: a review. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* 74(6):453-461.

ANEXO 1. Distribución de corrales del CICAP y cámaras filmadoras por corral. Cada canal (cámara) abarca a dos corrales (Ej. Canal 4 abarca a corral 7 y 8). Los corrales de color amarillo fueron seleccionados para alojar a las 12 parejas de cerdos durante el desarrollo del estudio. Los corrales 1, 5, 9 y 13 no se utilizaron para este estudio.

