



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

**Función digestiva y parámetros productivos en corderos suplementados
con tres concentraciones de inulina**

SILVERIO GIMER PÉREZ RAMÍREZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2017

La presente tesis titulada: **Función digestiva y parámetros productivos en corderos suplementados con tres concentraciones de inulina** realizada por el alumno: **Silverio Gimer Pérez Ramírez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

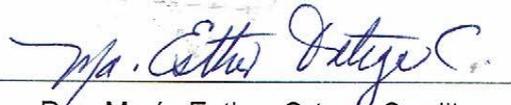
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



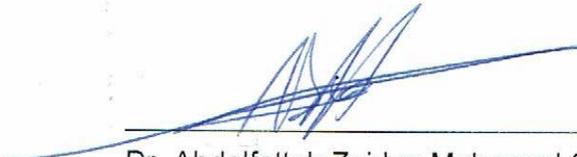
Dr. J. Efrén Ramírez Bribiesca

ASESORA:



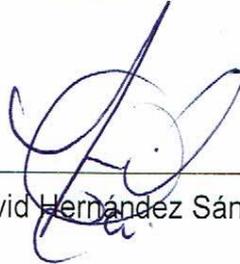
Dra. María Esther Ortega Cerrilla

ASESOR:



Dr. Abdelfattah Zeidan Mohamed Salem

ASESOR:



Dr. David Hernández Sánchez

Montecillo, Texcoco, estado de México, junio de 2017

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por darme la vida y el privilegio de seguir estudiando, al igual a la **virgen** de Juquila por concederme una vez más el milagro de terminar una nueva etapa en mi carrera profesional.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por el apoyo económico que me brindo para realizar mis estudios y la presente investigación.

Al **Colegio de Postgraduados**, por brindarme el lugar para hacer la maestría y facilitar el uso de instalaciones para la elaboración del experimento.

Al **Dr. J. Efrén Ramírez Bribiesca**, por su asesoramiento, sus consejos, su amistad, el apoyo incondicional, y disponibilidad de su tiempo para la culminación de este documento.

A la **Dra. María Esther Ortega Cerrilla**, por su disponibilidad de tiempo, su apoyo, consejos y revisión de la presente tesis.

Al **Dr. David Hernández Sánchez**, por sus sugerencias, su amistad y aportaciones en la redacción de esta tesis

Al **Dr. Abdelfattah Zeidan Mohamed Salem**, por sus consejos en el desarrollo del experimento y colaboración en la redacción de la presente tesis

A la **Dra. María Magdalena Crosby Galván**, por el apoyo brindado en el Laboratorio de Nutrición Animal para la realización del experimento.

Al **M.V.Z. José Luis Cordero Mora**, por el apoyo brindado en la fase de comportamiento.

A los **maestros** por compartir sus conocimientos durante la maestría cursada en esta institución.

A **Lupita** por todo el apoyo incondicional en las dos fases del experimento.

A los **compañeros** Miguel, y Víctor, por su apoyo incondicional durante la realización de la fase de comportamiento.

.

DEDICATORIA

A mi madre Rocío Ramírez Rincón quien siempre ha estado al pendiente de mí y me ha brindado un gran apoyo moral en todos los momentos más difíciles. Pero en especial por ser una maravillosa madre que por su cariño y amor me ha enseñado hacer un buen hijo, porque sin usted no lo hubiera logrado una vez más. "GRACIAS MAMÁ"

A mi padre Silverio Pérez Trujano quien siempre ha procurado y enseñado hacer un hombre de bien, por ello he aprendido muchas cosas.

A mi esposa Guadalupe Toriz Cerón por ser una persona cariñosa, tierna, pero sobre todo porque me has demostrado un amor verdadero sin condiciones y por ser parte de mi vida. "TE AMO"

A mis hermanos Silvia y Omar que siempre me han demostrado su apoyo incondicional en el trayecto de la vida y por estar siempre unidos

ÍNDICE

	Pagina
AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA	IV
ÍNDICE	V
RESUMEN GENERAL.....	IX
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
2.1. Clasificación y estructura de la inulina	13
2.2. Características físicas y químicas de la inulina	16
2.3. El efecto prebiótico de la inulina.....	18
2.4. Uso de la inulina en humanos	18
2.5. Inulina en animales no rumiantes.....	19
2.6. El uso de inulina en rumiantes	21
3. OBJETIVOS	23
3.1. Objetivo general	23
3.2. Objetivos particulares.....	23
4. HIPÓTESIS.....	24
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
5.1. Lugar de estudio	25
Fase 1. Prueba de función digestiva	25
5.2. Animales	25
5.3. Tratamientos experimentales	25
5.4. Recolección de muestras	27
5.4.1. Tiempos de muestreo de líquido duodenal y heces.....	27
5.4.2. Recolección de líquido duodenal.....	27
5.4.3. Recolección de heces.....	28

5.5.	Medición del pH	28
5.6.	Análisis químico de las muestras	28
5.6.1.	Determinación de almidón	28
5.6.2.	Determinación de purinas	29
5.6.3.	Determinación de cromo.....	29
5.6.4.	Determinación de FDN	30
5.6.5.	Determinación de nitrógeno amoniacal	30
5.7.	Cálculos	31
Fase 2.	Prueba de comportamiento.....	32
5.8.	Espesor de grasa dorsal	32
6.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	33
6.1.	Fase 1. Prueba de función digestiva	33
6.2.	Fase 2. Prueba de comportamiento	34
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
Fase 1	Prueba de función digestiva	35
7.1.	pH ruminal.....	37
Fase 2.	Prueba de Comportamiento productivo.....	39
7.2.	Ganancia diaria de peso (GDP)	39
7.3.	Consumo de materia seca (CMS)	40
7.4.	Conversión alimenticia (CA).....	41
7.5.	Grasa dorsal.....	42
8.	CONCLUSIONES.....	43
9.	LITERATURA CITADA	44

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Diferentes fuentes que contienen inulina	13
Cuadro 2. Características fisicoquímicas de la inulina, inulina de alta pureza (HP) y oligofruktosa	17
Cuadro 3. Composición química e ingredientes de las dietas experimentales.	26
Cuadro 4. Horario de muestreo (horas postprandial)	27
Cuadro 5. Medias generales del efecto de la inulina en la digestión de corderos por tratamiento.....	35
Cuadro 6. pH ruminal en borregos alimentados con diferentes niveles de inulina	38
Cuadro 7. Ganancia diaria de peso de corderas suplementadas con tres niveles de inulina	40
Cuadro 8. Consumo de alimento de corderas suplementadas con tres niveles de inulina	41
Cuadro 9. Conversión alimenticia de corderas suplementadas con tres niveles de inulina	41
Cuadro 10. Grasa dorsal (mm) de corderas suplementadas con tres niveles de inulina	42

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Estructura química de la inulina.	14
Figura 2. Proceso industrial para la obtención de inulina a partir de achicoria.	16

RESUMEN GENERAL

FUNCIÓN DIGESTIVA Y RESPUESTA A LA ENGORDA INTENSIVA EN CORDERAS SUPLEMENTADOS CON TRES CONCENTRACIONES DE INULINA

Silverio Gimer Pérez Ramírez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2017

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto digestivo y la respuesta productiva al incluir diferente nivel de inulina en la dieta de corderos. El estudio se dividió en dos etapas. La primera consistió en la evaluación de las funciones digestivas y la segunda en la evaluación del comportamiento productivo. El diseño experimental para la fase 1 fue un Cuadro Latino 4x4 y para la fase 2 un diseño factorial 4x4. Los tratamientos fueron: T1) dieta testigo, T2) dieta con 3% de inulina, T3) dieta con 6% de inulina, T4) dieta con 9% de inulina. Los mismos tratamientos fueron evaluados en ambas pruebas. En la primera etapa, se utilizaron 4 ovinos machos de la raza Rambouillet con un peso promedio de 68.4 kg \pm 4.5 kg. Las variables digestivas en rumen, variables intestinales y digestibilidad aparente total no mostraron diferencias significativas con la inclusión de inulina ($P>0.05$). En la segunda etapa, se utilizaron 48 borregas hembras de la raza Dorset x Katadin x Hampshire, distribuidas homogéneamente en 4 grupos de 3 animales por corral, con 4 repeticiones cada uno, con peso inicial promedio de 23.6 \pm 0.5 kg y 5 meses de edad, alimentados con las dietas por 42 días con la inclusión de inulina y la evaluación de las variables. En esta etapa se evaluó el consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia y la medición de grasa dorsal. Solamente se presentó diferencia significativa en la última variable, disminuyendo la grasa subcutánea ($P<0.5$). Se concluye que la inulina administrada hasta el 9% en la dieta no influyó en los parámetros digestivos y productivos de los corderos.

Palabras claves: corderas, digestibilidad, inulina, GDP, CMS, CA, grasa dorsal.

ABSTRACT

DIGESTIVE FUNCTION AND RESPONSE TO INTENSIVE FITNESS IN LAMBS SUPPLEMENTED WITH THREE INULIN CONCENTRATIONS

Silverio Gimer Pérez Ramírez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2017

The objective of this study was to evaluate the digestive function and productive response by including different levels of inulin in the diet of lambs. The study was divided into two phase. The first one consisted in the evaluation of digestive functions and the second in the evaluation of productive parameters. The experimental design for phase 1 was a Latin Square 4 x 4 and for phase 2 a 4 x 4 factorial design. The treatments were: T1) control diet, T2) diet with 3% inulin, T3) diet with 6% inulin, T4) diet with 9% inulin. All treatments were evaluated in both experiments. In the first experiment, 4 male – lamb Rambouillet were used, with an average weight of 68.4 kg \pm 4.5 kg. The digestive variables in rumen, intestinal variables and total digestion did not show significant differences with the inclusion of inulin ($P > 0.05$). In the second experiment, 48 female lambs Dorset x Katadin x Hampshire were distributed homogenously in 4 groups of 3 animals per pen, with 4 replicates each one, (initial mean weight of 23.6 \pm 0.5 kg and 5 months of age), Feed intake, weight gain, feed conversion and dorsal fat measurement were evaluated. Only a significant difference was observed in the dorsal fat, decreasing the subcutaneous fat ($P < 0.5$). It was concluded that inulin administered to 9% of the diet did not influence the digestive and productive parameters of the lambs.

Key words: lambs, digestibility, inulin, GDP, feed consumption, feed conversion, dorsal fat.

1. INTRODUCCIÓN En años recientes los especialistas en nutrición de rumiantes se han interesado en la manipulación de los microorganismos del rumen para mejorar la producción animal. Las investigaciones relacionadas con bacterias ruminales han aumentado de manera importante, debido a la mayor actividad que tienen en la degradación de carbohidratos fibrosos; específicamente, las bacterias necesitan de una fuente de alimentación para trabajar en simbiosis con el huésped. Algunos países han prohibido el uso de antimicrobianos y por eso se han buscado otras alternativas para sustituirlos, como los prebióticos (Buclaw, 2016); esto ha impulsado la búsqueda de nuevas sustancias o promotores que mejoren la eficiencia de los animales y que los productos como carne y leche sean inocuos (Grela *et al.*, 2013).

Una alternativa para mejorar el rendimiento, la producción y la salud animal es el uso de prebióticos. Los prebióticos son un grupo de biomoléculas agrupadas en virtud de su capacidad para promover el crecimiento y multiplicación de la microflora intestinal específicamente benéfica (Samanta *et al.*, 2013a), un prebiótico debe tener ciertas cualidades no debe de ser hidrolizado, debe ser fermentado por bacterias, deben ser de origen vegetal o producido por enzimas microbianas (Shoib *et al.* 2016) los prebióticos pueden ser oligosacáridos, fructo-oligosacáridos o fructanos, como la inulina, que está directamente relacionada con la estabilidad de la microflora intestinal mediante la estimulación del crecimiento poblacional de bacterias benéficas y la disminución de bacterias patógenas (Abdelqader *et al.*, 2013). Algunos estudios realizados en cerdos han demostrado que los fructanos tipo inulina resisten la digestión por las enzimas endógenas, debido a la presencia de los enlaces β -(2 \rightarrow 1) fructosil-fructosa, fermentados por los microorganismos del colon (Pellikaan *et al.*, 2007; Barszcz *et al.*, 2013; Paßlack *et al.*, 2012; Brambillasca *et al.*, 2015; Samolińska y Grela, 2016). Además la inclusión de inulina en la dieta favorece el incremento de los ácidos grasos volátiles (AGV) (Lorenzo *et al.*, 2010) y de ácido láctico.

La diferencia que existe en el grado de polimerización comúnmente llamado “longitud de la cadena” en el tipo de inulina, es un factor importante para su degradación (Paßlack *et al.*, 2012). En aves la inclusión de inulina mejora la

microflora en los ciegos, la disponibilidad y absorción de los minerales (Abdelqader *et al.*, 2013), la reducción de los lípidos y la actividad del sistema inmune (Bucław, 2016). Según Öztürk (2008) en un estudio de fermentación ruminal *in vitro*, el uso de inulina de tupinambo (*Helianthus tuberosus L.*) en la dieta reduce la cantidad de NH₃-N hasta un 7% comparada con la dieta testigo, en otro estudio Öztürk (2009) cita que la inclusión de inulina de *achicoria* en la dieta se relacionó con mayor producción de ácidos grasos de cadena corta y ácido láctico, por lo tanto existió una diferencia significativa en el pH. Sin embargo, existen numerosos trabajos realizados con animales no rumiantes y pocos estudios han investigado el efecto de la inulina en los rumiantes sobre las variables digestivas y pruebas de comportamiento. El objetivo del estudio se enfocó en evaluar las digestibilidades ruminal e intestinal de dietas sin y con inulina sobre la digestión de nutrientes como la materia orgánica, almidón, fibra y nitrógeno; y una prueba de comportamiento productivo en ovinos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA Clasificación y estructura de la inulina

Después del almidón, los fructanos son los polisacáridos no estructurales más abundantes en la naturaleza a los que se les asocia a una serie de funciones en beneficio de la salud, como prebiótico (Ulloa *et al.*, 2010). Los miembros más cortos de esta clasificación estructural se llaman oligofructosa o fructooligosacáridos los cuales se componen de 2-9 unidades, mientras que los fructanos con 10 o más unidades monoméricas se clasifican como inulina (Roberfroid *et al.*, 1998), los fructanos a nivel industrial que han sido ampliamente estudiados son la inulina, la oligofructosa y los fructooligosacáridos. Estos se caracterizan por sus enlaces de tipo β -(2→1), principalmente presentan una estructura polimérica lineal, ya que los fructanos pueden presentar estructuras lineales, ramificados o cíclicos. Las diferencias están ligadas al grado de polimerización, siendo la inulina con el mayor rango y promedio (Madrigal y Sangronis 2007).

Cuadro 1. Diferentes fuentes que contienen inulina

Fuente de inulina	Parte de la planta	Contenido de inulina (g/100g base seca)
Yacón (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	Raíz	35
Hoja dulce (<i>Stevia rebaudiana</i>)		18-23
Ajo (<i>Allium sativum</i>)	Bulbo	14-23
Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)	Grano	18-20
Achicoria (<i>Cichorium intybus</i>)	Raíz	11-20
Alcachofa de Jerusalén (<i>Helianthus tuberosus</i>)	Tubérculo	12-19
Esparrago (<i>Asparagus sp.</i>)	Raíz	15
Agave (<i>Agave sp.</i>)	Vástago	12-15
Diente de león (<i>Taraxacum officinale</i>)	Raíz	12-15
Dalia (<i>Dahlia pinnata cav.</i>)	Tubérculo	10-12
Cebollas (<i>Allium cepa</i>)	Bulbo	5-9
Bardana (<i>Arctium sp.</i>)	Raíz	8.3-9.9

Shoaib *et al.*, 2016

La inulina es un carbohidrato de almacenamiento presente en más de 36,000 especies de plantas (Roberfroid *et al.*, 1998; Castor, 2011), las fuentes más importantes de inulina son: dalia (*Dahlia spp.*), alcachofa de Jerusalén (*Helianthus tuberosus*), achicoria (*Cichorium intybus*) y agave tequilero (*Agave spp.*) La inulina de achicoria es la fuente más importante a nivel industrial (Madrigal y Sangronis 2007; Ulloa *et al.*, 2010; Vega *et al.*, 2011), ésta se obtiene principalmente de la raíz de achicoria, las cuales contienen de 150 a 200 mg/g de inulina y de 80 a 120 mg/g de oligofruktosa (Roberfroid, 1999; Flickinger *et al.*, 2003). Las moléculas lineales de fructosa están unidas por enlaces β -(2 \rightarrow 1) fructosil-fructosa, siendo el término “fructanos” usado para denominar este tipo de compuestos. La inulina pueden presentar dos formas estructurales, la inulina con molécula de glucosa terminal que es conocida como α -D-glucopiranosil y la inulina con molécula de fructosa terminal es β -D-fructopiranosil (Castor, 2011; Apolinário *et al.*, 2014).

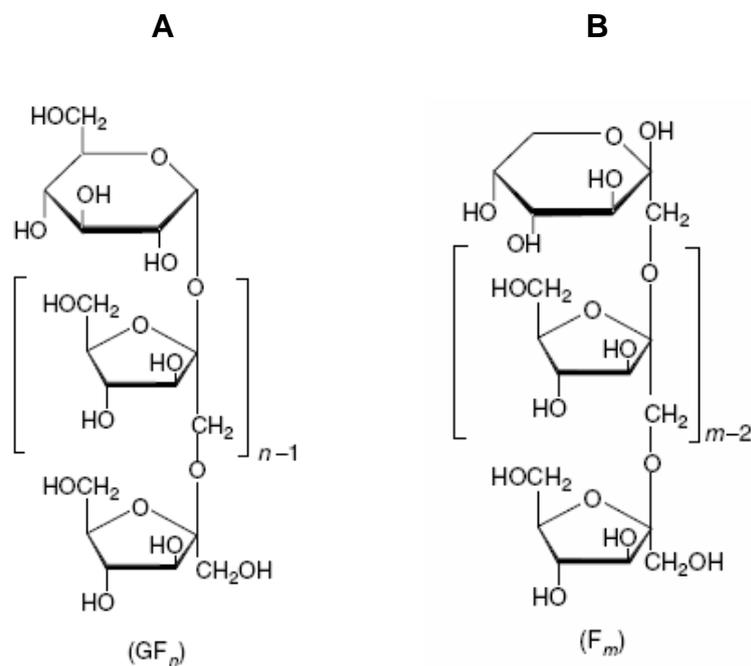


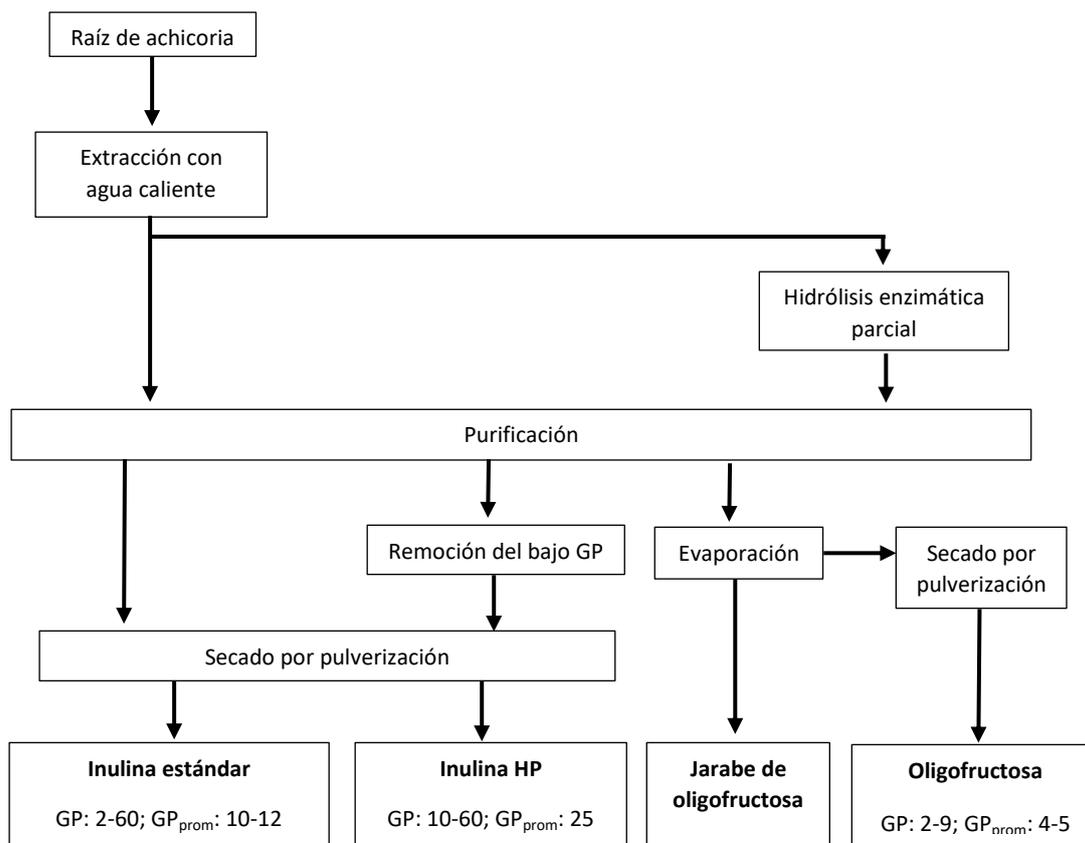
Figura 1. Estructura química de la inulina.

(A) Molécula terminal de glucosa α -Dglucopiranosil. (B) Molécula terminal de fructosa β -D-fructopiranosil (Madrigal y Sangronis 2007; Castor, 2011; Apolinário *et al.*, 2014).

El grado de polimerización es variable puede contener de 2 a 60 unidades, definiendo las características fisicoquímicas (Madrigal y Sangronis 2007; Mensink *et al.*, 2015), éste término se refiere al número de unidades de repetición (fructosa) presentes en la inulina u oligofructosa (Samanta *et al.* 2013b; Mitmesser y Combs 2017). Así el grado de polimerización (largo de cadena), se clasifica como un oligosacárido o polisacárido, antes de su elaboración el grado de polimerización de la inulina depende de la fuente de la planta, etapas de crecimiento, tiempo de cosecha y condiciones tanto de almacenamiento como climáticas (Samanta *et al.*, 2013; Mensink *et al.*, 2015).

El proceso industrial para la obtención de inulina se presenta en la Figura 2. Implica la extracción de la inulina natural de las raíces de achicoria, de una manera muy similar a la extracción de sacarosa de la remolacha azucarera (difusión en agua caliente), seguida de la refinación evaporación y secado por pulverización. La oligofructosa se produce utilizando dos técnicas de fabricación que proporcionan productos finales ligeramente diferentes. La oligofructosa de la achicoria se obtiene por hidrólisis enzimática parcial de inulina (usando una endo-inulinasa), eventualmente seguida de secado por pulverización (Franck, 2002).

Figura 2. Proceso industrial para la obtención de inulina a partir de achicoria.



GP= grado de polimerización

HP= (High Polymerization) alto grado de polimerización

Franck, 2002

2.2. Características físicas y químicas de la inulina

Las propiedades funcionales físico-químicas de la inulina están vinculados al grado de polimerización, así como la presencia de ramificación (Apolinário *et al.*, 2014). Los fructanos por sus enlaces químicos no pueden ser hidrolizados por las enzimas digestivas de los no rumiantes, pero éstos si pueden ser hidrolizados y fermentados en el tracto gastrointestinal por las bacterias del colón (Castor, 2011). A nivel industrial, la inulina se presenta como un polvo blanco, sin olor, con sabor neutral y tiene un aporte calórico reducido (máximo de 1,5 kcal/g) (Roberfroid, 1999; Flamm *et al.*, 2001). Específicamente la inulina nativa, a diferencia de la inulina HP (alta pureza), contiene azúcares libres (glucosa, fructosa, sacarosa), lo que le da sabor (10% del dulzor de la sacarosa). La inulina HP presenta menor solubilidad que la

inulina nativa, debido a la casi total ausencia de azúcares libres (0,5 % de materia seca) (Madrigal y Sangronis 2007). La inulina de achicoria con grado de polimerización <10 se solubiliza en más de 80% de agua, rápidamente se fermenta e interactúa significativamente de una manera selectiva con la flora intestinal. La de mayor grado de polimerización >10 se fermenta lentamente (Loo, 2007). Varios estudios han indicado que la longitud de la cadena del polímero o grado de polimerización (DP), es una característica importante a considerar, ya que determina dónde se produce a lo largo de la fermentación del tracto gastrointestinal (Vogt *et al.*, 2015).

Cuadro 2. Características fisicoquímicas de la inulina, inulina de alta pureza (HP) y oligofruktosa

Características	Inulina	Inulina HP	Oligofruktosa
Estructura química ^(*)	GF _n (2=n=60)	GF _n (10=n=60)	GF _n + F _n (2=n=7)
GP _{prom}	12	25	7
Materia seca (g/100g)	95	95	95
Pureza (g/100g)	92	99.5	95
Azúcares (g/100g)	8	0.5	5
pH	5-7	5-7	5-7
Cenizas (g/100g)	<0.2	<0.2	<0.2
Metales pesados (g/100g secos)	<0.2	<0.2	<0.2
Apariencia	Polvo blanco	Polvo blanco	Polvo blanco o jarabe viscoso
Sabor	Neutro	Neutro	Moderadamente dulce
Dulzor %(vs. Sacarosa=100%)	10	Ninguno	35
Solubilidad en agua a 25°C (g/L)	120	25	>750
Viscosidad en agua (5%p/p sol. Acuosa) a 10°C (mPa.s)	1.6	2.4	<1.0
Funcionalidad en alimentos	Sustituto de grasas	Sustituto de grasas	Sustituto de azúcar
Sinergismo	Con agentes gelificantes	Con agentes gelificantes	Con endulcorantes intensos

^(*)G: moléculas de glucosa, F: moléculas de fructosa. GP: grado de polimerización (Franck, 2002; Madrigal y Sangronis 2007)

2.3. El efecto prebiótico de la inulina

La clasificación de un alimento como prebiótico requiere ciertas características: Resistencia a la acidez gástrica, la hidrólisis por enzimas de mamíferos, la absorción gastrointestinal, la fermentación por la microflora intestinal, la estimulación selectiva del crecimiento y / o actividad de las bacterias intestinales asociados a la salud y el bienestar (Roberfroid, 2007; Samanta *et al.*, 2013). Se entiende como prebiótico a los alimentos no digeribles que benefician la salud del huésped por estimulación selectiva del crecimiento o actividad de un número limitado de bacterias, dentro de las bacterias que son promovidas por la presencia de la inulina se encuentran las bifidobacterias y lactobacilos, las cuales realizan la fermentación (Shoaib *et al.*, 2016), durante el proceso de fermentación se forman ácidos grasos de cadena corta, ácido láctico y gases, como productos de su metabolismo anaeróbico (Flamm *et al.*, 2001). La inulina es uno de los prebióticos más utilizados y más eficaces (Castor, 2011; Dankowiakowska *et al.*, 2013), ocupa la primera posición en la lista de prebióticos debido a su amplia disponibilidad y sus diferentes formas de biomoléculas como inulina, oligofruktosa y fructooligosacáridos (Samanta *et al.* 2013a). Varios estudios realizados *in vitro* e *in vivo* han demostrado que la dieta suplementada con inulina estimula el crecimiento de las bacterias benéficas (bifidobacterias y lactobacilos) e inhibe el crecimiento de las bacterias patógenas (*Clostridium*, *Bacteroides*, *Enterococcus*, Enterobacterias, etc.) (Barry *et al.*, 2009). Este efecto de la inulina sobre los microorganismos benéficos se conoce como efecto bifidogénico (Roberfroid *et al.*, 1998; Castor, 2011).

2.4. Uso de la inulina en humanos

El uso de la inulina o sus derivados aporta beneficios a la salud, su principal función es como fibra dietética, se considera como un ingrediente clave para mejorar la salud humana que tiene efectos fisiológicos atribuibles en los niveles lipídicos, glucosa en sangre y en la flora intestinal. Entre otros beneficios a la salud son la disminución de riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, diabetes, cáncer de colon y enfermedades relacionadas al tracto gastrointestinal, así como un aumento en la absorción de calcio y una mejor

actividad inmunológica (Flamm *et al.*, 2001). Un estudio realizado *in vivo* muestra que solo 4 g de inulina fue eficiente para incrementar el número de bacterias beneficiosas en el colon. Otros estudios demuestran que la inulina interfiere en el metabolismo de lípidos, particularmente a través de la disminución de altas concentraciones de triglicéridos y colesterol (Ulloa *et al.*, 2010; Shoib *et al.*, 2016). Con respecto a la disponibilidad de los minerales, investigaciones con ratas y humanos indican un incremento de la absorción de calcio y otros minerales; por ejemplo Abrams *et al.* (2005) realizaron un estudio con adolescentes y se demostró que el consumo de 8 g/d de inulina aumentó la absorción de calcio a las 8 semanas (diferencia de $8.5 \pm 1.6\%$, $p < 0.001$) y la mineralización de los huesos durante el crecimiento puberal. También la inulina tiene propiedades nutricionales y funcionales, la hacen un ingrediente ampliamente utilizado en alimentos funcionales con propiedades promotoras de la salud (Nair *et al.*, 2010).

2.5. Inulina en animales no rumiantes

La inulina también se está utilizando en la alimentación de animales no rumiantes principalmente como prebiótico. Estudios realizados por Paßlack *et al.*, (2012) investigaron si el grado de polimerización afectaba su composición y actividad metabólica de las bacterias del tracto gastrointestinal de lechones, los resultados evidencian que la degradación microbiana intestinal de inulina depende del grado de polimerización, cabe mencionar que las inulinas para este experimento se obtuvieron de diferente fuente, aunque la aplicación haya sido a corto plazo. La inulina en la dieta tuvo un impacto sobre la composición bacteriana del intestino grueso de los lechones, pero claramente afectó la actividad metabólica microbiana. Por lo tanto, se puede suponer que un grado de polimerización mayor aumenta los efectos prebióticos de inulina en el intestino delgado distal, pero especialmente en el cecal y los compartimentos del colon.

Abdelqader *et al.* (2013) mencionaron que el rendimiento y la calidad de la cáscara de huevo en gallinas de postura se mejoraron al complementar la dieta con inulina. El beneficio se atribuye a la calidad del cascarón por la mejora en la absorción de minerales, específicamente de calcio. El mecanismo por el cual

la absorción de calcio y la biodisponibilidad aumentan no se conoce, pero en estudios realizados con animales no rumiantes, la inulina es fermentada por las bacterias del colon, lo que posiblemente facilite la solubilidad de Ca en el agua, convirtiéndose en la forma iónica y se solubilice con ácido carboxílico de cadena corta, mejorando la absorción de minerales, en particular Ca^{2+} . Por otro lado, Barszcz *et al.* (2013) evaluaron la actividad microbiana en lechones con diferentes fuentes de inulina, el efecto de la suplementación de inulina en la dieta se evaluó en la actividad microbiana del intestino grueso de los lechones, entre los resultados no se afectó el pH, pero se modificó la concentración de ácidos grasos de cadena corta principalmente, acético, propiónico y butírico. El ácido valérico incrementó en lechones alimentados con inulina de alcachofa de Jerusalén a diferencia de la inulina de achicoria de diferente grado de polimerización. Además la cantidad de ácido acético fue menor en lechones alimentados con inulina de achicoria de ≥ 10 grado de polimerización que con inulina de ≥ 23 grado de polimerización. Esto puede indicar que la inulina de mayor grado de polimerización modifica la actividad microbiana.

Grela *et al.* (2013) determinaron el efecto de suplementar dietas con inulina e inulina con extracto de ajo en cerdos, sobre el rendimiento, características de la canal, el perfil metabólico de la sangre y la composición de ácidos grasos del músculo *Longissimus*, los cerdos cuyas dietas fueron suplementadas con inulina e inulina con extracto de ajo mejoraron las ganancias diarias de peso, en comparación con el control. El extracto de inulina con extracto de ajo redujo el nivel de colesterol en sangre y músculo *Longissimus*. Por otro lado, Brambillasca *et al.* (2015) evaluaron el efecto de la inclusión de inulina, la alfalfa fresca y pulpa de cítricos frescos en las dietas para lechones, dentro de los grupos suplementados con inulina presentaron la fermentación más rápida, el grupo que recibió alfalfa necesitaban más tiempo para llegar a la producción de gas máximo, que la del grupo suplementado con cítricos. La desaparición de la materia orgánica fue similar entre los tratamientos, no se detectaron diferencias en los recuentos de bacterias del colon, entre todos los grupos incluidos que recibieron la alfalfa y la pulpa de cítricos tuvieron un pH de colon menor que el grupo suplementado con inulina.

Buclaw (2016) cita en aves de corral alimentadas con inulina, un crecimiento de la microflora intestinal, favoreciendo una rápida proliferación de cepas benéficas, principalmente bifidobacterias y lactobacilos e inhibiendo el crecimiento de microbios patógenos. Existen indicios de que los cambios provocados por la inulina en la microflora intestinal de las aves de corral pueden alterar la histología y morfología de la mucosa intestinal, mejorando la absorción. Los efectos de la inulina sobre el organismo y el rendimiento de las aves de corral dependen en gran medida del tipo, la dosis utilizada y la duración de su administración. También se ha demostrado que la inulina puede afectar el sistema inmunológico y el metabolismo sistémico de minerales y lípidos (Buclaw, 2016). En relación con expresión de genes, Kareem *et al.* (2016) demostraron el efecto de la dieta prebiótica con 1% de inulina en la expresión del ARNm IGF1 y ARNm GHR en el hígado en aves y mejorando la ganancia de peso y eficiencia alimenticia.

2.6. El uso de inulina en rumiantes

Öztürk (2008) evaluó la fermentación *in vitro* con inulina de alcachofa de Jerusalén (*Helianthus tuberosus*) hasta 1 g/día en una dieta de heno:concentrado (60%: 40%), y no hubo efecto en los parámetros de fermentación excepto las concentraciones de NH₃-N disminuyeron significativamente en dosis después de 0.4 y 0.6 g/día, en un 6 y 7%, respectivamente en comparación con el grupo testigo. La baja concentración de amoníaco fue indicador de que la inulina se digirió por la microflora ruminal, este efecto fue de gran valor para aumentar el crecimiento microbiano y evitar la acumulación de amoníaco en el rumen. Sin embargo, esta evaluación sostiene que la inulina puede ser digerida y metabolizada en el rumen. Otro estudio de Öztürk (2009) demostró que la adición de inulina de achicoria (*Cichorium intybus*) en un experimento *in vitro*, estimuló la fermentación ruminal lo cual surgió una mayor producción de amoníaco en la proteína microbiana debido a que los microorganismos del rumen digirieron la inulina suministrada como sustrato adicional para su metabolismo, las otras variables como el pH y la tasa de producción de AGV se incrementó con respecto al grupo testigo. Similarmente, Clavo *et al.* (2015) observaron que la inclusión de inulina y un complejo enzimático (amilasa, celulasa y xilanasas) en la dieta de terneras

lactantes favoreció la colonización de microorganismos a nivel del colon, limitando la población de las bacterias patógenas, de ésta manera se previnieron las diarreas y el crecimiento de las terneras fue mejor, debido a la eficiencia en la digestión de la proteína y calcio del alimento. Philippeau *et al.* (2010) indicaron que el uso de fructo-oligosacaridos a una concentración de 250 mg en la dieta de las terneras aumentó la concentración de los AGV con respecto a la dieta testigo, también disminuyó el pH a las 3, 6 y 9 h y mejoró el crecimiento de lactobacilos y estreptococos. Sin embargo, el suplemento de fructo-olifgosacaridos de 3 a 6 g/d en terneros, no afectó la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia (Grand *et al.*, 2013).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar tres niveles de inulina (3, 6 y 9%) en la dieta de borregos y su efecto en la digestión, fermentación ruminal, respuesta productiva y el espesor de grasa dorsal.

3.2. Objetivos particulares

- Evaluar la digestibilidad de la inulina en el tracto gastrointestinal de borregos.
- Evaluar el comportamiento productivo, consumo de alimento, ganancia diaria de peso y conversión alimenticia de borregos suplementados con tres niveles de inulina.
- Determinar el espesor de la grasa dorsal de borregos suplementados con tres niveles de inulina.

4. HIPÓTESIS

La inclusión de inulina en la dieta de borregos mejora los parámetros de digestión, el comportamiento productivo y disminuye la grasa dorsal.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Lugar de estudio

La investigación se realizó en dos fases. La primera fue una prueba de fisiología digestiva y la segunda, una prueba de comportamiento. Ambas fases se realizaron en la granja experimental del Colegio de Postgraduados. Los análisis de las muestras se determinaron en el laboratorio de Nutrición Animal del Posgrado de Ganadería del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, ubicados en el km. 36.5 carretera México-Texcoco, Estado de México.

Fase 1. Prueba de función digestiva

5.2. Animales

Se utilizaron cuatro ovinos machos de la raza Rambouillet con un peso inicial promedio de 68.4 kg \pm 4.5 kg, fistulados en rumen y duodeno, los cuales se alojaron en jaulas individuales, provistas con cama de viruta, bebederos y comederos. Los animales se desparasitaron antes de iniciar el experimento con ivermectina (Ivomec® 0.5 mL/25 kg PV) vía subcutánea, y se aplicó (Vigantol® 4 mL). En prueba de fisiología digestiva se utilizó un diseño en Cuadro Latino 4x4. Cada periodo fue de 10 d de adaptación a las dietas y 4 d de muestreo.

5.3. Tratamientos experimentales

La dieta fue formulada de acuerdo a los requerimientos nutricionales para ovinos recomendados por el NRC (2007), y fue ofrecida con consumo restringido de 460 g⁻¹ dos veces al día (6:00 y 18:00 h). Se evaluaron cuatro tratamientos: (T1) dieta testigo, (T2) T1 + 3% de inulina, (T3) T1 + 6% de inulina, (T4) T1 + 9% de inulina (Cuadro 1). La elaboración de la dieta se realizó en una mezcladora horizontal en la que se incorporaron los minerales a la dieta en premezclas y la cantidad de inulina (*Cichorium intybus*) (Orafti® SIPX, Beneo) para cada uno de los tratamientos. El óxido de cromo se agregó como un marcador externo para medir la digestibilidad al 0.4% de la dieta. Todos los microingredientes fueron pesados en una báscula analítica de 400 g (Ohaus, Scout-Pro SP401).

Cuadro 3. Composición química e ingredientes de las dietas experimentales

	Niveles de inulina (%)			
	Testigo	3	6	9
Ingredientes (%)				
Avena molida	20.0	20.0	20.0	20.0
Maíz	36.0	33.0	30.0	27.0
Sorgo	20.0	20.0	20.0	20.0
Melaza	5.0	5.0	5.0	5.0
Soya	17.0	17.0	17.0	17.0
Minerales*	1.6	1.6	1.6	1.6
Óxido de cromo	0.4	0.4	0.4	0.4
Inulina	0.0	3.0	6.0	9.0
Composición química				
Materia seca (%)	86.7	87.3	87.9	88.2
Proteína (%)	14.3	14.6	14.6	14.6
FDN (%)	21.1	20.7	20.2	20.0
Cenizas (%)	5.08	5.16	5.26	5.14

FDN= fibra de detergente neutro

5.4. Recolección de muestras

5.4.1. Tiempos de muestreo de líquido duodenal y heces

Se realizó la recolección de las muestras de líquido duodenal y fecal simultáneamente, durante los cuatro días de muestreo de cada periodo, después del consumo de alimento, programando 8 muestreos con un tiempo de 1.5 h postprandial después de la ingestión del alimento. El horario de alimentación fue a las 0600 y 1800 h y la distribución de los 8 muestreos se realizaron en cuatro días como lo indica el Cuadro 4.

Cuadro 4. Horario de muestreo (horas postprandial)

Días	Muestreos	
	1°	2°
1	0550 h	1150 h
2	0700 h	1300 h
3	0850 h	1450 h
4	1000 h	1600 h

5.4.2. Recolección de líquido duodenal

Las muestras recolectadas de líquido duodenal fueron tomadas directamente de la cánula por medio de bolsas de polietileno de 9.8 cm de largo x 20.6 cm de ancho, sujetadas con ligas a la cánula de duodeno, la recolección fue de 125 mL aproximadamente con una duración de 10 minutos \pm 3 minutos, después fueron depositadas en un frasco de plástico de 1 L identificado para cada uno de los periodos, tratamiento, animal e inmediatamente fueron almacenadas en congelación a -5 °C posteriormente se descongelaron para ser secadas las muestras en una estufa a 65°C, ya seca la muestra se molió en un molino Willey con malla de 1mm, se almacenaron e identificaron todas las muestras en frascos para cada uno de los cuatro periodos y determinar su análisis bromatológico.

5.4.3. Recolección de heces

La recolección de muestras fecal se hizo con ayuda de una bolsa de tela adaptada a los cuartos traseros del animal, para evitar el contacto con la cama de viruta y facilitar la recolección, se recolectaron aproximadamente 100 g/muestreo, se almacenaron en bolsas Ziploc posteriormente se congelaron a -5 °C para su análisis bromatológico.

5.5. Medición del pH

Se extrajo líquido ruminal. Las muestras se filtraron aproximadamente 20 mL con una malla de poro 0.1 mm y se midió el pH con un potenciómetro (Modelo 10 Fisher Scientific arca) calibrado con soluciones buffer a pH 4 y 7. Los muestreos se realizaron a las 2, 4, 6, y 8 h postprandial.

5.6. Análisis químico de las muestras

5.6.1. Determinación de almidón

El almidón se midió mediante el principio hidrolizado a dextrinas y maltosa por la acción de una termoamilasa (thermozime) (Herrera-Saldana y Huber, 1989) para estimar el flujo de nutrientes en el tracto digestivo el los corderos, para esto se pesaron 100 mg de cada una de las muestras de la dieta, líquido ruminal y de heces en tubos de 50 mL (25 x 150 mm), posteriormente se adicionaron 25 mL de acetato de buffer y 50 µL de enzima Thermozone L-340 para la incubación de los tubos en un baño maría a 95° C durante 30 minutos, después se agregaron 100 µL de Glucozime L-400 para dejarlos en incubación a 60° C durante la noche, posteriormente se transfirieron 4 mL a una alícuota para ser centrifugado a 2000 rpm durante 10 minutos, por último se tomaron 200 µL del sobrenadante y se agregaron 2 mL de glucosa oxidasa (Sigma kit Glucosa), después de 20 minutos se leyeron las muestras en el espectrofotómetro a 505 nm (VARIAN Modelo CARY 1).

5.6.2. Determinación de purinas

Se realizó la técnica de purinas para determinar la cantidad de nitrógeno microbiano (Osuji, *et al.*, 1993; Carro, 2001), de las muestras de líquido duodenal de los cuatro periodos para esto se pesaron 0.5 g de las muestras y se adicionó en un tubo de cultivo, se agregaron 2.5 mL de ácido perclórico, todas las muestras se agitaron con vortex, se colocaron en baño María a 95° C por una hora, se retiraron del baño María y se adicionaron 17.5 mL de buffer de fosfato de amonio 0.0285 M, se colocaron los tubos en el baño durante 15 min, después se colocaron en un baño ultrasónico durante 15 min, la muestra se filtró con papel del número 2 0 41, se pipeteo 0.5 mL de la muestra filtrada, se añadió 0.5 mL de solución de nitrato de plata y 9 mL de buffer de fosfato de amonio 0.2 M, se dejó reposar toda la noche en el refrigerador a 4° C, posteriormente se centrifugó a 6,000 rpm durante 10 min y se decantó la fase líquida, se adicionaron 10 mL de ácido sulfúrico a pH 2 con nitrato de plata y nuevamente se centrifugó a 6,000 rpm durante 10 min, se adicionaron 10 mL de ácido clorhídrico colocando en baño María a 95° C durante 30 min, nuevamente se centrifugó a 6,000 rpm durante 4 min, se calibró el espectrofotómetro con ácido clorhídrico y se leyó a 260 nm (UV) en el espectrofotómetro CARY 1-E VARIAN.

5.6.3. Determinación de cromo

El cromo se midió por absorción atómica (Williams, David, y Iismaa 1962), pesando 1.0 g de muestra de la dieta, líquido duodenal y de heces en un crisol para colocarlo en la mufla (Thermolyne™) durante 2 horas a 600° C, después de que la muestra se enfrió, se adicionaron 3 mL de la solución de ácido fosfórico-sulfato de manganeso y 4 mL de bromato de potasio, posterior a esto se colocaron en el digestor a 90° C hasta la efervescencia de las cenizas, se dejaron enfriar para diluir con agua destilada y adicionarlo en el matraz volumétrico de 100 mL con 10 mL de cloruro de calcio a 5000 ppm llevándolo a su aforo con agua destilada, finalmente se dejó la solución toda la noche para que los materiales suspendidos se depositaran en el fondo, después se realizó las diluciones en alimento 1:5, en duodeno 1:10 y en heces de 1:25 para

después leer la cantidad de cromo por espectrofotómetro de absorción atómica (VARIAN) por flama.

5.6.4. Determinación de FDN

El método se ocupa para estimar el grado de digestibilidad de la fibra en el alimento (Jung, 1997) para realizar la técnica primero se identificaron las bolsas con marcador permanente, se pesó 0.5 g de muestra de la dieta, líquido duodenal y de heces y se depositó dentro de la bolsa para sellarla con calor, de igual manera se pesó un blanco para determinar la corrección por blancos, se colocaron dentro de las bandejas del suspensor las 24 bolsas y un blanco por corrida, se encimaron las 9 bandejas en el poste central del suspensor, posteriormente se colocó el suspensor dentro del analizador de fibra Ankom^{200/220} con la pesa en la parte superior para mantener el suspensor sumergido, se agregaron 2000 mL de la solución detergente neutro, se agitó con calor a 100 °C, después se drenó el contenedor del analizador de fibra y nuevamente se hizo el mismo procedimiento para enjuagar perfectamente los residuos de la solución, posterior a esto se retiraron las bolsas exprimiendo para eliminar el contenido de agua y se colocaron en un vaso de precipitado con acetona durante 5 min. Después se dejaron secar al aire en una malla de alambre, posteriormente se metieron a una estufa con temperatura de 70 °C, al día siguiente se pesaron en una báscula analítica.

5.6.5. Determinación de nitrógeno amoniacal

Se realizó la determinación del nitrógeno amoniacal con las muestras almacenadas del líquido ruminal por el método de espectrofotómetro de luz ultravioleta visible, para determinar el nitrógeno total (Barsotti, 2001) del tracto digestivo, para ello se acidificaron 50 mL de líquido ruminal con 1 mL de ácido clorhídrico al 50 %, se tomaron 10 mL de este y se centrifugó a 3000 rpm por 10 min. Posteriormente se tomó 1 mL de la solución de ácido metafosfórico al 25% y se mezcló con 4 mL del sobrenadante del líquido ruminal con el fin de precipitar la proteína, se dejó reposar 3 horas y se centrifugo a 3500 rpm x 25 min, después el sobre nadante se colocó en viales con la pipeta sin tocar el precipitado de la muestra y se guardó en refrigeración (4 °C), se colocaron 20

μL en un tubo de 10 mL, 1 mL de fenol y 1 mL de hipoclorito de sodio y se agito, posteriormente se colocaron en un baño María a 37 °C durante 30 min, al final se diluyeron las muestras con 5 mL de agua destilada, finalmente se agitaron las muestras en un vortex antes de ser leídas en el espectrofotómetro CARY 1-E VARIAN de luz ultravioleta visible a 630 nm y se preparó un blanco con 1 mL de fenol y 1 mL de hipoclorito.

5.7. Cálculos

La digestibilidad se calculó con la siguiente formula:

$$\text{Digestibilidad (\%)} = \frac{\text{nutriente consumido (g)} - \text{flujo de nutriente (g)}}{\text{nutriente consumido (g)}} \times 100$$

El flujo de nutrientes se calculó con las siguientes fórmulas:

$$\text{Flujo de nutriente g/d} = \frac{\text{nutriente consumido en base seca (g d}^{-1}\text{)} \times \frac{\text{indicador (\%)}{\text{en alimento}}}{\text{indicador (\%)} \text{ en contenido intestinal o heces}}$$

La materia orgánica fermentada en el rumen fue considerada con el consumo de materia orgánica menos la diferencia entre la cantidad de materia orgánica total que alcanza el duodeno y la materia orgánica microbiana que alcanza el duodeno. El nitrógeno del alimento que llegó al intestino delgado se calculó con la diferencia del nitrógeno que llegó al abomaso menos el nitrógeno amoniacal y el nitrógeno microbiano. La eficiencia microbiana se calculó con la diferencia de los g de nitrógeno microbiano y los g de la materia orgánica fermentada.

Fase 2. Prueba de comportamiento

Se utilizaron 48 corderas de la raza Hampshire x Suffolk, con un peso promedio inicial de 23.6 ± 0.5 kg, se distribuyeron homogéneamente tres corderas por corral ($1.85 \text{ m}^2/\text{animal}$) en cuatro tratamientos con cuatro repeticiones. La prueba de comportamiento tuvo una duración de 73 d. Antes de iniciar el experimento, las corderas tuvieron un periodo de adaptación a la dieta alta en grano sin inulina por 10 d. Durante este periodo se desparasitaron con Ivermectina 1% (0.5 mL por cada 25 kg de peso vivo) vía subcutánea. Posteriormente se distribuyeron las corderas por peso homogéneo en cada corral. Se alimentaron a libre acceso durante 21 d con la dieta testigo para todos los tratamientos, durante este tiempo se determinó el consumo voluntario para establecer la cantidad de alimento a ofrecer. Nuevamente se realizó una redistribución homogénea a los 31d con peso promedio de 29.6 ± 0.2 kg entre los tratamientos, se proporcionó por primera vez la cantidad de inulina para cada uno de los tratamientos dando inicio al el experimento, con el registro del peso inicial y consumo del alimento a los 32d. Las corderas se pesaron cada 14 días antes de ofrecer el alimento, la dieta se pesó cada 7 días por la mañana, y antes de servirla se pesó el rechazo. En esta prueba se determinó el consumo diario de materia seca (muestras periódicas de alimento ofrecido, se secaron en la estufa), mediante la diferencia de peso entre alimento ofrecido y rechazado. Se determinó la ganancia diaria de peso y con ello se calculó la conversión alimenticia.

5.8. Espesor de grasa dorsal

La grasa dorsal se midió en todos los animales un día antes de proporcionar las dietas con inulina e iniciar el experimento, posteriormente al final se realizó la segunda medición de grasa dorsal, utilizando un equipo transductor de ultrasonografía directamente sobre el animal, el cual fue inmovilizado, se rasuró el costado derecho entre la 12^a y 13^a costilla para facilitar la localización del músculo (*Logissimus dors*) y determinar el largo y ancho para ello se utilizó un equipo de ultrasonografía Sonovet 600 (Universal Medical System, Inc.) con un transductor de 7.5 Mhz.

6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

6.1. Fase 1. Prueba de función digestiva

Se utilizó un diseño de Cuadro Latino 4x4. Se evaluaron cuatro tratamientos con diferente nivel de inulina. La comparación de los tratamientos se realizó con contrastes polinomiales, considerando el efecto lineal, cuadrático y el testigo vs. Tratamientos con inulina, utilizando el paquete estadístico SAS (2002).

El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + H_i + C_j + T_{(k)} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta en periodo i , animal j , tratamiento k

μ = Media general

H_i = Efecto del periodo i

C_j = Efecto del animal j

$T_{(k)}$ = Efecto del tratamiento k

ε_{ijk} = Error aleatorio

6.2. Fase 2. Prueba de comportamiento

Se utilizó un diseño completamente al azar con submuestreo, cada tratamiento con cuatro repeticiones (3 corderos por corral) por tratamiento. Los datos de ganancias de peso fueron individuales y el consumo de alimento y conversión alimenticia fue analizado con el promedio de las repeticiones (corral). Las diferencias entre los tratamientos también fueron analizadas con contrastes polinomiales (SAS, 2002), como se cita en el experimento anterior.

El modelo estadístico es:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \epsilon_{ij} + \delta_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta

μ = verdadero efecto medio

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

ϵ_{ij} = Efecto de la j -ésima unidad experimental sujeta al i -ésimo tratamiento (o error experimental).

δ_{ijk} = Efecto de la k -ésima observación tomada de la j -ésima unidad experimental sujeta al i -ésimo tratamiento (o error de muestreo)

Estimación de los efectos en el caso de submuestreo

$\bar{Y} \dots$ es un estimador de μ

$(\bar{Y}_i - \bar{Y} \dots)$ es el estimador de los efectos de tratamiento T_i

$(\bar{Y}_{ij} - \bar{Y}_i)$ es el estimador del error experimental ϵ_{ij}

$(\bar{Y}_{ijk} - \bar{Y}_{ij})$ es el estimador del error de muestreo δ_{ijk}

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fase 1 Prueba de función digestiva

El Cuadro 5 muestra las medias de las variables digestivas que se obtuvieron:

Cuadro 5. Medias generales del efecto de la inulina en la digestión de corderos por tratamiento.

Variable	Tratamientos de inulina				EEM	Valor de P		
	1	2	3	4		L	C	T vs I
Peso de borregos, Kg	30.77	30.77	29.31	30.37	0.52			
No. Animales	4	4	4	4				
Consumo por componente g/día								
MS	708.26	708.26	717.68	729.89	8.67			
MO	777.24	770.88	771.98	771.93	0.89			
Almidón	426.03	448.20	366.50	446.59	0.31			
FDN	172.17	168.29	164.61	163.20	0.31			
N alimenticio	16.48	15.93	16.78	16.40	0.14			
Flujo al duodeno g/día								
MO	99.33	91.26	94.34	99.83	8.08	0.48	0.07	0.08
Almidón	65.11	56.26	59.00	60.43	12.67	0.97	0.99	0.98
FDN	100.61	120.17	102.32	102.12	10.83	0.76	0.78	0.47
N no amoniacal	79.72	75.39	70.92	72.18	13.71	0.42	0.70	0.42
N microbiano	13.68	15.29	15.04	17.36	2.17	0.92	0.87	0.94
N alimenticio	93.40	90.69	85.96	89.54	12.85	0.57	0.62	0.53
Digestión ruminal, % del consumo								
MO	104.82	108.00	107.26	109.55	36.41	0.97	0.99	0.98
Almidón	84.71	87.44	83.90	86.46	2.98	0.56	0.66	0.77
FDN	41.56	28.59	37.83	37.42	6.66	0.97	0.99	0.98
Eficiencia microbiana-N	16.76	18.21	18.05	20.44	0.28	0.97	0.99	0.98
Digestión post-ruminal, % que proviene del abomaso								
MO	65.16	60.23	64.54	65.95	43.68	0.97	0.99	0.98
Almidón	90.06	86.29	87.92	86.23	9.41	0.97	0.99	0.98
FDN	18.24	22.43	11.63	08.89	63.25	0.97	0.99	0.98
N	81.16	81.41	81.01	80.52	21.28	0.97	0.99	0.98
Excreción fecal, g/día								
MO	34.33	36.36	33.16	33.64	2.12	0.97	0.99	0.97
Almidón	5.75	7.32	6.95	8.10	3.88	0.59	0.97	0.47
FDN	81.32	91.89	85.98	89.86	7.56	0.53	0.62	0.78
N	4.20	4.57	4.58	4.95	0.52	0.97	0.99	0.98
Digestión total del tracto, % del consumo								
MO	95.58	95.28	95.70	95.64	0.27	0.97	0.99	0.98
Almidón	98.64	98.36	98.10	98.18	0.88	0.97	0.99	0.98
FDN	52.76	45.39	47.76	44.93	0.45	0.97	0.99	0.98
N	74.50	71.26	72.66	69.77	0.32	0.81	0.88	0.77

La MO que fluyó a duodeno presentó una tendencia lineal y cuadrática ($P < 0.1$) ya que al incluir gradualmente la inulina en la dieta esta mejora su digestibilidad debido a que probablemente exista una mayor cantidad de bacterias que mejoren el flujo de la materia orgánica, disminuyendo así con la inclusión de 3% de inulina e incrementando el flujo de MO con 6 y 9% de inulina. Con respecto a las demás variables, no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0.05$) en almidón y FDN promediando 60.2 y 106.3 g d⁻¹ respectivamente. En la digestión ruminal, se obtuvieron promedios de 85.6% en almidón y 36.3 % en FDN. Respecto a la digestión en el tubo digestivo, tampoco hubo diferencias significativas en ninguna de las variables, promediando para MO: 73.86, almidón 98.3, FDN 79.8 y N: 11.8%. Todas las variables no mostraron diferencias significativas con la inclusión de inulina en las dietas. Como es sabido la inulina y fructo-oligosacáridos, que no son digeribles por enzimas digestivas pero que pueden ser metabolizados por las bacterias principalmente bifidobacterias y lactobacilos (Philippeau *et al.*, 2010) del colon para producir ácidos grasos de cadena corta en no rumiantes; en nuestro estudio no se observaron diferencias entre los tratamientos. Awad *et al.* (2013) demostraron que la inulina en la dieta puede dar lugar a una mejor salud intestinal a lo largo de toda la longitud del tracto digestivo. En un estudio realizado por Lynch *et al.* (2007) encontraron una interacción entre la concentración de PC de la dieta y la inclusión de inulina en la población de *E. coli* y tenían una población significativamente mayor de bifidobacterias en el ciego de los cerdos. Las dieta de inulina ofrecidas a cerdos tenían un fecal superior N y la disminución de la orina: relación de N heces. Esto era debido a un cambio en el patrón de excreción N de N urinario a la proteína bacteriana fecal (Lynch *et al.* 2007). Por otro lado Hedemann y Knudsen (2010) dicen que la digestibilidad de la proteína en heces disminuyó cuando se aumenta la cantidad de fructanos en la dieta. La pérdida de fructanos durante el paso a través del intestino delgado en cerdos, puede ser debido a la hidrólisis por ácido o por la microflora microbiana. La inulina al pasar por el intestino grueso es como sustrato fácilmente fermentable. En particular bacterias, ácido láctico como lactobacilos, *Weissella* spp., y *Leuconostoc* spp. o estrictamente bacterias anaerobias tales como *Clostridium* spp. y *Propionibacterium* spp. (Lorenzo-Pisarello *et al.*, 2010).

Patterson et al. (2010) encontraron un aumento de bifidobacterias y lactobacilos en diferentes segmentos intestinales de lechones por 3 tipos de inulina en la dieta con diferente grado de polimerización. Las concentraciones de fructanos en las digesta estomacales e intestinales fueron mayores en el grupo de inulina de mayor grado de polimerización en comparación con el grupo control.(Paßlack et al. 2012). Según Loh et al. (2006) demostraron un mayor número de bifidobacterias en el colon de los lechones cuando se incluyó inulina en la dieta en comparación con el grupo control.

Los informes sobre la inulina y sus efectos sobre la microflora intestinal en cerdos han sido, hasta cierto punto, inconsistentes. Pueden ser causados por factores específicos como la dieta, las concentraciones de inulina en las dietas, la duración de los ensayos, el grado de polimerización de la inulina, los factores que afectan su degradación microbiana, como los efectos variables sobre la actividad fermentativa y composición microbiana gastrointestinal.

7.1. pH ruminal

El pH ruminal de los corderos en la prueba metabólica no presentan diferencia significativa ($P > 0.05$) a la inclusión de inulina entre los tratamientos Cuadro 6. Pero se consideran aspectos de alimentación por el cual el pH en todas las dietas presentan valores bajos, esto se debe a la post-alimentación en las primeras horas disminuye por la fermentación de las dietas altas en granos y bajas en fibra, como se puede observar en este estudio. Philippeau *et al.* (2010) mencionan que el pH de 5.5 en terneros podría deberse a una mayor producción de ácidos grasos de cadena corta y ácido láctico, ya que constituyen los principales productos finales de la fermentación de hidratos de carbono por los lactobacilos, estreptococos y las bifidobacterias. De acuerdo con Król (2011) encontró un pH bajo en los becerros del grupo testigo, que en aquellos grupos que contenían dietas con inulina (3 y 6 g/d/animal), se sabe que hay efectos con la suplementación de inulina, ya que se considera más estable el pH, pero esto depende de varios factores que intervienen en la fermentación considerando los ingrediente de las dietas, la cantidad de inulina, fuente de inulina usadas en los experimentos. Por lo visto en el experimento el

pH se presentó estable a pesar de la cantidad de concentrado en la dieta. Existen algunos experimentos similares donde la inulina no cambia la concentración del pH, en un estudio realizado por Paßlack *et al.* (2012) quienes midieron el pH en lechones con diferentes fuentes de inulina (raíz de alcachofa Bayer CropScience AG; raíz de achicoria Raftiline HP, Beneo) y diferente grado de polimerización, el cual no hubo diferencia significativa en ninguno de los tratamientos este se mantuvo en neutro alrededor de 7.02, sin embargo la utilización de inulina o de fructanos, poseen efectos diferentes en cada experimento como lo que investigaron Kasperowicz *et al.* (2014) observaron que el pH en corderos después de la alimentación en dietas suplementadas con fructanos e inulinas (fructanos de gramíneas y HPX; P95 de Beneo) tuvieron una disminución significativa con respecto a la dieta testigo.

Cuadro 6. pH ruminal en borregos alimentados con diferentes niveles de inulina

Variable	Nivel de inulina %				Lineal	Cuadrático	Testigo VS T2, T3, T4
	testigo	3	6	9			
PH 2	5.6	5.9	5.5	5.8	0.5206	0.3799	0.5097
PH 4	5.8	5.7	5.6	5.8	0.9801	0.3892	0.6821
PH 6	5.8	5.9	5.8	5.9	0.9449	0.9855	0.8626
PH 8	5.9	6.0	5.8	6.0	0.8781	0.9267	0.8469

Fase 2. Prueba de Comportamiento productivo

7.2. Ganancia diaria de peso (GDP)

Los resultados de la ganancia diaria de peso (GDP) en la prueba de comportamiento se presentan en el Cuadro 7. Durante el periodo de 14-28 d, disminuyó linealmente ($P < 0.05$) la GDP, con el incremento de inclusión de la inulina, resultó también diferente ($P < 0.03$) el grupo testigo (GT) vs. grupo con inulina (GI). Los demás periodos registrados, incluyendo la GDP total (0-42 d) no mostraron diferencias ($P > 0.05$).

Terneros alimentados con 6 g^{-1} de inulina mejoraron la GDP de 572 g^{-1} comparado con las dosis de 3 g^{-1} que fue de 479 g^{-1} y 552 g^{-1} del grupo testigo (Król, 2011). No hay otros estudios similares, la información es limitada en rumiantes. En el caso de investigaciones en cerdos, también se reporta que los oligosacáridos en la dieta a dosis de $7.5\text{-}15 \text{ g}^{-1}$ de oligofruktosa en la dieta, disminuyó la GDP durante la primera semana, y posteriormente no hubo diferencias entre los tratamientos (Flickinger *et al.*, 2003). La disminución en la GDP en nuestro estudio, posiblemente sea debido a cambios de adaptación de la dieta con inulina en las corderas, o también que la inulina haya causado disminución del tejido adiposo, como se menciona en dietas para cerdos, cuando se usan dosis en la dieta de 6% (Kjos *et al.*, 2010). El efecto de los fructo-oligosacaridos en cerdos varía según la dosis usada, Grand *et al.* (2013) investigaron que una dosis óptima de fructo-oligosacaridos (con grado de polimerización de 3 a 5) puede mejorar el crecimiento en las terneras y mejorar la ganancia de peso final y posiblemente se deba a la mejora en la absorción de calcio, aunque esta respuesta no se justifica en nuestro estudio. Caso contrario a lo investigado por Clavo *et al.* (2015) mencionan que la incorporación de inulina y el complejo enzimático usado en la ración tuvo un efecto significativo sobre una mayor eficiencia en la digestión de la proteína del alimento generando una mayor absorción de aminoácidos así como de calcio, lo cual explicaría el mayor crecimiento de los terneros del grupo experimental. Aunque nosotros consideramos que la GDP está directamente relacionada por el consumo de materia seca

Cuadro 7. Ganancia diaria de peso de corderas suplementadas con tres niveles de inulina

Días	Nivel de inulina %				EEM	Lineal	Cuadrático	Testigo VS T2, T3, T4
	testigo	3	6	9				
0-14	0.32	0.32	0.30	0.35	0.00138	0.374	0.22	0.76
14-28	0.28	0.27	0.24	0.20	0.00071	0.002	0.26	0.03
28-42	0.23	0.29	0.26	0.25	0.00014	0.771	0.15	0.17
0-28	0.30	0.30	0.27	0.28	0.00051	0.106	0.73	0.24
14-42	0.25	0.28	0.25	0.23	0.00060	0.062	0.10	0.78
0-42	0.28	0.29	0.26	0.27	0.00045	0.287	0.52	0.97

7.3. Consumo de materia seca (CMS)

El CMS de las corderas con la adición de inulina en la dieta se presenta en el Cuadro 8. No hubo diferencias ($P>0.05$) en ningún periodo de los tratamientos de estudio, coincidiendo con otro estudio reportado en terneras (Grand *et al.*, 2013). El CMS promedio en las corderas fue de 1450 g^{-1} , y no se presentaron variaciones durante el crecimiento. Soria *et al.* (2011) citan que el consumo de alimento en ovejas de lana es de alrededor de 1300 g^{-1} , con dietas integrales. Los ingredientes usados fueron similares (sin la suplementación de inulina) a la dieta de nuestro experimento, coincidiendo con las recomendaciones del NRC (2007), lo que explica que la PC debe oscilar de 15 a 16%. Por otro lado, Calvo *et al.* (2015) mencionan que la incorporación de inulina en la dieta, mejora el consumo de alimento y disminuye la incidencia en los disturbios intestinales en terneros lactantes incorporada a una dosis 0.1%. Fundamentalmente el uso de la inulina ha sido mejor investigado en los pre-rumiantes, como un prebiótico, con el propósito de mejorar la fisiología digestiva (Flickinger *et al.*, 2003; Philippeau *et al.*, 2010; Król, 2011).

Cuadro 8. Consumo de alimento de corderas suplementadas con tres

Días	Nivel de inulina %				EEM	Lineal	Cuadrático	Testigo VS T2, T3, T4
	testigo	3	6	9				
0-14	1.43	1.46	1.43	1.51	0.0055	0.28	0.49	0.49
14-28	1.49	1.50	1.42	1.46	0.0123	0.50	0.82	0.67
28-42	1.48	1.47	1.39	1.46	0.0050	0.41	0.39	0.37
0-28	1.46	1.48	1.42	1.48	0.0079	0.96	0.67	0.98
14-42	1.48	1.48	1.40	1.46	0.0077	0.45	0.58	0.53
0-42	1.47	1.48	1.41	1.47	0.0066	0.84	0.54	0.81

niveles de inulina

7.4. Conversión alimenticia (CA)

Los resultados de CA se presentan en el Cuadro 9. La adición de inulina en la dieta para corderas en los periodos de 14-28 y 0-28 d días disminuyó ($p < 0.05$) linealmente la CA. Similarmente en terneros, usando dosis de 3 y 6 g⁻¹de fructo-oligosacaridos (Profeed P95, 95% con grado de polimerización 3 y 5; Beghin Meiji, Marckolsheim, France), disminuyó la CA (Grand *et al.*, 2013), aunque en otro estudio la inulina no tuvo efecto en la CA con las mismas dosis citadas (Król, 2011). En cerdos, utilizando dosis de inulina de 3, 6 y 9%, no hubo diferencias en la CA (Øverland *et al.*, 2011).

Cuadro 9. Conversión alimenticia de corderas suplementadas con tres niveles de inulina

Días	Nivel de inulina %				EEM	Lineal	Cuadrático	Testigo VS T2, T3, T4
	testigo	3	6	9				
0-14	4.58	4.57	4.83	4.32	0.16	0.583	0.24	0.99
14-28	5.38	5.68	5.94	7.51	0.56	0.003	0.12	0.05
28-42	6.57	5.16	5.48	5.95	1.15	0.535	0.11	0.13
0-28	4.95	4.99	5.32	5.40	0.06	0.016	0.90	0.08
14-42	5.85	5.35	5.70	6.56	0.39	0.109	0.06	0.96
0-42	5.34	5.04	5.37	5.53	0.08	0.187	0.13	0.86

7.5. Grasa dorsal

Los datos relacionados con la grasa dorsal se presentan en el Cuadro 10. Inicialmente el espesor y área de la grasa en las corderas no presentó diferencias ($P > 0.05$), implicando que todas las corderas tuvieron una conformación similar. Al término del experimento las mismas mediciones tuvieron diferencia ($P < 0.05$) entre los tratamientos. Específicamente, el espesor disminuyó linealmente con los niveles de inulina y también hubo diferencias entre grasa total vs. grasa inicial. La explicación fisiológica se asocia a que la inulina es rápidamente fermentable y reduce la degradación de las proteínas, Kjos *et al.* (2010) reportan que la inclusión de inulina en la dieta de los cerdos reduce los niveles del el tejido adiposo pero la inclusión de inulina debe de ser de al menos 6% en la dieta. El espesor de la grasa en nuestro estudio fue de 3.4 mm estos valores son superiores a los que reportan Castellaro *et al.* (2016) que van de 1.9 y 2.2 mm según el genotipo de los borregos y este en razas tardías es menor el espesor de grasa que en las razas precoces. En el área del músculo *Longissimus dorsi* no hubo diferencia ($P > 0.05$) entre tratamientos, pero si hubo disminución en los tratamientos con mayor porcentaje de inulina comparada con la dieta testigo en la lectura final. También se incrementó el área final, comparado con la primera medición. Este valor indica que las corderas tuvieron una deposición de proteínas adecuada en el área del músculo, por lo tanto la dieta influyó en esta variable (Aluwé *et al.*, 2013).

Cuadro 10. Grasa dorsal (mm) de corderas suplementadas con tres niveles de inulina

Variable	Nivel de inulina %				EEM	Lineal	Cuadrático	Testigo VS T2, T3, T4
	testigo	3	6	9				
Espesor inicial	2.2	2.1	2.0	2.3	0.12	0.110	0.110	0.639
Espesor final	3.7	3.8	3.1	3.2	0.22	0.001	0.762	0.061
Área inicial	823.3	837.6	821.3	872.9	13146.90	0.378	0.576	0.594
Área final	1064.8	1077.5	1021.4	1010.3	8534.6	0.074	0.658	0.362

8. CONCLUSIONES

La inclusión de inulina (Orafti ® SIPX, Beneo) en la dieta de corderas no modificó las variables digestivas en el rumen y el tubo digestivo intestinal.

La inulina no mejoró los parámetros productivos de ganancias diarias de peso y conversión alimenticia.

El espesor de grasa dorsal al final del experimento fue más bajo en las dietas de mayor porcentaje de inulina.

La inulina utilizada en este estudio no influyó sobre las variables analizadas. Al parecer la inclusión de inulina podría modificar algunos parámetros en la calidad de la carne, ya que en este estudio disminuyó la grasa dorsal.

9. LITERATURA CITADA

- Abdelqader, Anas, Abdur-Rahman Al-Fataftah, y Gürbüz Daş. 2013. "Effects of dietary *Bacillus subtilis* and inulin supplementation on performance, eggshell quality, intestinal morphology and microflora composition of laying hens in the late phase of production". *Animal Feed Science and Technology* 179 (1–4): 103–11. doi:10.1016/j.anifeedsci.2012.11.003.
- Abrams, Steven A., Ian J. Griffin, Keli M. Hawthorne, Lily Liang, Sheila K. Gunn, Gretchen Darlington, y Kenneth J. Ellis. 2005. "A Combination of Prebiotic Short- and Long-Chain Inulin-Type Fructans Enhances Calcium Absorption and Bone Mineralization in Young Adolescents". *The American Journal of Clinical Nutrition* 82 (2): 471–76.
- Aluwé, M., K. C. M. Langendries, K. M. Bekaert, F. A. M. Tuytens, D. L. De Brabander, S. De Smet, y S. Millet. 2013. "Effect of surgical castration, immunocastration and chicory-diet on the meat quality and palatability of boars". *Meat Science* 94 (3): 402–7. doi:10.1016/j.meatsci.2013.02.015.
- Apolinário, Alexandra Conceição, Bolívar Ponciano Goulart de Lima Damasceno, Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão, Adalberto Pessoa, Attilio Converti, y José Alexandro da Silva. 2014. "Inulin-type fructans: A review on different aspects of biochemical and pharmaceutical technology". *Carbohydrate Polymers* 101 (enero): 368–78. doi:10.1016/j.carbpol.2013.09.081.
- Awad, Wageha A., Khaled Ghareeb, Nadine Paßlack, y Jürgen Zentek. 2013. "Dietary inulin alters the intestinal absorptive and barrier function of piglet intestine after weaning". *Research in Veterinary Science* 95 (1): 249–54. doi:10.1016/j.rvsc.2013.02.009.
- Barry, Kathleen A., Brittany M. Vester, y George C. Fahey Jr. 2009. "Prebiotics in Companion and Livestock Animal Nutrition". En *Prebiotics and Probiotics Science and Technology*, editado por Dimitris Charalampopoulos y Robert A. Rastall, 353–463. Springer New York. doi:10.1007/978-0-387-79058-9_12.

- Barsotti, Robert J. 2001. "Measurement of Ammonia in Blood". *The Journal of Pediatrics* 138 (1): S11–20. doi:10.1067/mpd.2001.111832.
- Barszcz, M., M. Taciak, A. Tuśnio, E. Święch, Ł. Staśkiewicz, y J. Skomiał. 2013. "Microbial Activity in the Large Intestine of Piglets Fed Diets with Different Sources of Inulin". En *Energy and Protein Metabolism and Nutrition in Sustainable Animal Production*, editado por James W. Oltjen, Ermias Kebreab, y Hélène Lapiere, 379–80. *Energy and Protein Metabolism and Nutrition in Sustainable Animal Production* 134. Wageningen Academic Publishers. doi:10.3920/978-90-8686-781-3_134.
- Brambillasca, Sebastián, Pablo Zunino, y Cecilia Cajarville. 2015. "Addition of inulin, alfalfa and citrus pulp in diets for piglets: Influence on nutritional and faecal parameters, intestinal organs, and colonic fermentation and bacterial populations". *Livestock Science* 178 (agosto): 243–50. doi:10.1016/j.livsci.2015.06.003.
- Bucław, M. 2016. "The Use of Inulin in Poultry Feeding: A Review". *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, abril, n/a-n/a. doi:10.1111/jpn.12484.
- Carro, M. D. 2001. "La determinación de la síntesis de proteína micro-biana en el rumen: Comparación entre marcadores microbianos (Revisión)". *Inv. Agr. Prod. Sanid. Anim* 16: 1–27.
- Castellaro G, Giorgio, Ximena García F, Magofke S, Juan Carlos, y Gerónimo Marín F. 2016. "Características de la canal de corderos merino precoz, suffolk y mestizos determinadas por ultrasonografía lumbar y evaluación de sus correlaciones". *Chilean journal of agricultural & animal sciences* 32 (1): 53–59. doi:10.4067/S0719-38902016000100006.
- Castor, Laura Lara. 2011. "Inulina: Polisacárido con interesantes beneficios a la salud humana y con aplicación en la industria farmacéutica". <http://www.zukara.com.mx/inulina%202011.pdf>.

- Dankowiakowska, Agata, Izabela Kozłowska, y Marek Bednarczyk. 2013. "probiotics, prebiotics and snybiotics in poultry – mode of action, limitation, and achievements". *Journal of Central European Agriculture* 14 (1): 467–78.
- Flamm, Gary, Walter Glinsmann, David Kritchevsky, Leon Prosky, y Marcel Roberfroid. 2001. "Inulin and Oligofructose as Dietary Fiber: A Review of the Evidence". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 41 (5): 353–62. doi:10.1080/20014091091841.
- Flickinger, Elizabeth A., Jan Van Loo, y George C. Fahey. 2003. "Nutritional Responses to the Presence of Inulin and Oligofructose in the Diets of Domesticated Animals: A Review". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 43 (1): 19–60. doi:10.1080/10408690390826446.
- Franck, A. 2002. "Technological functionality of inulin and oligofructose". *British Journal of Nutrition* 87 (S2): S287–91. doi:10.1079/BJN/2002550.
- Grand, E., F. Respondek, C. Martineau, J. Detilleux, y G. Bertrand. 2013. "Effects of short-chain fructooligosaccharides on growth performance of preruminant veal calves". *Journal of Dairy Science* 96 (2): 1094–1101. doi:10.3168/jds.2011-4949.
- Grela, Eugeniusz R., Krzysztof Pietrzak, Sandra Sobolewska, y Piotr Witkowski. 2013. "Effect of Inulin and Garlic Supplementation in Pig Diets/Efektywność dodatku inuliny i czosnku w żywieniu tuczników". *Annals of Animal Science* 13 (1): 63–71.
- Hedemann, Mette Skou, y Knud Erik Bach Knudsen. 2010. "Dried chicory root has minor effects on the digestibility of nutrients and the composition of the microflora at the terminal ileum and in faeces of growing pigs". *Livestock Science*, 11th International Symposium on Digestive Physiology of Pigs, Part 2, 134 (1–3): 53–55. doi:10.1016/j.livsci.2010.06.095.

- Herrera-Saldana, R., y J. T. Huber. 1989. "Influence of Varying Protein and Starch Degradabilities on Performance of Lactating Cows¹". *Journal of Dairy Science* 72 (6): 1477–83. doi:10.3168/jds.S0022-0302(89)79257-2.
- Jung, Hans-Joachim G. 1997. "Analysis of Forage Fiber and Cell Walls in Ruminant Nutrition". *The Journal of Nutrition* 127 (5): 810S–813S.
- Kareem, Karwan Yaseen, Teck Chwen Loh, Hooi Ling Foo, Henny Akit, y Anjas Asmara Samsudin. 2016. "Effects of Dietary Postbiotic and Inulin on Growth Performance, IGF1 and GHR mRNA Expression, Faecal Microbiota and Volatile Fatty Acids in Broilers". *BMC Veterinary Research* 12 (1): 163. doi:10.1186/s12917-016-0790-9.
- Kasperowicz, Anna, Katarzyna Stan-Głasek, Barbara Kowalik, Anna Vandzurova, Peter Pristas, Janusz Pająk, Elżbieta Kwiatkowska, y Tadeusz Michałowski. 2014. "Effect of dietary fructose polymers or sucrose on microbial fermentation, enzyme activity, ciliate concentration and diversity of bacterial flora in the rumen of rams". *Animal Feed Science and Technology* 195 (septiembre): 38–46. doi:10.1016/j.anifeedsci.2014.06.014.
- Kjos, N.P., M. Øverland, A.K. Fauske, y H. Sørum. 2010. "Feeding Chicory Inulin to Entire Male Pigs during the Last Period before Slaughter Reduces Skatole in Digesta and Backfat". *Livestock Science* 134 (1–3): 143–45. doi:10.1016/j.livsci.2010.06.120.
- Król, Barbara. 2011. "Effect of mannanoligosaccharides, inulin and yeast nucleotides added to calf milk replacers on rumen microflora, level of serum immunoglobulin and health condition of calves". *Electronic. J. Polish Agric. Univ* 14. <http://www.ejpau.media.pl/articles/volume14/issue2/art-18.pdf>.
- Loo, Jan Van. 2007. "How Chicory Fructans Contribute to Zootechnical Performance and Well-Being in Livestock and Companion Animals". *The Journal of Nutrition* 137 (11): 2594S–2597S.

- Lorenzo-Pisarello, M. J., M. L. Gultemirian, C. Nieto-Peñalver, y A. Perez Chaia. 2010. "Propionibacterium acidipropionici CRL1198 influences the production of acids and the growth of bacterial genera stimulated by inulin in a murine model of cecal slurries". *Anaerobe* 16 (4): 345–54. doi:10.1016/j.anaerobe.2010.04.006.
- Lynch, M. B., T. Sweeney, J. J. Callan, y J. V. O'Doherty. 2007. "The effect of dietary crude protein concentration and inulin supplementation on nitrogen excretion and intestinal microflora from finisher pigs". *Livestock Science*, 10th International Symposium on Digestive Physiology in Pigs, Denmark 2006, Part 2, 109 (1–3): 204–7. doi:10.1016/j.livsci.2007.01.131.
- M, José Clavo, José M. Almeyda M, y Erickson A. Ruíz F. 2015. "incorporación de inulina y un complejo enzimático en la ración alimenticia de terneros lactantes holstein en crianza intensiva". *Anales Científicos* 76 (2): 376–81.
- Madrigal, Lorena, y Elba Sangronis. 2007. "La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales". *Archivos latinoamericanos de nutrición* 57 (4): 387.
- Mensink, Maarten A., Henderik W. Frijlink, Kees van der Voort Maarschalk, y Wouter L. J. Hinrichs. 2015. "Inulin, a flexible oligosaccharide I: Review of its physicochemical characteristics". *Carbohydrate Polymers* 130 (octubre): 405–19. doi:10.1016/j.carbpol.2015.05.026.
- Mitmesser, S., y M. Combs. 2017. "Chapter 23 - Prebiotics: Inulin and Other Oligosaccharides". En *The Microbiota in Gastrointestinal Pathophysiology*, editado por Martin H. Floch, Yehuda Ringel, y W. Allan Walker, 201–8. Boston: Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-804024-9.00023-9.
- Nair, K. Kalyani, Suman Kharb, y D. K. Thompkinson. 2010. "Inulin Dietary Fiber with Functional and Health Attributes—A Review". *Food Reviews International* 26 (2): 189–203. doi:10.1080/87559121003590664.

- NRC. 2007. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*.
- Øverland, M., N. K. Kjos, A. K. Fauske, J. Teige, y H. Sørum. 2011. "Easily fermentable carbohydrates reduce skatole formation in the distal intestine of entire male pigs". *Livestock Science* 140 (1–3): 206–17. doi:10.1016/j.livsci.2011.03.032.
- Öztürk, Hakan. 2008. "Effects of inulin on rumen metabolism in vitro". *Ankara Üniv. Vet. Fak. Derg* 55: 79–82.
- Öztürk, Hakan. 2009. "Effects of chicory inulin on ruminal fermentation in vitro". *Ankara Üniv. Vet. Fak. Derg* 56: 171–175.
- Paßlack, Nadine, M. Al-samman, W. Vahjen, K. Männer, y J. Zentek. 2012. "Chain length of inulin affects its degradation and the microbiota in the gastrointestinal tract of weaned piglets after a short-term dietary application". *Livestock Science* 149 (1–2): 128–36. doi:10.1016/j.livsci.2012.07.005.
- Pellikaan, W. F., J. M. A. J. Verdonk, S. B. Shim, y M. W. A. Verstegen. 2007. "Adaptive capacity of faecal microbiota from piglets receiving diets with different types of inulin-type fructans". *Livestock Science*, 10th International Symposium on Digestive Physiology in Pigs, Denmark 2006, Part 1, 108 (1–3): 178–81. doi:10.1016/j.livsci.2007.01.087.
- Philippeau, C., F. Respondek, y V. Julliand. 2010. "In vitro effects of fructo-oligosaccharides on bacterial concentration and fermentation profiles in veal calf ileal contents". *Animal Feed Science and Technology* 162 (3–4): 83–90. doi:10.1016/j.anifeedsci.2010.09.006.
- Roberfroid, Marcel B. 1999. "Concepts in Functional Foods: The Case of Inulin and Oligofructose". *The Journal of Nutrition* 129 (7): 1398S–1401S.
- Roberfroid, Marcel B. 2007. "Inulin-Type Fructans: Functional Food Ingredients". *The Journal of Nutrition* 137 (11): 2493S–2502S.

- Roberfroid, Marcel B., Jan A. E. Van Loo, y Glenn R. Gibson. 1998. "The Bifidogenic Nature of Chicory Inulin and Its Hydrolysis Products". *The Journal of Nutrition* 128 (1): 11–19.
- Samanta, A. K., Natasha Jayapal, S. Senani, A. P. Kolte, y Manpal Sridhar. 2013a. "Prebiotic inulin: Useful dietary adjuncts to manipulate the livestock gut microflora". *Brazilian Journal of Microbiology* 44 (1): 1–14.
- 2013b. "Prebiotic inulin: Useful dietary adjuncts to manipulate the livestock gut microflora". *Brazilian Journal of Microbiology* 44 (1): 1–14.
- Samolińska, W., y E. R. Grela. 2016. "Comparative Effects of Inulin with Different Polymerization Degrees on Growth Performance, Blood Trace Minerals, and Erythrocyte Indices in Growing-Finishing Pigs". *Biological Trace Element Research*, julio, 1–13. doi:10.1007/s12011-016-0796-y.
- SAS. 2002. *Statistical Analysis System* (versión 9.0). User's Guide. North Carolina, USA.: Institute Inc.
- Shoaib, Muhammad, Aamir Shehzad, Mukama Omar, Allah Rakha, Husnain Raza, Hafiz Rizwan Sharif, Azam Shakeel, Anum Ansari, y Sobia Niazi. 2016. "Inulin: Properties, health benefits and food applications". *Carbohydrate Polymers* 147 (agosto): 444–54. doi:10.1016/j.carbpol.2016.04.020.
- Soria, Vázquez, Edith Tatiana, Partida de la Peña, José Armando, Rubio Lozano, Ma Salud, y Danilo Méndez Medina. 2011. "Comportamiento productivo y características de la canal en corderos provenientes de la cruce de ovejas Katahdin con machos de cuatro razas cárnicas especializadas". *Revista mexicana de ciencias pecuarias* 2 (3): 247–58.
- Ulloa, J., H. Espinosa Andrews, y G. K. Cruz Rodríguez. 2010. "Los fructanos y su papel en la promoción de la salud". *Revista Fuente* 2: 5.
- Vega, Velasquez, Juan, Manuel. 2011. "obtención y caracterización de inulina entrecruzada como agente encapsulante". http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2011/qf-vega_ja/pdfAmont/qf-vega_ja.pdf.

- Vogt, Leonie, Diederick Meyer, Gerdie Pullens, Marijke Faas, Maaïke Smelt, Koen Venema, Uttara Ramasamy, Henk A. Schols, y Paul De Vos. 2015. "Immunological Properties of Inulin-Type Fructans". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 55 (3): 414–36. doi:10.1080/10408398.2012.656772.
- Williams, C. H., D. J. David, y O. Iismaa. 1962. "The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic absorption spectrophotometry". *The Journal of Agricultural Science* 59 (3): 381–85. doi:10.1017/S002185960001546X.