



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 MEXICO

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.

ÍNDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	9
2.1. Clasificación y estructura de la inulina	9
2.2. Características físicas y químicas de la inulina.....	12
2.3. El efecto prebiótico de la inulina	14
2.4. Uso de la inulina en humanos.....	14
2.5. Inulina en animales no rumiantes	15
2.6. El uso de inulina en rumiantes.....	17
3. OBJETIVOS	19
3.1. Objetivo general.....	19
3.2. Objetivos particulares.....	19
4. HIPÓTESIS	20
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
5.1. Lugar de estudio	21
A. FASE 1. PRUEBA DE FUNCIÓN DIGESTIVA	21
5.2. Animales	21
5.3. Tratamientos experimentales.....	21
5.4. Recolección de muestras	23
5.4.1. Muestreos de recolección	23
5.4.2. Recolección de líquido duodenal.....	23
5.4.3. Recolección de heces.....	23
5.5. Medición del pH.....	23
5.6. Análisis químico de las muestras	24
5.6.1. Determinación de Almidón.....	24
5.6.2. Determinación de purinas	24

5.6.3.	Determinación de cromo.....	25
5.6.4.	Determinación de FDN	25
5.6.5.	Determinación de nitrógeno amoniacal	26
B.	FASE 2. PRUEBA DE COMPORTAMIENTO	26
6.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	28
6.1.	Fase 1.....	28
6.2.	Fase 2.....	28
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
8.	CONCLUSIONES.....	34
9.	LITERATURA CITADA	35

LISTA DE CUADROS

Página

CUADRO 1. DIFERENTES FUENTES QUE CONTIENEN INULINA.....	9
CUADRO 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA INULINA, INULINA ALTA PUREZA (HP) Y OLIGOFRUCTOSA.....	13
CUADRO 3. COMPOSICIÓN QUÍMICA E INGREDIENTES DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES	22
CUADRO 4. HORARIO DE MUESTREO (HORAS POSTPRANDIAL)	23
CUADRO 5. EFECTO DEL SUPLEMENTO DE INULINA EN LA DIGESTIBILIDAD RUMINAL Y POSTRUMINAL DE BORREGOS ALIMENTADOS CON UNA DIETA INTEGRAL.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
CUADRO 6. EFECTO DEL NIVEL DE INULINA EN EL FLUJO DE COMPONENTES DEL ALIMENTO A DUODENO DE BORREGOS ALIMENTADOS CON UNA DIETA INTEGRAL	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
CUADRO 7. EFECTO DEL NIVEL DE INULINA EN LA DIGESTIBILIDAD TOTAL DE BORREGOS ALIMENTADOS CON UNA DIETA INTEGRAL.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
CUADRO 8. PH RUMINAL EN BORREGOS ALIMENTADOS CON DIFERENTES NIVELES DE INULINA.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
CUADRO 9. GANANCIA DIARIA DE PESO	31
CUADRO 10. CONSUMO DE ALIMENTO	32
CUADRO 11. CONVERSIÓN ALIMENTICIA	32
CUADRO 12. MEDICIÓN DE GRASA EN MM	33

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA INULINA.	10
FIGURA 2. PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE INULINA A PARTIR DE ACHICORIA.	12

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años los especialistas en nutrición de rumiantes se han interesado en la manipulación de los microorganismos del rumen para mejorar la producción animal. La investigación con bacterias ha aumentado de manera importante, por 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. Desde que comenzó el uso de los prebióticos, algunos países han prohibido el uso de antimicrobianos y otros han restringido la cantidad en la dieta (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 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 las 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, y que sólo son 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). Otro parámetro que beneficia la inclusión de inulina en la dieta, es 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 (Buclaw, 2016). Según Öztürk (2008) en un estudio de fermentación ruminal *in vitro*, el uso de inulina de tupinambo (*Helianthus tuberosus L.*) en la dieta reducen 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 produjo mayor producción de ácidos grasos de cadena corta y ácido láctico, por lo tanto existe 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 el rumen; todavía se necesitan realizar más investigaciones para comparar los resultados mediante la fermentación ruminal y descubrir si hay posibles efectos de la inulina en los rumiantes. Por lo tanto el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto que tiene la inulina en la función digestiva y el comportamiento productivo en corderos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. 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, dentro de las cuales destacan el beneficio 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 \rightarrow 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

Shoab *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).

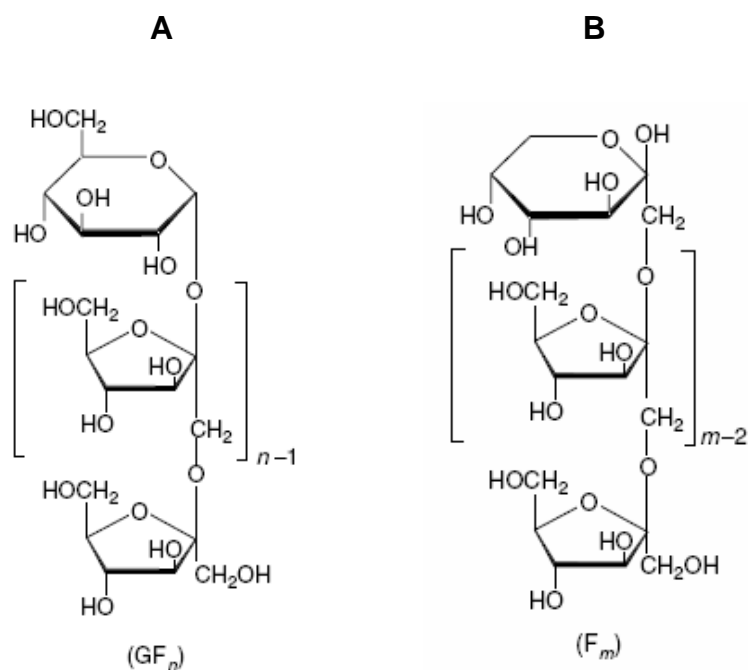


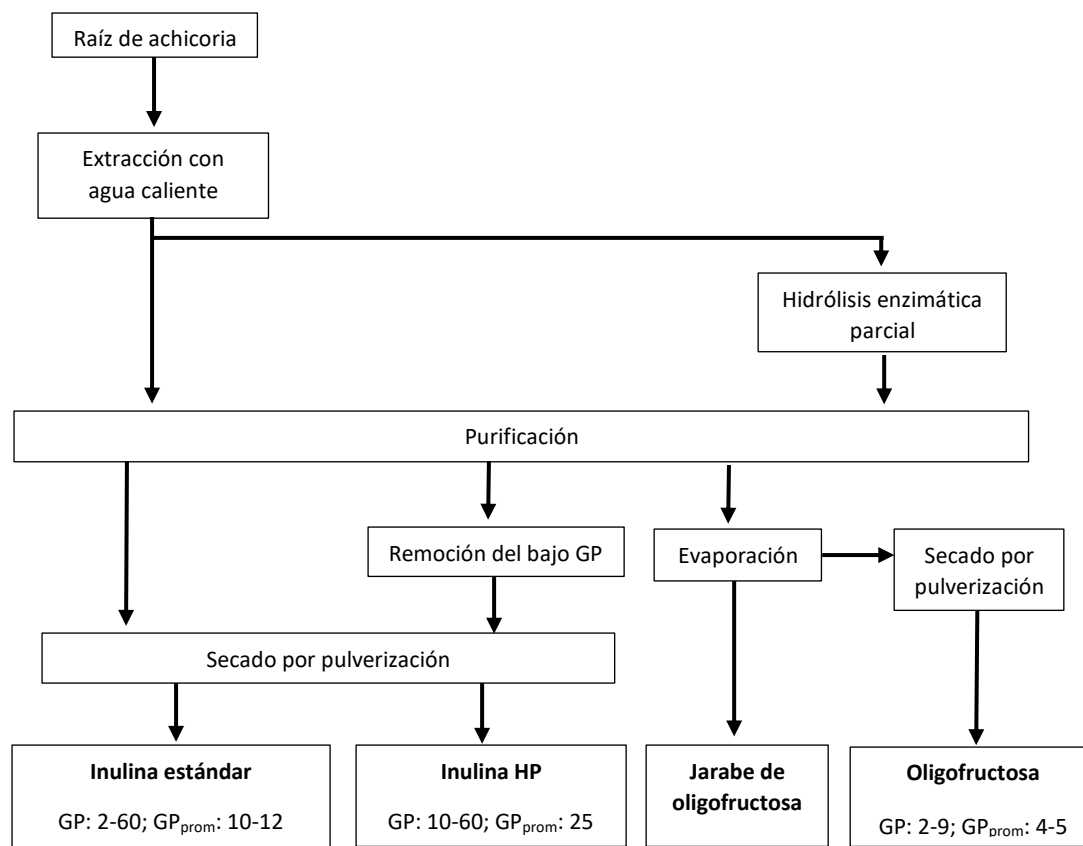
Figura 1. Estructura química de la inulina.

(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.*, 2013; 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 Polimerization) 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 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. (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 limitados 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 (Shoib *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.*, 2013). 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; Shoaib *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, 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 ponedoras 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. Otro efecto significativo fue la cantidad de ácido acético, siendo 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, rasgos 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 bajó el contenido 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 1g/día en una dieta de heno:concentrado (60%: 40%) 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 la descomposición de proteínas utilizadas por los microorganismos del rumen disminuyeron la concentración de NH₃-N, los valores de pH y la tasa de producción de AGV presentó un incremento con respecto al 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, limitando la población

de las bacterias patógenas a nivel del colon, 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 aumento la concentración de los AGV con respecto a la dieta testigo, también disminuyó el pH a las 3, 6 y 9h y se mejoró el crecimiento de lactobacilos, estreptococos. Sin embargo, el suplemento de fructo-olifgosacaridos de 3 a 6g/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 cuatro niveles de inulina (0%, 3%, 6%, 9%) en la dieta de borregos, sobre las variables de 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.
- Evaluar el comportamiento productivo, consumo de alimento, ganancia diaria de peso y conversión alimenticia.
- Determinar el espesor de la grasa dorsal.

4. HIPÓTESIS

La inclusión de inulina en la dieta de borregos mejora los parámetros de digestión, el comportamiento productivo y disminuye la cantidad de 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 programa de ganadería del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, ubicados en el km. 36.5 carretera México-Texcoco, Estado de México.

A. FASE 1. PRUEBA DE FUNCIÓN DIGESTIVA

5.2. Animales

Se utilizaron 4 ovinos machos de la raza Rambouillet con un peso inicial promedio de 68.4 kg \pm 4.5 kg, canulados de rumen y duodeno los cuales se alojaron en jaulas individuales, con cama de viruta, bebederos y comederos, se desparasitaron antes de iniciar el experimento con ivermectina (Ivomec® 0.5 mL/25 kg PV) vía subcutánea, y se aplicó (Vigantol® 4 mL). La prueba de función metabólica tuvo una duración de 71 d; de los cuales 15 d fueron de adaptación a la dieta y 56 d a los tratamientos, cambiando cada 14 d los tratamientos, de los cuales 4 d al final de cada periodo se hicieron los muestreos.

5.3. Tratamientos experimentales

La dieta fue formulada de acuerdo a los requerimientos nutricionales recomendados por la NRC (2007), y fue ofrecida con consumo restringido, dos veces al día, por la mañana (6:00 h) y tarde (18:00 h). Se realizaron 4 tratamientos: (T1) dieta testigo, (T2) dieta con 3% de inulina, (T3) dieta con 6% de inulina, (T4) dieta con 9% de inulina (cuadro 1). En la elaboración de la dieta se ocupó una mezcladora horizontal, después se incorporaron los minerales a la dieta en premezclas y la cantidad de inulina para cada uno de los tratamientos. El óxido de cromo se agregó al 0.4% de la dieta. Todos los microingredientes fueron pesados en una báscula analítica de 400g (Ohaus, Scout-Pro SP401).

Cuadro 3. Composición química e ingredientes de las dietas experimentales

	Niveles de inulina (%)			
	0	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
Oxido 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. Muestreos de recolección

La recolección de las muestras de líquido duodenal y fecal, se realizó homogéneamente en horarios de muestreo de 1.5 horas postprandial. Los muestreos distribuidos en 4 días en los 4 periodos quedaron de la manera siguiente:

Cuadro 4. Horario de muestreo (horas postprandial)

Días	Muestreos	
	1°	2°
1	550 h	1150 h
2	700 h	1300 h
3	850 h	1450 h
4	1000 h	1600 h

5.4.2. Recolección de líquido duodenal

Las muestras recolectadas de líquido duodenal fueron tomadas directas 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 1L bien identificado para cada uno de los periodos e inmediatamente fueron almacenadas en congelación.

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 colectó aproximadamente 100 g/muestreo, se almacenaron en bolsas Ziploc posteriormente se congelaron para su análisis.

5.5. Medición del pH

La extracción de líquido ruminal se hizo el primer y segundo día de muestreo con un horario de 2, 4, 6, y 8 h postprandial (después de la alimentación) con ayuda de una bomba de vacío. Se filtró aproximadamente 20 mL con una malla de poro 0.1 mm y se leyó el pH con un potenciómetro (Modelo 10 FISHER SCIENTIFIC arca) calibrado con una solución buffer pH 4 y otra solución Buffer pH 7, posteriormente con una jeringa (10 mL) se tomaron 4 mL que se depositaron en tubos de ensayo que tenían 2 mL de ácido Metafosfórico al 25%, se almacenaron en refrigeración inmediatamente.

5.6. Análisis químico de las muestras

5.6.1. Determinación de Almidón

Se pesó 100 mg de cada una de las muestras en un tubo de 50 mL (25 x 150 mm), posteriormente se adiciono 25 mL de acetato de buffer y se agregó 50 µL de enzima Thermozyne L-340 para la incubación de los tubos en un baño maría a 95° C durante 30 minutos, después se agregó 100 µL de Glucozyme L-400 para dejarlos en incubación a 60° C durante la noche, 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 a 505 nm las muestras en el espectrofotómetro (VARIAN Modelo CARY 1).

5.6.2. Determinación de purinas

Se pesó 0.5 g de las muestras y se adiciono en un tubo de cultivo, se agregó 2.5 mL de ac. Perclórico, todas las muestras se agitan con Vortex, se pone en un baño maría a 95° C por una hora, se retiran del baño maria y se adicionan 17.5 mL de 0.0285 M de buffer de fosfato de amonio, se colocaron los tubos en el baño durante 15 min, después se colocaron en un baño ultrasónico durante 15 min, se filtró la muestra 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 0.2 M de buffer de fosfato de amonio, se dejan reposar toda la noche en el refrigerador a 4° C, posteriormente se centrifugar a 6,000 rpm durante 10 min y se decanta la fase liquida, se adicionó 10 mL de ácido sulfúrico a pH 2 con nitrato de plata y nuevamente se centrifuga, se adicionó 10 mL de ácido

clorhídrico colocando en un baño a 95° C durante 30 min, nuevamente se centrifuga por 4 min, se calibró el espectrofotómetro con ácido clorhídrico y se leyó a 260 nm (UV).

5.6.3. Determinación de cromo

Se pesó 1.0 g de muestra en un crisol y se metió a 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 diluirlo 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

Se identificaron las bolsas con marcador permanente, se pesó 0.5 g de muestra y se depositó dentro de la bolsa para sellarla con calor perfectamente, 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 agregó 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 acidificó 50 mL de líquido ruminal con 1 mL de ácido clorhídrico al 50 %, se tomaron 10 mL de este y se centrifugo 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 rmp 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 microlitros en un tubo 10 mL, 1 mL de fenol y 1 mL de hipoclorito de sodio agitando los tubos de 10 mL, 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 de luz ultravioleta visible a 630 nm y se preparó un blanco con 1 mL de fenol y 1 mL de hipoclorito.

B. FASE 2. PRUEBA DE COMPORTAMIENTO

Se seleccionaron 48 corderas de la raza Hampshire x Suffolk, con un peso promedio inicial de 23.6 ± 0.5 kg, se distribuyeron homogéneamente 3 corderas por corral ($1.85 \text{ m}^2/\text{animal}$) para 4 tratamientos con 4 repeticiones. La prueba de comportamiento tuvo una duración de 73 días. Antes de iniciar el experimento, las corderas estuvieron un periodo de adaptación a dieta alta en grano por 10 días. Durante este periodo se desparasitaron con Ivermectina 1% (.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 22 días 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 con peso promedio de 29.6 ± 0.2 kg entre los tratamientos, iniciando el experimento, con el registro del peso inicial y consumo del alimento. 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 servir la dieta 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. La grasa dorsal se midió a todos los animales antes de iniciar el experimento y posteriormente al final de éste, 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 musculo (*Longissimus dorsi*) y determinar el largo y ancho.

6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

6.1. Fase 1

Se utilizó un diseño Cuadro Latino 4x4. Se evaluaron los 4 tratamientos de inulina. Los resultados fueron analizados con el procedimiento GLM del programa 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

Se utilizó un diseño factorial con 4 repeticiones (corral) por tratamiento y cuatro tratamientos. Los datos de consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia, y pH se analizaron utilizando el procedimiento MIXED del programa estadístico (SAS 2002). Se utilizaron contrastes polinomiales para probar la diferencias entre el grupo testigo (sin inulina) y los grupos con inulina. Los efectos lineales, cuadráticos o cúbicos, con los niveles de inulina de los tratamientos.

El modelo estadístico es:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{(ij)} + \varepsilon_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta en la repetición k , nivel j de b , nivel i de A

μ = Media general

A_i = Efecto del factor A al nivel i

B_j = Efecto del factor B al nivel j

$(AB)_{(ij)}$ = Efecto de la interacción AB al nivel i, j

ε_{ijk} = Error aleatorio

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fase 1

Fase 2. Prueba de Comportamiento productivo

Los resultados de las ganancias diarias de peso (GDP) en la prueba de comportamiento se presentan en el Cuadro 6. 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 (0-42d) no mostraron diferencias significativas ($P > 0.05$). Terneros alimentados con $6\text{g}^{-\text{d}}$ de inulina mejoraron la GDP de $572\text{g}^{-\text{d}}$ comparado con las dosis de $3\text{g}^{-\text{d}}$ que fue de $479\text{g}^{-\text{d}}$ y $552\text{g}^{-\text{d}}$ 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 $7.5\text{-}15\text{g}^{-\text{kg}}$ 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 de cerdos, cuando se usan dosis en la dieta de 6% (Kjos *et al.* 2010). El efecto de los fructooligosacáridos en cerdos varía según la dosis usada, Grand *et al.* (2013) investigaron que una dosis óptima de fructooligosacáridos (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 5. Ganancia diaria de peso

DIAS	Nivel de inulina %				EEM	LINEAL	CUADRATICO	TESTIGO VS T2, T3, T4
	0	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

El CMS en la dieta de las corderas con la adición de inulina se presenta en el Cuadro 7. No hubo diferencias significativas ($P>0.05$) 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 1.45 kg/día, 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 1.3 kg/animal/d, con dietas integrales. Los ingredientes usados fueron similares (sin la suplementación de inulina) a la dieta de nuestro experimento, coincidiendo con las recomendaciones de la NRC (2007), lo que explica que la PC debe oscilar de 15 - 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 6. Consumo de alimento

DIAS	Nivel de inulina %				EEM	LINEAL	CUADRATICO	TESTIGO VS T2, T3, T4
	0	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

Los resultados de CA se presentan en el Cuadro 8. La adición de inulina en la dieta para corderas en los periodos de 14-28 y 0-28d días disminuyó ($p < 0.05$) linealmente la CA. Similarmente en terneros, usando dosis de 3 y 6 g/d de 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 7. Conversión alimenticia

DIAS	Nivel de inulina %				EEM	LINEAL	CUADRATICO	TESTIGO VS T2, T3, T4
	0	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

La medición de la grasa se presenta en el Cuadro 9. Inicialmente el espesor y área de la grasa en las corderas no presentó diferencias. Considerando 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 lineal con los niveles de inulina y también hubo diferencias entre GT vs. GI. 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 musculo *Longissimus dorsi* no hubo diferencia significativa ($P > 0.05$) 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 musculo, por lo tanto la dieta influyó en esta variable (Aluwé et al., 2013)

Cuadro 8. Medición de grasa en mm

variable	Nivel de inulina %				EEM	LINEAL	CUADRATICO	TESTIGO VS T2, T3, T4
	0	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
AREA INICIAL	823.3	837.6	821.3	872.9	13146.90	0.378	0.576	0.594
AREA 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 se presentó variaciones en las variables ruminales estudiadas, tales como su digestibilidad por el tracto digestivo de las corderas. Excepto la materia orgánica de las heces fecales que a mayor concentración de inulina incrementa la cantidad de excreción. Sin embargo, en la prueba de comportamiento se redujo la ganancia diaria de peso en el periodo de 14-28 d en dietas que contenían mayor proporción de inulina (9%), también la conversión alimenticia fue mayor, por otro lado el espesor de grasa dorsal al final del experimento fue más bajo en las dietas de mayor porcentaje de inulina.

Por lo anterior es necesario realizar más investigaciones con inulina en la dieta de corderos para verificar los datos obtenidos en este estudio considerando diferentes fuentes de inulina, el grado de polimerización, y la duración del experimento.

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.
- Barszcz, M., M. Taciak, A. Tuśnio, E. Świąch, 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.
- Buclaw, 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.
- 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 EVALUACION 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 SYNBIOTICS 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.
- 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>.
- Liu, Haoyu, Emma Ivarsson, Johan Dicksved, Torbjörn Lundh, y Jan Erik Lindberg. 2012. "Inclusion of Chicory (*Cichorium intybus* L.) in Pigs' Diets Affects the Intestinal Microenvironment and the Gut Microbiota". *Applied and Environmental Microbiology* 78 (12): 4102–9. doi:10.1128/AEM.07702-11.
- 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*. 中国法制出版社.
- 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.
- . 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.
- Pen, B., K. Takaura, S. Yamaguchi, R. Asa, y J. Takahashi. 2007. "Effects of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* with or without β 1–4 galactooligosaccharides on ruminal fermentation, methane production and nitrogen utilization in sheep". *Animal Feed Science and Technology* 138 (1): 75–88. doi:10.1016/j.anifeedsci.2006.11.018.

- 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.
- Rehman, H., P. Hellweg, D. Taras, y J. Zentek. 2008. "Effects of Dietary Inulin on the Intestinal Short Chain Fatty Acids and Microbial Ecology in Broiler Chickens as Revealed by Denaturing Gradient Gel Electrophoresis". *Poultry Science* 87 (4): 783–89. doi:10.3382/ps.2007-00271.
- Roberfroid, Marcel B. 1999. "Concepts in Functional Foods: The Case of Inulin and Oligofructose". *The Journal of Nutrition* 129 (7): 1398S–1401s.
- . 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

- crucía 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 DE". 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.
- Yasuda, Koji, Roberto Maiorano, Ross M. Welch, Dennis D. Miller, y Xin Gen Lei. 2007. "Cecum Is the Major Degradation Site of Ingested Inulin in Young Pigs". *The Journal of Nutrition* 137 (11): 2399–2404.