



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Medicina Veterinaria

Efecto de la fibra insoluble y soluble en las células caliciformes productoras de mucinas en cuyes post destete

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Médica Veterinaria

AUTOR:

Alejandra Estefania Guevara Zari

DIRECTOR:

Dr. Rodrigo Medardo Abad Guamán, PhD.

Loja – Ecuador

2024



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Sistema de Información Académico
Administrativo y Financiero - SIAAF

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, **Abad Guaman Rodrigo Medardo**, director del Trabajo de Integración Curricular denominado **Efecto de la fibra insoluble y soluble en las células calciformes productoras de mucinas en cuyes post destete**, perteneciente al estudiante **ALEJANDRA ESTEFANIA GUEVARA ZARI**, con cédula de identidad N° **1105654568**.

Certifico:

Que luego de haber dirigido el **Trabajo de Integración Curricular**, habiendo realizado una revisión exhaustiva para prevenir y eliminar cualquier forma de plagio, garantizando la debida honestidad académica, se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, e/la señor/a docente de la asignatura de **Integración Curricular**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Integración Curricular del mencionado estudiante.

Loja, 27 de Febrero de 2024



RODRIGO MEDARDO
ABAD GUAMAN

F)

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR



Certificado TIC/TT.: UNL-2024-000292

Autoría

Yo, **Alejandra Estefania Guevara Zari**, declaro ser autora del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma: _____



Cédula de identidad: 1105654568

Fecha: 21/05/2024

Correo electrónico: alejandra.e.guevara@unl.edu.ec

Teléfono: 0983861757

Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo del Trabajo de Integración Curricular

Yo, **Alejandra Estefania Guevara Zari**, declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Efecto de la fibra insoluble y soluble en las células caliciformes productoras de mucinas en cuyes post destete**, como requisito para optar por el título de **Médica Veterinaria**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los veintiún días del mes de mayo de dos mil veinticuatro.

Firma: _____



Autora: Alejandra Estefania Guevara Zari

Cédula: 1105654568

Dirección: Catamayo, Calle sucre y 12 de octubre

Correo electrónico: alejandra.e.guevara@unl.edu.ec

Teléfono: 0983861757

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular: Dr. Rodrigo Medardo Abad Guamán PhD

Dedicatoria

Dedico este trabajo de integración curricular a mis abuelos, Carlota y Alejandro por su amor incondicional a lo largo de toda mi vida y de manera especial a mi abuela, por confiar siempre en mí y por su apoyo constante en todas las decisiones que he tomado. Gracias por creer en mí y alentarme a cumplir mis sueños.

A mi pequeña Luna, mi fiel compañera perruna por acompañarme en mis noches de estudio y ser mi rayo de luz en los momentos más oscuros de este arduo camino. Eres mi bebé de cuatro patas y estaré eternamente agradecida por el inmenso regalo que es tu compañía.

A Marlon Alexander por su comprensión, paciencia y por ser mi compañero inseparable en este trayecto. Gracias por tu amor y por impulsarme a ser mejor cada día.

A mis padres, que, aunque no pudieron presenciar este camino, sus expresiones de estímulo y motivación me brindaron la fortaleza necesaria para perseverar.

Para ustedes con el más grande amor

Alejandra Estefania Guevara Zari

Agradecimiento

Agradezco a Dios por ser mi guía y brindarme la perseverancia necesaria para culminar este importante logro académico. A mi querida Alma Máter, por recibirme y contribuir en mi formación académica.

Mi profunda gratitud también a mi director, Dr. Rodrigo Medardo Abad Guamán, por su valiosa guía, paciencia y aportes invaluable durante todo el proceso de investigación y redacción de este trabajo de integración curricular. A la Dra. Rocío Herrera por el arduo apoyo durante el desarrollo de la fase de campo de este proyecto, así como a todos los docentes que conforman el grupo de investigación CIDIÑA, Dr. Galo Escudero, Dr. Luis Aguirre y la Ing. Beatriz Guerrero.

A mis amigos del colegio por su apoyo con palabras de aliento y ánimo. Así mismo, a mis amigos de la universidad, Camila, Eduardo, Saida y Karla, y a mi grupo de investigación de CIDIÑA, quienes fueron un apoyo importante para la culminación de este trabajo.

Finalmente, agradezco infinitamente a mi familia, en particular a mi abuela, por su amor, sacrificio y esfuerzo para brindarme la oportunidad de alcanzar esta meta. Sin su respaldo emocional y económico, nada de esto hubiera sido posible.

Alejandra Estefania Guevara Zari

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación.....	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización.....	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras	x
Índice de anexos	xi
1. Título	1
2. Resumen.....	2
Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	6
4.1. Fibra Dietética y su Importancia en la Nutrición Animal.....	6
4.1.1. Definición y Tipos de Fibra Dietética (Soluble e Insoluble).....	6
4.1.2. Función de la Fibra en la Digestión y Salud Intestinal	7
4.1.3. Relevancia de la Fibra en la Dieta de Cuyes	8
4.2. Células Caliciformes y su Importancia.....	9
4.2.1. Descripción de las Células Caliciformes	9
4.2.2. Tipos de Células Caliciformes: Neutras y Ácidas (Sulfomucinas y Sialomucinas)	10
4.2.3. Funciones de las Células Caliciformes en la Mucosa Intestinal	12
4.3. Fibra Soluble y su Influencia.....	14
4.3.1. Efectos de la Fibra Soluble en la Salud Intestinal	14
4.3.2. Cambios en la Población de Células Caliciformes Ácidas y Neutras debido a la Fibra Soluble	16

4.3.3. <i>Investigaciones Previas Relacionadas con la Fibra Soluble en Cuyes</i>	17
4.4. Fibra Insoluble y su Influencia	18
4.4.1. <i>Impacto de la Fibra Insoluble en la Salud Intestinal</i>	18
4.4.2. <i>Alteraciones en la Población de Células Caliciformes Ácidas y Neutras debido a la Fibra Insoluble</i>	19
4.4.3. <i>Estudios Previos Relacionados con la Fibra Insoluble en Cuyes</i>	19
4.5. Interacciones entre la Fibra Soluble e Insoluble	20
4.5.1. <i>Efectos Combinados en las Células Caliciformes Ácidas y Neutras</i>	20
4.5.2. <i>Investigaciones Previas sobre estas Interacciones</i>	21
5. Metodología	22
5.1. Ubicación	22
5.2. Unidades Experimentales	23
5.3. Dietas Experimentales	23
5.4. Diseño de Investigación	24
5.5. Toma de Muestras	25
5.6. Análisis de las Muestras	25
5.7. Análisis de los Resultados	25
6. Resultados	26
7. Discusión	29
8. Conclusiones	32
9. Recomendaciones	33
10. Bibliografía	34
11. Anexos	39

Índice de tablas

Tabla 1. Número de células caliciformes en diferentes especies animales	11
Tabla 2. Propiedades funcionales de las mucinas producidas por las células caliciformes	14
Tabla 3. Ingredientes y composición química de las dietas experimentales con diferentes niveles de fibra insoluble y soluble.	23
Tabla 4. Efecto del nivel de fibra soluble e insoluble sobre el número de células caliciformes por vellosidad y cripta en el intestino medio delgado de cuyes post destete.	26

Índice de figuras

Figura 1. Efecto de la inclusión de fibra soluble (pectina) sobre la absorción de glucosa y ácido linoleico en ratas.....	16
Figura 2. Efecto de la inclusión de diferentes fuentes de fibra sobre la digestibilidad aparente de materia seca y proteína (%).	18
Figura 3. Efecto de diferentes niveles de fibra soluble e insoluble sobre las células caliciformes en conejos de 39 días.....	20
Figura 4. Ubicación de la Quinta Experimental Punzara y el Centro de Investigación Desarrollo Innovación de Nutrición Animal (CIDiNA).....	22
Figura 5. Promedio del recuento de células caliciformes/villi bajo la influencia de diferentes niveles de inclusión de fibra soluble e insoluble.....	27
Figura 6. Promedio del recuento de células caliciformes/cripta bajo la influencia de diferentes niveles de inclusión de fibra soluble e insoluble.....	28

Índice de anexos

Anexo 1. Limpieza y adecuación de instalaciones.....	39
Anexo 2. Elaboración de las dietas experimentales	39
Anexo 3. Unidades experimentales distribuidas en los tratamientos.....	40
Anexo 4. Recolección de muestras de la porción media del intestino (yeyuno) de cuyes	40
Anexo 5. Lectura de las placas histológicas y conteo de células caliciformes	41
Anexo 6. Certificación de traducción de inglés	42

1. Título

Efecto de la fibra insoluble y soluble en las células caliciformes productoras de mucinas en cuyes post destete

2. Resumen

La fibra dietética es crucial para la salud intestinal y la función de las células caliciformes productoras de mucinas que protegen el epitelio intestinal. Esta investigación evaluó los efectos de fibra dietética soluble e insoluble sobre dichas células en cuyes post destete. Para ello, se seleccionaron 32 cuyes destetados Tipo A1 de 15 días, distribuidos aleatoriamente en cuatro tratamientos formulados con diferentes niveles de fibra soluble (FS) e insoluble (FI). La dieta 1 baja en FS (4,48%) y FI (29%); la dieta 2 alta en FS (12%) y baja FI (28,0 %); la dieta 3 baja en FS (6,52%) y alta FI (35,5%); y la dieta 4 con alta FS (12,0%) y FI (35,8%). Los animales fueron alimentados con las dietas durante 10 días y posteriormente se tomaron muestras de yeyuno. Mediante técnicas histológicas e histoquímicas se determinó el número de células caliciformes con mucinas ácidas (Alcián Blue pH 2,5) y con mucinas neutras (Periodic Acid-Schiff) en criptas y vellosidades intestinales. El número de células caliciformes ácidas y neutras fue mayor en las dietas que contenían altos niveles de fibra insoluble, la cual tuvo un efecto significativo en el aumento del número de células caliciformes con mucinas neutras en las criptas intestinales ($p = 0,0100$). Por el contrario, el incremento del nivel de fibra soluble mostró una tendencia ($p = 0,100$) a reducir el número de estas células en cripta. No se detectó diferencia significativa en el efecto de fibra soluble e insoluble, y su interacción sobre las mucinas ácidas.

Palabras clave: *Cavia porcellus*, *moco intestinal*, *vellosidades*, *criptas*, *mucinas ácidas*, *mucinas neutras*.

Abstract

Dietary fiber is crucial for intestinal health and the function of mucin-producing goblet cells that protect the intestinal epithelium. This research evaluated the effects of soluble and insoluble dietetic fiber on these cells in post-weaning guinea pigs. For this purpose, we randomly distributed 32 15-day-old Type A1 weaned guinea pigs in four treatments formulated with different degrees of soluble fiber (SF) and insoluble fiber (IF). Diet 1 was low in SF (4.48%) and IF (29%); Diet 2 was high in SF (12%) and low in IF (28.0%); Diet 3 was low in SF (6.52%) and high in IF (35.5%); and diet 4 with high SF (12.0%) and IF (35.8%). We fed the animals with the diets for ten days and subsequently took jejunum samples. Using histological and histochemical techniques, we determined the number of goblet cells with acid mucins (Alcian Blue pH 2.5) and neutral mucins (Periodic Acid-Schiff) in crypts and intestinal villi. The number of acidic and neutral goblet cells was higher in diets containing high levels of insoluble fiber, which influenced an increase in the number of goblet cells with neutral mucins in intestinal crypts ($p = 0.0100$). In contrast, increasing the level of soluble fiber showed a tendency ($p = 0.100$) to reduce the number of these cells in crypts. We detected no significant difference in the effect of soluble and insoluble fiber and their interaction on acid mucins.

Keywords: *Cavia porcellus*, *intestinal mucus*, *villi*, *crypts*, *acid mucins*, *neutral mucins*

3. Introducción

La dieta tiene una influencia significativa sobre la salud intestinal de los animales influyendo en la proliferación de bacterias perjudiciales o beneficiosas. La fibra dietética (FD) particularmente desempeña un papel crucial en este contexto, ya que se trata de una variedad de componentes con distintas propiedades fisicoquímicas y efectos fisiológicos que se caracterizan por su capacidad de resistir la hidrólisis provocada por las enzimas digestivas en animales no rumiantes, convirtiéndose así en los principales sustratos aprovechables para la fermentación bacteriana en la sección distal del intestino (Montagne et al., 2003a).

La compleja interacción entre la fibra dietética y la salud gastrointestinal es un tema de suma importancia. Se ha propuesto que la deficiencia de fibra dietética en la alimentación animal guarda correlación con una alta incidencia de enfermedades y mortalidad, generando pérdidas económicas significativas para los productores. Adicionalmente, se observa una reducción en el tamaño de los órganos intestinales y alteraciones en la morfología del epitelio, con repercusiones directas en las funciones hidrolíticas y en la absorción de nutrientes (Beukema et al., 2020). Si bien este tema se ha investigado ampliamente en otras especies de monogástricos como pollos, cerdos y conejos, la información es escasa en cuyes, lo que hace necesario el estudio en esta especie.

Así mismo, es fundamental el conocimiento sobre la influencia de la fibra dietética en el cuy como fermentador postgástrico y su efecto sobre las células caliciformes, las cuales asumen un papel de liderazgo en el control de la función inmunológica intestinal por su capacidad de producción de mucina, un tipo de proteína responsable de evitar que los patógenos y antígenos potenciales accedan al epitelio intestinal (Makki et al., 2018). Esta particularidad resalta la importancia de que este tema sea estudiado y especificado, especialmente en la etapa de post destete donde los animales son más susceptibles al desarrollo de enfermedades. Por lo tanto, es importante establecer una estrategia disponible para promover el crecimiento mejorando la salud intestinal, ya que el mucus intestinal también se ve afectado durante el destete, con estudios que demuestran una disminución transitoria en las células caliciformes productoras de mucinas (Zapata et al., 2014).

Además, esta investigación permitirá brindar nuevas alternativas a los productores para el desarrollo de programas de alimentación que permitan aprovechar materias primas ricas en fibra dietética, lo que contribuirá a optimizar los rendimientos productivos, promover la salud intestinal de los cuyes y reducir la dependencia de aditivos que puedan alterar el equilibrio de la microbiota intestinal y ocasionar trastornos gastrointestinales, mejorando así la rentabilidad de la crianza.

Un aspecto notable de estudios previos es el aumento significativo en el número de células caliciformes productoras de mucina en presencia de fibras solubles e insolubles como la carboximetilcelulosa, la fibra de papa y el almidón resistente de la papa (Ito et al., 2009). En ratas se ha reportado que la fibra soluble incrementa tanto la altura de las vellosidades intestinales como la cantidad de células caliciformes ácidas que generan sialomucinas, al tiempo que mantiene invariable la cantidad de células caliciformes productoras de sulfomucinas en el intestino delgado (Satchithanandam et al., 1990).

Es por ello que en el presente trabajo se propuso evaluar los efectos de fibra dietética soluble e insoluble sobre las células caliciformes productoras de mucinas en cuyes durante el periodo de post destete. Para lo cual se establecieron los siguientes objetivos específicos:

- Determinar el efecto de la fibra dietética soluble e insoluble en la cantidad de células caliciformes productoras de mucinas neutras.
- Establecer si la fibra soluble e insoluble ejerce efectos sobre las células caliciformes productoras de mucina ácidas.

Las repercusiones derivadas de esta investigación ofrecen una mejor comprensión de cómo las intervenciones dietéticas dan forma al entorno gastrointestinal e influyen en los procesos celulares relacionados a la inmunidad de los animales, lo cual tiene implicaciones significativas para el desarrollo de estrategias nutricionales específicas.

4. Marco Teórico

4.1. Fibra Dietética y su Importancia en la Nutrición Animal

4.1.1. Definición y Tipos de Fibra Dietética (Soluble e Insoluble)

La definición de fibra dietética se refiere a una fracción heterogénea de polisacáridos ingeridos a través de la dieta y cuyos componentes y estructuras tienen la capacidad de resistir la actividad enzimática en el tracto gastrointestinal (Savón, 2002).

Asimismo, se puede definir la fibra como ligninas y polisacáridos no amiláceos (NSP) provenientes de la pared celular de las plantas. Estos componentes tienen un impacto significativo en las funciones fisiológicas del intestino, ya que no solo proporcionan valor nutricional a los animales a través de la energía derivada de su fermentación, sino que también contribuyen de manera indirecta a mejorar la salud intestinal y fortalecer la función inmune (Jha et al., 2019)

La fibra presente en los alimentos puede clasificarse en base a su digestión en el intestino como moderadamente digeribles donde se agrupa a los β glucanos, pectinas y hemicelulosas, y a la lignina y celulosa como pobremente digeribles y lentamente fermentables en el ciego del conejo, aunque, la lignina es considerada completamente indigerible tanto en monogástricos como poligástricos (Gidene, 2016). En base a la disposición química de sus elementos, la fibra dietética puede clasificarse como almidones resistentes (RS) y polisacáridos no digeribles solubles e insolubles (Zhang, 2022).

Los almidones están constituidos por dos tipos de alfa-glucanos, la amilosa α -(1-4) y la amilopectina α -(1-6), que son fácilmente susceptibles a la actividad enzimática de la α -amilasa salival y la pancreática en el intestino delgado, sin embargo, la hidrólisis no es total, y existen formas de almidón denominados resistentes (RS) que evaden la digestión en el intestino delgado. Por otra parte, dentro del grupo de polisacáridos no digeribles se encuentra la celulosa, pectinas, β -glucanos, pentosanos y xilanos que se caracterizan de manera especial porque ninguno puede ser hidrolizado por la actividad enzimática de los monogástricos, de modo que gran proporción de ellos pasan intactos por el intestino delgado y son finalmente fermentados en el intestino grueso (ciego) por actividad de la microbiota comensal (Montagne et al., 2003).

De esta manera, se puede realizar una clasificación de la fibra en dos tipos basándose en una característica distintiva, como lo es la solubilidad. De este modo, se agrupan a los β glucanos, pectinas, gomas, mucílagos y hemicelulosas solubles como fibras dietéticas solubles (FDS), debido a su capacidad de incrementar la viscosidad de la digesta intestinal, ralentizando

la digestión. Por otro lado, la celulosa, lignina y hemicelulosa insoluble son agrupadas como fibras dietéticas insolubles (FDI), las cuales poseen la capacidad de regular el tránsito intestinal (Savón, 2002).

La importancia de la fibra en la nutrición animal se debe por tanto a sus efectos dietéticos sobre la ingesta de alimento, la velocidad de tránsito, la funcionalidad de la mucosa y su papel como sustrato para la microbiota intestinal. Por tanto, la implementación de fibra en la dieta de los animales no sólo nos permite optimizar la producción sino también fortalecer la salud digestiva y prevenir diversas patologías asociadas a dietas desequilibradas o a la presencia de agentes patógenos que tratan de instaurarse y proliferar en el intestino (Montagne et al., 2003). No obstante, debe considerarse que la cantidad y el tipo de fibra necesaria varía en función de la especie y las necesidades específicas de cada animal.

4.1.2. Función de la Fibra en la Digestión y Salud Intestinal

El concepto de salud intestinal carece de una definición clara científicamente, no obstante, ha sido relacionada con un conjunto de características fisiológicas y funcionales involucradas en los procesos de digestión y absorción de sustancias nutritivas, el metabolismo, la generación de energía, el mantenimiento de una microbiota entérica normal y estable, y la activación de mecanismos inmunitarios de la mucosa para responder a los desafíos a los que está expuesta (Pluske et al., 2018).

Sin embargo, existen muchos factores involucrados en el mantenimiento de la salud intestinal, Bischoff (2011) considera que la salud intestinal está relacionada directamente al funcionamiento e interacción de dos entidades funcionales, la barrera gastrointestinal (GI) y la microbiota, de manera que cualquier daño en esta capa protectora puede incrementar la probabilidad de desarrollar enfermedades gastrointestinales. Conway (1994) señala que la salud intestinal está relacionada con un equilibrio entre la dieta, la mucosa intestinal y la microbiota comensal, de modo que cualquier componente implementado en la dieta debe tener la capacidad de mantener este equilibrio.

Los alimentos incluidos en las dietas de los animales no solo proporcionan nutrientes necesarios para el funcionamiento de su organismo, sino también sustratos importantes que modulan y apoyan el desarrollo de las comunidades microbianas simbióticas que colonizan el tracto gastrointestinal, denominada microbiota intestinal (Zhang, 2022). La fibra, por tanto, representa un sustrato aprovechable capaz de proporcionar beneficios nutricionales directos a

los animales a través de la generación de energía y contribuir de manera indirecta a mejorar la salud intestinal y la función inmunológica (Jha et al., 2019).

Por tal motivo, la microbiota intestinal junto con la fibra proporcionada a través de la dieta, constituyen dos componentes importantes para mantener la estructura intacta y la producción normal del moco intestinal, que resulta fundamental para la salud intestinal (Makki et al., 2018). Esta función se debe a la relación existente entre el consumo de fibra dietética y la fermentación microbiana a nivel intestinal que da como resultado la formación de ácidos grasos de cadena corta (AGCC's) predominantemente acetato, propionato, butirato, lactato y succinato, así como agua y gases (dióxido de carbono, hidrógeno y metano) (Montagne et al., 2003). Tanto el acetato como el butirato contribuyen a mantener el equilibrio en la producción y secreción de moco, y promueven la diferenciación de células caliciformes y la expresión de genes asociados con la mucina (Makki et al., 2018).

Así mismo, la presencia de microbiota intestinal comensal favorece el desarrollo de las microvellosidades intestinales y desempeña un rol importante en la maduración de respuestas inmunológicas innatas y adaptativas del huésped ya que regulan la expresión de los genes que codifican la mucina (*MUC-2*, *MUC-3*) modificando su patrón de glicosilación, así como la producción de péptidos antimicrobianos, de modo que termina contribuyendo a regular la adhesión, colonización e invasión microbiana (Álvarez et al., 2021).

4.1.3. Relevancia de la Fibra en la Dieta de Cuyes

El cuy se caracteriza por poseer una estructura digestiva que incluye un estómago simple pero con un voluminoso ciego que le permite degradar la fibra consumida a través de los alimentos, incluso más eficientemente que otras especies como los conejos, hámster o ratas; esta característica se debe a que es un animal fermentador post-gástrico que exhibe un mecanismo de separación colónica (CSM) conocido como “trampa de moco” que se caracteriza por pliegues mucosos que atrapan el moco y las bacterias del colon, y las devuelven al ciego mediante movimientos antiperistálticos en el fondo del surco. Además, el material nutritivo se transporta de regreso al ciego para una mayor fermentación y aquellos no nutritivos, se excretan (Grant, 2014) .

Los cuyes han evolucionado para vivir en ambientes donde la fibra es una parte importante de la dieta. Esta adaptación evolutiva les ha permitido desarrollar un tracto gastrointestinal eficiente que alberga una microbiota intestinal diversa, compuesta por bacterias y otros microorganismos como *Lactobacillus spp*, coliformes, levaduras y *Clostridium spp*. Es

notable que el cuy es uno de los pocos herbívoros que naturalmente transporta *Lactobacillus spp* en su tracto gastrointestinal, subrayando así su singularidad en el reino animal. Esta característica posibilita que estos microorganismos produzcan enzimas capaces de descomponer la fibra en componentes más pequeños, los cuales pueden ser absorbidos con mayor eficacia. Este proceso permite que la fibra sea digerida de manera más efectiva, especialmente, cuando las bacterias se eliminan de manera más gradual y menos completa en un colon de mayor tamaño (Grant, 2014).

La producción de AGCC derivados de la fermentación de la fibra dietética en el ciego de los cuyes, también promueven la integridad del epitelio intestinal al inducir a las células caliciformes a aumentar la producción de una sustancia glicoproteica conocida como mucina y a los enterocitos a secretar IL-18, un tipo de citoquina de gran importancia para la reparación epitelial, de modo que el consumo de dietas con bajo contenido de fibra dietaria puede afectar el balance de los AGCC producidos y afectar la función de fortalecimiento de la barrera intestinal (Zhang, 2022).

Según lo señalado por Usca et al. (2022) establecen que el requisito de fibra para cuyes durante el período de gestación y lactancia es del 8 al 17 %, mientras que durante el crecimiento se sitúa en torno al 10 %. Sin embargo, los concentrados empleados en la alimentación de cuyes exhiben porcentajes de fibra que oscilan entre el 5 % y el 18 %, y en situaciones que involucran animales de laboratorio, se señala la necesidad de incrementar el porcentaje de fibra en la dieta (Chauca de Zaldívar, 1997).

Por otra parte, se propone que el contenido de fibra en la dieta de cuyes debe igualar o superar el 15 %. No obstante, se considera beneficioso para la salud intestinal una dieta cercana al 30 %-35 % de fibra detergente ácida (FDA) y fibra cruda (Grant, 2014). La fibra dietética además de contribuir a conservar las poblaciones habituales de la microbiota intestinal, también puede promover una mayor motilidad intestinal, a mantener el pH del ciego y mejor integridad intestinal (Febres López, 2023).

4.2. Células Caliciformes y su Importancia

4.2.1. Descripción de las Células Caliciformes

Las células caliciformes son células especializadas que se encuentran en el revestimiento del tracto gastrointestinal distribuidas entre las células absortivas y se caracterizan por contener gránulos mucígenos en la región apical que son liberados sobre la glucocálix del epitelio superficial del intestino. Cuando estos gránulos entran en contacto con

los líquidos presentes en la luz intestinal, experimentan hidratación y se transforman en mucina. Finalmente, este compuesto, conocido como moco intestinal emerge en la superficie formando una capa protectora gelatinosa que contribuye a la lubricación del revestimiento intestinal y a su protección manteniendo a las bacterias separadas de la superficie mucosa (Junqueira & Carneiro, 2006).

Las células caliciformes adquieren su denominación debido a su apariencia similar a una copa y esta característica se atribuye a la disposición de su núcleo en la porción basal y porque en la porción media, las células experimentan un proceso de ensanchamiento seguido de contracción, dando lugar a la formación de un poro apical a través del cual se expulsa el moco. Además, las células caliciformes tienen un periodo de vida corto, ya que una vez que liberan el mucinógeno, experimentan apoptosis y descamación; no obstante, se renuevan continuamente a partir de células madre localizadas en la base de la cripta. El recambio celular normal es de entre 3 y 7 días (Dao & Le, 2023).

4.2.2. Tipos de Células Caliciformes: Neutras y Ácidas (Sulfomucinas y Sialomucinas)

Las células caliciformes sintetizan mucinas, una familia de glicoproteínas poliméricas de alto peso molecular conformada por 13 miembros, de los cuales diez se localizan en el tracto gastrointestinal representando el componente principal de la capa mucosa. Las mucinas se clasifican en tres subfamilias: mucinas secretadas formadoras de gel, mucinas de la superficie celular y mucinas secretadas no formadoras de gel y las que se encuentran asociadas a membranas (Montagne et al., 2004).

Las mucinas secretadas formadoras de gel se caracterizan ser el principal componente del moco debido a su capacidad para formar geles viscoelásticos, atribuible a la alta proporción de carbohidratos unidos al O. Este tipo de mucinas presentan dominios ricos en cisteína en sus terminales N y C, los cuales participan en el proceso de homo-oligomerización medida por enlaces disulfuro intermoleculares. Mientras que, las mucinas de la superficie celular poseen propiedades adicionales como ser componentes activos de la membrana apical de todas las células epiteliales de la mucosa y por contener grandes dominios constituidos por un número variable de aminoácidos que se repiten en tándem (Linden et al., 2008).

La expresión de mucinas de la superficie celular y formadoras de gel puede ser positivamente regulada por citocinas inflamatorias tales como la interleucina (IL)-1 β , IL-4, IL-6, IL-9, IL-13, interferones, factor de necrosis tumoral- α , ácido nítrico y otros factores inflamatorios no caracterizados. Un vínculo entre las mucinas, la inmunidad innata de las

mucosas y las respuestas inflamatorias de las mucosas es proporcionado por la capacidad de respuesta a estas citocinas (Linden et al., 2008).

Cada proteína de mucina está constituida químicamente por subunidades que poseen un dominio central rico en aminoácidos como serina, treonina, prolina, alanina y glicina, y por dos péptidos terminales N y C, los cuales contienen cisteína. Los residuos de treonina y serina particularmente proporcionan sitios de unión para las cadenas de oligosacáridos. Esta densa variedad de carbohidratos unidos por O representan alrededor del 80 % del peso total de la mucina (Montagne et al., 2004).

Las mucinas se encuentran constituidas comúnmente por cinco oligosacáridos diferentes: N-acetilgalactosamina, N-acetilglucosamina, galactosa, fucosa y ácidos siálicos (Montagne et al., 2004). Por tanto, en base a la configuración de monosacáridos en la estructura química de la mucina, es posible clasificarla en dos subtipos: neutros y ácidos. Esta última categoría se subdivide aún más en sulfomucinas y sialomucinas, dependiendo de la presencia de grupos sulfato o ácido siálico terminal en la cadena de oligosacáridos (Croix et al., 2011). Su identificación se realiza a través de la reacción PAS para mucinas neutras y por tinción azul alcian para mucinas ácidas (Chende et al., 2023).

Las mucinas neutras representan el subtipo principal detectado en la mucosa gástrica. Por el contrario, las mucinas ácidas, se manifiestan en todo el epitelio intestinal, siendo predominantes en el intestino grueso. Normalmente, las mucinas del colon están altamente sulfatadas y generalmente se considera que son más resistentes a la degradación bacteriana. El subtipo de mucina y la distribución de las células caliciformes experimentan variaciones a lo largo del tracto gastrointestinal y durante el desarrollo posnatal. Se ha reportado que las mucinas ácidas son predominantes durante toda la vida fetal y en condiciones normales, la población de mucina neutra es inferior que la de mucinas ácidas (Deplancke & Gaskins, 2001).

Las sulfomucinas parecen predominar en el intestino delgado del cobayo, excepto en las vellosidades ileales, mientras que en las criptas del ileon terminal la cantidad de sulfomucinas es superior al de sialomucinas, encontrándose estas últimas en mínimas cantidades (Sheahan & Jervis, 1976).

Tabla 1. Número de células caliciformes en diferentes especies animales

Especie	Región del TGI	Promedio de células caliciformes	Mucinas neutras	Mucinas ácidas
<i>Cavia porcellus</i> ¹	Duodeno	5,6		

	Yeyuno	2,89		
	Ileon	5,11		
<i>Acomys spinosissimus</i> ²	Duodeno		11,48	1,45
	Yeyuno		5,01	3,39
<i>Crocidura cyanea</i> ³	Ileon		12,59	10
	Duodeno		501,19	
<i>Amblysomus hottentotus</i> ⁴	Yeyuno		660,69	
	Ileon		912,01	
<i>Sus scrofa domestica</i> ⁵	Duodeno		12,30	2,88
	Yeyuno		28,84	18,62
<i>Rata Wistar</i> ⁶	Ileon		19,50	354,81
	Duodeno		270,3	335,8 ^a
<i>Sus scrofa domestica</i> ⁵	Yeyuno		289,8	342 ^b
	Ileon		345,8	413 ^a
<i>Rata Wistar</i> ⁶	Duodeno			388 ^b
	Yeyuno	11,5 ± 0,4		413 ^a
	Ileon	11,1 ± 0,5		387 ^b

Nota. Adaptado de Chende et al. (2023); Boonzaier et al. (2013); Zapata et al. (2014); Ito et al. (2009)

¹Valores correspondientes a animales adultos, medidos en n/μm²

^{2,3,4}Valores correspondientes a animales adultos medidos en n/mm²

⁵Valores correspondientes a animales en etapa postdestete, medidos en n/vellosidad

⁶Valores correspondientes a animales adultos, medidos en n/vellosidad

^aMucinas ácidas sulfatadas

^bMucinas ácidas no sulfatadas

4.2.3. Funciones de las Células Caliciformes en la Mucosa Intestinal

El epitelio gastrointestinal está protegido por un gel de moco espeso sintetizado por las células caliciformes, las cuales se caracterizan por producir mucinas, un tipo de proteínas glicosiladas grandes que constituyen los principales componentes del moco. Este gel mucoso desempeña un papel crucial como barrera viscosa, esencial tanto para la lubricación del epitelio gastrointestinal como para su protección frente a patógenos, daño mecánico originado por componentes de la dieta, la acción corrosiva del jugo gástrico y la proteólisis causada por enzimas digestivas (Hooper, 2015; Montagne et al., 2004).

Las mucinas están directamente relacionadas con las bacterias comensales intestinales, influyendo en el desarrollo de la patogénesis de bacterias entéricas que causan enfermedades intestinales (Steve Cornick & Chadee, 2015). Esta asociación se atribuye a la composición de la capa de moco, que consiste en dos capas distintas, una externa que se encuentra densamente colonizada por bacterias, mientras que la capa interna exhibe resistencia a la penetración bacteriana (Hooper, 2015). Cuando las bacterias invaden al huésped despliegan gran cantidad de adhesinas que son empleadas para interactuar y unirse a las cadenas de oligosacáridos en las

mucinas, las cuales, actúan como señuelo, inmovilizando las bacterias y de esta manera, previenen que estas alcancen y dañen el epitelio. Este proceso se presenta como una estrategia clave para mantener la integridad del epitelio gastrointestinal y prevenir infecciones causadas por agentes patógenos (Steve Cornick & Chadee, 2015).

Por otra parte, la adhesión de bacterias patógenas en el moco puede tener consecuencias tanto beneficiosa como perjudicial para el huésped, ya que la fijación limita el libre acceso a la mucosa subyacente, convirtiendo al moco en una barrera impermeable o zona de retención. Por el contrario, si las bacterias logran adherirse fuertemente a la capa mucosa, su eliminación a través de la motilidad y las fuerzas abrasivas de la digestión puede retrasarse, lo que podría propiciar la colonización del TGI. Además, la tasa de crecimiento y penetración bacteriana en el moco puede superar el ritmo natural de renovación de esta capa, promoviendo aún más la colonización bacteriana (Montagne et al., 2004).

La capacidad del tracto gastrointestinal (TGI) para protegerse contra las infecciones bacterianas parece estar vinculada con el nivel de maduración de la mucina. Las mucinas maduras son principalmente sulfatadas. La presencia de grupos sulfatos y ácidos siálicos en la estructura química de las mucinas ácidas le confieren propiedades fisicoquímicas particulares en comparación con las mucinas neutras, manifestándose en una mayor viscosidad y acidez. Dichas mucinas ácidas contribuyen a potenciar la capacidad del moco para resistir los ataques de las enzimas bacterianas (Montagne et al., 2004).

Estudios previos sugieren que la mucina MUC2 y las células caliciformes desempeñan funciones inmunes ya que proporcionan un mecanismo mediante el cual los antígenos lumenales solubles de bajo peso molecular pueden pasar a través de la capa mucosa. Este proceso implica la transcitosis, donde las células caliciformes facilitan el paso de antígenos desde la luz intestinal hasta las células dendríticas subyacentes, las cuales, a su vez, ejercen un papel crucial en la promoción de respuestas inmunológicas tolerantes. De este modo, en presencia de antígenos, las células dendríticas favorecen la producción de proteínas como IgA, así como la regulación de células inmunológicas, como las células T reguladoras (Tregs), para mantener un equilibrio y evitar respuestas inflamatorias excesivas en el intestino (Steve Cornick & Chadee, 2015).

Las células caliciformes además ejercen funciones sobre los procesos digestivos al crear una zona de digestión a través de la capa mucosa. En este espacio, las enzimas quedan inmovilizadas cerca de la superficie del epitelio, lo que evita su eliminación rápida por el

movimiento peristáltico y las sitúa en una posición favorable para llevar a cabo la hidrólisis y la absorción de nutrientes (Montagne et al., 2004). Otras funciones incluyen actuar como una barrera semipermeable de difusión selectiva que permite el intercambio de gases, agua y nutrientes con el epitelio subyacente. Así mismo, se encarga de filtrar los nutrientes aptos para ser absorbidos, al mismo tiempo que impide que los de mayor tamaño alcancen el epitelio (Steve Cornick & Chadee, 2015).

Tabla 2. Propiedades funcionales de las mucinas producidas por las células caliciformes

Funciones en relación con la fisiología intestinal	Funciones en relación con la salud intestinal
<ul style="list-style-type: none"> • Lubricación del epitelio intestinal. • Protección del epitelio frente al ambiente ácido (estómago y duodeno) • Protección contra proteasas endógenas y bacterianas. • Barrera de difusión selectiva permeable a los nutrientes, pero no a las macromoléculas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fijación de bacterias comensales que permite la resistencia a la colonización. • Fijación de bacterias, virus y parásitos patógenos. • Componente del tejido linfoide asociado al intestino (GALT) • Reparación del epitelio (acción sinérgica con péptidos trébol) • Sustrato para fermentación bacteriana.

Nota. Adaptado de Forstner & Forstner (1994), citado por Montagne et al. (2004)

4.3. Fibra Soluble y su Influencia

4.3.1. Efectos de la Fibra Soluble en la Salud Intestinal

Las fibras dietéticas se denominan solubles porque tienen una alta capacidad de retener el agua en su matriz estructural formando una mezcla de gran viscosidad. La fibra dietética llega al intestino grueso de forma inalterada, de modo que los microbios del ciego con sus enzimas son capaces de digerirla en mayor o menor medida y está bastante relacionada a la solubilidad de la fibra (Escudero Álvarez & González Sánchez, 2006).

La fibra soluble posee una capacidad fermentable más rápida y completa que la fibra insoluble, de modo que su incorporación en la dieta a través de fuentes como la pulpa de remolacha o los cítricos, produce un aumento en la biomasa y en la actividad microbiana en el ciego, especialmente por parte de la microbiota saprófita fibrinolítica, lo que da lugar a la producción de AGCC's, y aumento de la acidez cecal (Montagne et al., 2003).

Se ha comprobado que diversos microorganismos que forman parte de la microbiota intestinal como *Dictyostelium*, *Bacillus*, *Pseudomonas* y levaduras tienen la capacidad de llevar

a cabo una fermentación casi por completo de la pectina en el colon a través de un proceso enzimático o vía oxidativa generando una variedad de AGCC y varios gases, además de contribuir a la reducción del pH (Han et al., 2023).

Además, los productos derivados de la fermentación realizada por los microorganismos que integran la microbiota ejercen acción sobre las células de antígeno y pueden mejorar la expresión de inmunoglobulinas y macrófagos en el organismo, regulando así la función inmune del intestino. De esta manera, la fibra soluble tiene un impacto en el funcionamiento del sistema inmunológico al modificar la composición de la microbiota intestinal y, posteriormente, ejercer una influencia sobre la inmunidad intestinal (Hu et al., 2023).

Sin embargo, la fibra soluble ha sido asociada a una reducción en el paso de la digesta por acumulación del contenido digestivo en el ciego, de modo que ralentiza el tránsito intestinal, retrasa el vaciamiento gástrico, lo cual podría conllevar a una disminución en la cantidad de alimento consumido y reduce de la digestibilidad ileal aparente (IAD) de los macronutrientes, ésta última asociada a una disminución en la absorción de glucosa, lípidos y aminoácidos por un aumento en el grosor de la capa de agua que reduce el transporte de solutos hacia la membrana del enterocito, de tal manera que también influyen en el metabolismo postprandial (Escudero Álvarez & González Sánchez, 2006).

Se ha investigado el impacto de la fibra soluble, específicamente las pectinas, en el metabolismo postprandial de ratas. Los resultados revelan una disminución en la absorción de glucosa, alcanzando valores de $0,86 \pm 0,07$, $0,72 \pm 0,05$ y $0,67 \pm 0,04$ cuando se administraron concentraciones de pectina de 5, 10 y 15 g/litro, respectivamente. Es importante destacar que la reducción observada con una concentración de 15 g/litro de pectina fue estadísticamente significativa. La proporción de absorción del ácido linoleico también experimentó una disminución significativa al ser expuesta a concentraciones de pectina de 5, 10 y 15 g/litro, registrando valores de $0,88 \pm 0,05$, $0,65 \pm 0,06$ ($P < 0,05$) y $0,59 \pm 0,03$ ($P < 0,01$), respectivamente (Fuse et al., 1989).

Estos hallazgos sugieren un efecto modulador de la pectina en la respuesta metabólica postprandial, con implicaciones relevantes en la regulación de procesos metabólicos asociados a la glucosa y ácidos grasos. Debido a estos efectos sobre la digestión se ha considerado a la fibra dietética como un elemento “antinutritivo”; especialmente en pollos y cerdos, y potencialmente benéfico para la salud humana (Montagne et al., 2003).

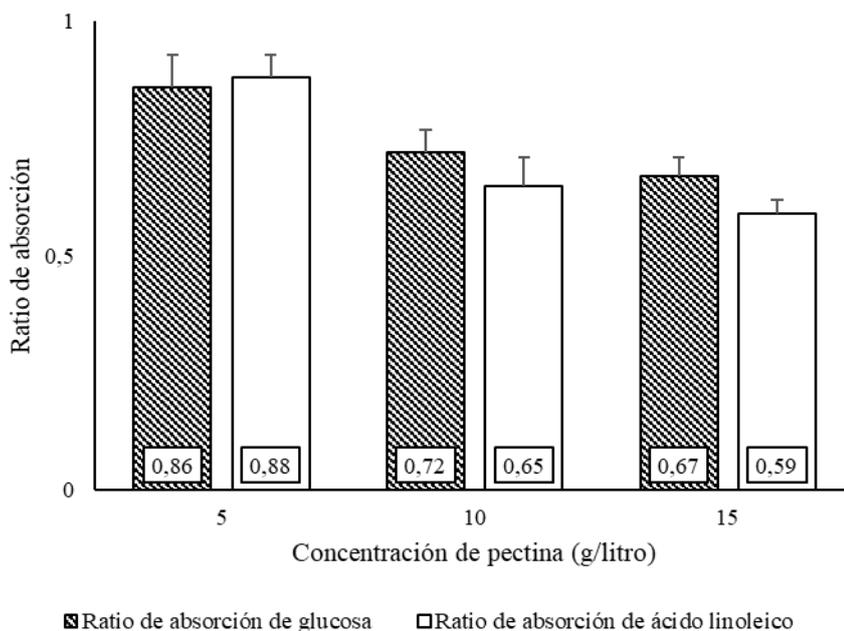


Figura 1. Efecto de la inclusión de fibra soluble (pectina) sobre la absorción de glucosa y ácido linoleico en ratas.

Nota. Adaptado de “Effects of pectin on fatty acid and glucose absorption and on thickness of unstirred water layer in rat and human intestine” (p. 1112) por Fuse et al., 1989, Digest Dis Sci, 34

4.3.2. Cambios en la Población de Células Caliciformes Ácidas y Neutras debido a la Fibra Soluble

En investigaciones previas realizadas en ratas se ha registrado que la utilización de fibras viscosas, excepto pectinas, aumentó el número de células caliciformes del intestino delgado en proporción a sus propias viscosidades y mejoró la secreción de mucina luminal (Ito et al., 2009). Satchithanandam et al. (1990) observaron un incremento notable de la actividad de las células caliciformes productoras de mucinas presentes en el estómago e intestino delgado de ratas que fueron alimentadas con un 5 % de fibra cítrica, lo cual podrían ser la causa de diversas repercusiones observadas en la ingestión de fibra, tales como la aceleración de los tiempos de tránsito y la demora o disminución en la absorción de nutrientes.

Además, la fibra soluble parece aumentar la altura de las vellosidades intestinales, así como el número de células caliciformes ácidas productoras de sialomucinas, manteniendo un número constante de células caliciformes productoras de sulfomucinas en el intestino delgado de ratas. En el íleon, las dietas con fibra soluble a base de psyllium mostraron un significativo aumento en el número de células caliciformes neutras (Hino et al., 2012). Sin embargo, al emplear konjac mannan de bajo peso molecular como fuente de fibra soluble en ratas, se observó un incremento en la altura de las vellosidades en el yeyuno, mientras que el uso de psyllium resultó en un mayor número de células caliciformes. El konjac mannan de alto y medio

peso molecular mostró resultados intermedios. Estos hallazgos sugieren que una mayor viscosidad de la fibra soluble aumenta el número de células caliciformes, e indican, por tanto, que la secreción de mucina en el intestino delgado está vinculada a la viscosidad de la fibra soluble (Ito et al., 2009).

Por otra parte, investigaciones realizadas en conejos destetados de veinticinco días indican que un aumento de fibra dietética soluble mejora la integridad y funcionalidad de la mucosa, sin embargo, los cambios detectados en la respuesta inmune en lámina propia y en el perfil de microbiota intestinal no son consistentes con los cambios en fibra soluble y sugieren más investigaciones (Gómez-Conde et al., 2007).

4.3.3. Investigaciones Previas Relacionadas con la Fibra Soluble en Cuyes

Se evaluó el efecto de diferentes fuentes de fibra en cuyes sobre parámetros productivos obteniendo como resultado que la incorporación de pulpa de remolacha en la dieta redujo el consumo de alimento, la ganancia de peso y como consecuencia se obtuvo una menor eficiencia alimentaria, excepto cuando se utilizó una inclusión de 50 % en la dieta. Además, la digestibilidad de materia seca fue mayor en las dietas con pulpa de remolacha en contraste con las demás fuentes de fibra empleadas en el estudio, sin embargo, la digestibilidad aparente de proteína disminuyó en las dietas donde se utilizó el 50 % y el 75% de inclusión, que podría estar relacionado a mayor excreción fecal de proteína microbiana. Así mismo, la digestibilidad de FAD y FND fue superior en la pulpa de remolacha, lo cual sugiere que este tipo de fibra al ser altamente digerible estimula la fermentación bacteriana y la producción de AGCC's a nivel cecal (Sakaguchi et al., 1997).

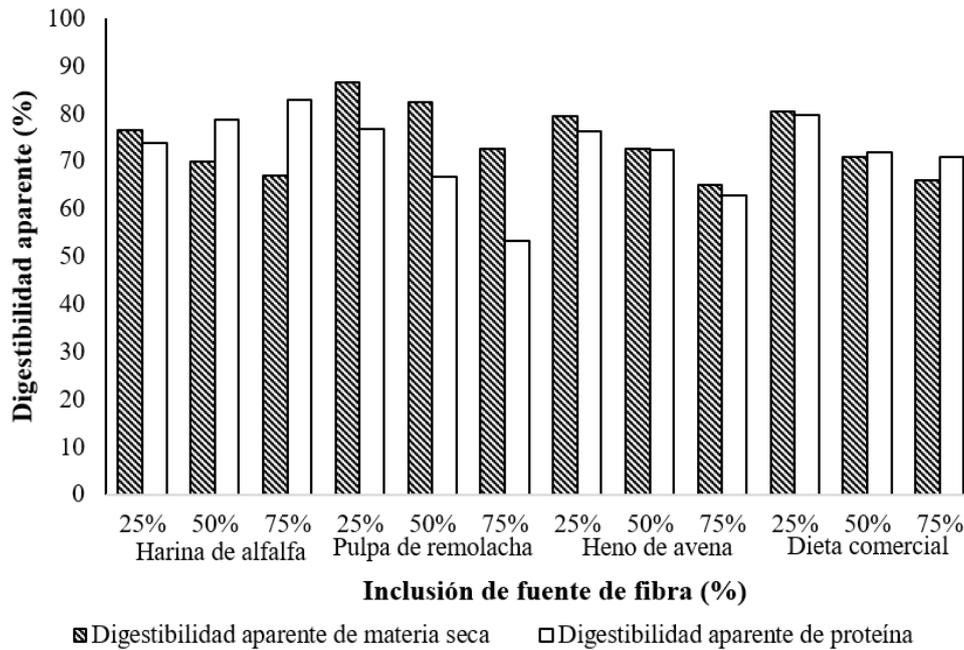


Figura 2. Efecto de la inclusión de diferentes fuentes de fibra sobre la digestibilidad aparente de materia seca y proteína (%)

Nota. Adaptado de “Fiber digestion and weight gain in guinea pigs fed diets containing different fiber sources” (p. 300) por Sakaguchi et al., 1997, *Experimental animals*, 46 (4)

4.4. Fibra Insoluble y su Influencia

4.4.1. Impacto de la Fibra Insoluble en la Salud Intestinal

Las fibras dietéticas insolubles se caracterizan por ser pocos solubles y porque al retener agua en su matriz crean mezclas de baja viscosidad, esto produce un aumento en el volumen de la masa fecal acelerando el tránsito intestinal. Además, entre más insoluble es una fibra dietética, mayor es el tiempo de degradación y fermentación, por tanto, una vez que llega al ciego, son lentamente digeridas o no lo son por los microbios intestinales generando efectos como abultamiento fecal en no rumiantes. En cerdos se ha demostrado que este tipo de fibras son menos utilizadas por los animales jóvenes que por los adultos, lo cual se manifiesta en valores de digestibilidad más bajos (Montagne et al., 2003).

La fibra insoluble además en su recorrido por el tracto gastrointestinal, ejerce efectos abrasivos en el intestino delgado al raspar la mucina de la mucosa, constituyendo así uno de los factores determinantes que promueven tanto la secreción de moco como la liberación de mucina en la luz del tracto gastrointestinal (Montagne et al., 2004). De igual manera, la fibra insoluble influye sobre los parámetros relacionados con el sistema inmunológico debido a que es responsable de crear un equilibrio e interacción entre la microbiota comensal y el tejido linfoide

asociado al intestino (Montagne et al., 2003). Así mismo, Corfield et al. (2001) sugieren que la fibra insoluble aumenta la madurez de la mucina intestinal y como consecuencia colonizan bacterias beneficiosas que podrían aumentar la inmunidad adquirida.

4.4.2. Alteraciones en la Población de Células Caliciformes Ácidas y Neutras debido a la Fibra Insoluble

Investigaciones realizadas en pollos, reportan que la incorporación de fibra insoluble aumentó la altura de las vellosidades del duodeno y yeyuno, así como la profundidad de las criptas en comparación con dietas con fibra soluble (Sabour et al., 2019). Lien et al. (2001) sugiere que la incorporación de fibra insoluble en la dieta puede fortalecer la capa mucosa mediante un aumento en la actividad de las células caliciformes. Esto, a su vez, resulta en un incremento en la capacidad de producción de mucina.

En el yeyuno de ratas alimentadas con dietas voluminosas suplementadas con fibra insoluble (celulosa y salvado de trigo/kg), se observó que la dieta que contenía salvado de trigo aumentó el recambio de mucina y la incorporación de H-glucosa y S-Sulfato de sodio en las mucinas intestinales, lo que indica mayor diferenciación de las células caliciformes (Vahouny et al., 1985). Se ha reportado además que alimentar a ratas con una dieta que contiene celulosa como fuente de fibra, aumentó el número de mucinas ácidas y sulfomucinas en las vellosidades del yeyuno, pero redujo el número de mucinas neutras. Adicionalmente, aumentó la densidad de volumen de las células que contienen mucinas neutras y sulfomucinas así como la densidad de tinción de mucinas neutras y ácidas en ratas libres de gérmenes (Sharma & Schumacher, 1995).

Por el contrario, Hino et al. (2012) reportó que las respuestas de las células caliciformes a la ingestión de fibras insolubles se caracterizan por un aumento predominante de la mucina sialilada en el intestino delgado de la rata, acompañado de un descenso en el número de células caliciformes productoras de sulfomucinas. Por tanto, estos estudios ofrecen evidencia de que las dietas que incluyen ciertos componentes fibrosos pueden afectar los procesos de renovación celular del intestino, señalando un incremento en la actividad secretora por parte de las células caliciformes cuando se consumen dichos derivados de fibra.

4.4.3. Estudios Previos Relacionados con la Fibra Insoluble en Cuyes

Estudios previos demuestran que niveles altos de fibra insoluble estimulan el desarrollo de las vellosidades en cuyes posdestete, lo cual se ve reflejando en una mayor longitud de las vellosidades intestinales y así como en el ratio (longitud de vellosidad / profundidad de cripta),

y justifica el efecto positivo que ejerce la fibra insoluble sobre la integridad de la mucosa intestinal (Febres López, 2023). Además, Sakaguchi et al. (1997) sugieren que la incorporación de fuentes de fibra insoluble en las dietas de cobayos aumenta el consumo de alimento, así como la ganancia de peso, sin embargo, disminuye la digestibilidad aparente de materia seca y proteína en respuesta al incremento en la proporción de cada fuente de fibra en la dieta. También se ha reportado que, la mayor inclusión de fibra insoluble en las dietas de cuyes destetados aumentó el peso del tracto digestivo total, destacándose el intestino delgado y el ciego como las secciones donde este efecto fue más notable (Calva, 2021).

4.5. Interacciones entre la Fibra Soluble e Insoluble

4.5.1. Efectos Combinados en las Células Caliciformes Ácidas y Neutras

La utilización de altos niveles de fibra soluble conjuntamente con niveles altos de fibra insoluble parece aumentar el número de células caliciformes por vellosidad en conejos de 39 días de edad (Farías-Kovac et al., 2020). Mientras que, la respuesta de estas células a las fibras solubles e insolubles se manifiesta en un aumento en la producción de mucinas ácidas particularmente sialomucinas (Hino, et al., 2012).

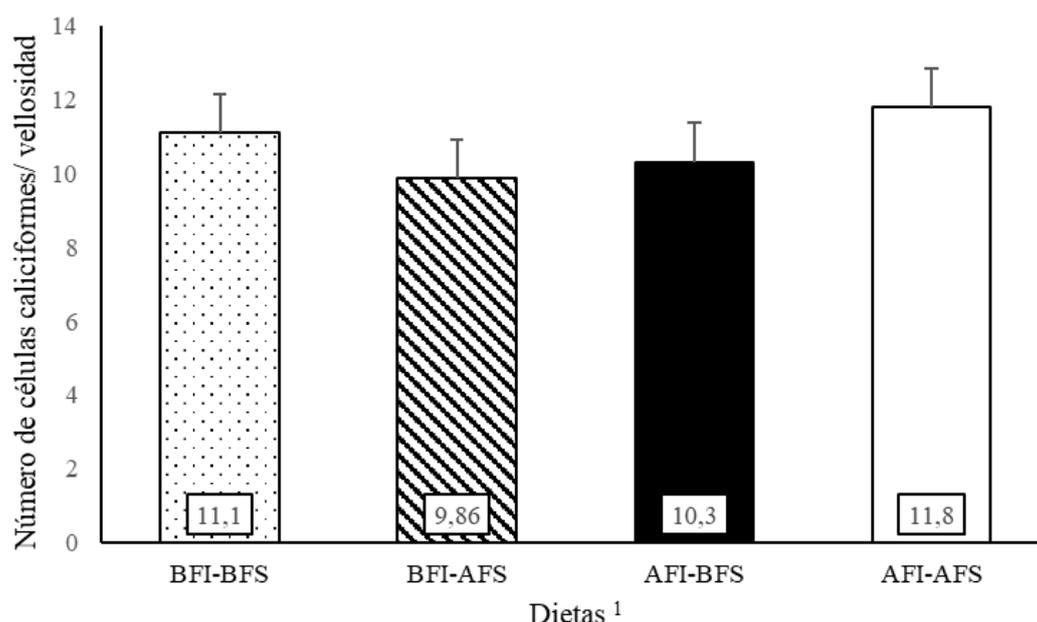


Figura 3. Efecto de diferentes niveles de fibra soluble e insoluble sobre las células caliciformes en conejos de 39 días.

Nota. Adaptado de “Effect of Dietary Insoluble and Soluble Fibre on Growth Performance, Digestibility, and Nitrogen, Energy, and Mineral Retention Efficiency in Growing Rabbits” (p. 13) por Farías-Kovac et al., 2020, *Animals*, 10

¹ BFI-BFS = Baja fibra insoluble, Baja fibra soluble; BFI-AFS = Baja fibra insoluble, Alta fibra soluble; AFI-BFS = Alta fibra insoluble, Baja fibra soluble; AFI-AFS = Alta fibra insoluble, Alta fibra soluble.

4.5.2. Investigaciones Previas sobre estas Interacciones

Existe evidencia que sugiere que la combinación de fibras fermentables solubles e insolubles tiene efectos positivos en la mucosa intestinal después del destete. Entre estos efectos se incluyen el aumento de la relación entre la altura de las vellosidades y la profundidad de las criptas, un incremento en el número de células caliciformes por vellosidad, un aumento en la actividad de la sacarosa en la mucosa yeyunal, así como en la digestibilidad ileal del almidón, y un aumento en el flujo ileal de mucina (Gómez-Conde et al., 2007; El Abed et al., 2011; Castillo 2013; Abad-Guamán et al., 2015; Delgado et al., 2018, citado por Farías Kovac, 2021).

De modo que, la inclusión de fibra soluble en la dieta promueve el desarrollo de las vellosidades intestinales y la actividad de los enterocitos. En contraste, la incorporación de fibra lignificada conduce a la atrofia estructural, disminución de la actividad celular intestinal y la proliferación de patógenos oportunistas como *C. perfringens*. La fibra insoluble, por lo tanto, podría desempeñar un papel crucial al reducir el tiempo medio de retención de la digesta en el intestino, diluir el contenido de almidón y proteínas tanto de la dieta como del íleon, y disminuir el crecimiento microbiano total. Por otro lado, la fibra soluble puede contribuir a la disminución de la población cecal de *C. perfringens* y otros patógenos oportunistas, lo que se traduce en una mejora en la estructura de la mucosa, su funcionalidad y la respuesta inmune, contribuyendo así a la reducción de la mortalidad (Carabaño et al., 2008).

5. Metodología

5.1. Ubicación

El presente trabajo de investigación se realizó en el centro de Experimentación I+D+I (investigación, desarrollo e innovación) de Nutrición Animal (CIDiNA) de la Universidad Nacional de Loja, ubicado en la Quinta Experimental Punzara, localizada al sur oeste de la Ciudad de Loja, en los predios de la institución en el sector “Punzara”, cuya ubicación geográfica cuenta con las siguientes coordenadas y características meteorológicas:

- Latitud: 4° 2' 11''
- Longitud: 79° 12' 4''
- Altitud: 2160 m.s.n.m
- Temperaturas absolutas anuales: 5,5 a 26,2 °C
- Precipitación anual: 1848,1mm
- Humedad relativa media: 78 %
- Formación ecológica: Bosque seco-montañoso bajo (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2017).



Figura 4. Ubicación de la Quinta Experimental Punzara y el Centro de Investigación Desarrollo Innovación de Nutrición Animal (CIDiNA)

Nota. Adaptado de *Centro de Investigación e Innovación de Nutrición Animal* [Fotografía], de Google Maps, 2023, <https://goo.gl/maps/1finmgyeDyodVLUH8>, Todos los derechos reservados por Google. Adaptado con permiso del autor

5.2. Unidades Experimentales

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron 32 cuyes destetados de 15 días de edad de ambos sexos, del tipo A1, los cuales fueron distribuidos aleatoriamente en las dietas experimentales (8 cuyes/dieta). Los animales fueron ubicados en jaulas individuales galvanizadas con dimensiones de 42 x 26 x 51 cm de largo, ancho y altura respectivamente, y contaron con comederos tipo J y bebederos de niples.

Adicionalmente, se colocó un calefactor para mantener el área de experimentación con una temperatura óptima entre 18 a 21 °C, y se dispuso de un sistema de ventilación.

5.3. Dietas Experimentales

Se elaboraron cuatro dietas experimentales con distintos niveles de fibra soluble (FS) y fibra insoluble (FI). La dieta 1 se compuso de niveles bajos de FS x FI (BFS x BFI) en proporciones de 4,48 x 29,0; la dieta 2 se caracterizó por ser alta en FS x baja en FI (AFS x BFI) con valores de 12,0 x 28,0; la dieta 3, baja en FS x alta en FI (BFS x AFI) con proporciones de 6,52 x 35,5; y finalmente, la composición de la dieta 4 incluyó niveles altos de FS x FI (AFS x AFI) con proporciones de 12 x 35,8, respectivamente.

En la formulación de estas raciones se consideró la utilización de ingredientes como afrecho de trigo y King Grass como principales fuentes de fibra insoluble, cuantificados como FND. Asimismo, la pectina de cítricos fue seleccionada como la principal fuente de fibra soluble en la formulación de las dietas, cuantificada por la diferencia de fibra dietética total y FND.

En la Tabla 3, se presentan todos los ingredientes y la composición química porcentual considerados para la formulación y elaboración de las cuatro dietas experimentales.

Tabla 3. Ingredientes y composición química de las dietas experimentales con diferentes niveles de fibra insoluble y soluble.

Nivel de fibra insoluble Nivel de fibra soluble	Dietas Experimentales			
	Baja	Baja	Alta	Alta
	Baja	Alta	Baja	Alta
<i>Ingredientes, % tal como se ofrece</i>				
Afrecho de trigo	52,63	10,0	10,0	10,0
Arrocillo	16,7	25,0	20,5	13,8
King Grass	7,69	30,2	40,9	40,4
Pectina	0,00	6,48	0,00	5,85
Soya	9,53	19,5	20,0	20,3
Aceite Palma	4,00	2,71	2,75	4,00
Melaza	5,98	3,00	3,00	3,00

Sal	0,291	0,291	0,200	0,219
L-Lisina-HCl	0,251	0,173	0,187	0,196
DL-Metionina	0,387	0,402	0,411	0,418
Treonina	0,125	0,119	0,133	0,135
Premezcla vitamínico mineral ¹	0,150	0,150	0,150	0,150
Vitamina C	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300
Carbonato de calcio	1,85	1,45	1,32	1,10
Bentonita ²	0,400	0,400	0,400	0,400
<i>Composición Química Calculada</i>				
Proteína	15,0	15,0	15,0	15,0
Energía Digestible	2800	2874	2800	2800
Extracto Etéreo	5,42	4,00	4,00	5,33
FND	29,0	28,0	35,5	35,8
FAD	13,9	16,5	21,4	21,0
LAD	2,95	2,98	3,88	3,92
FC	11,1	13,6	16,6	17,0
Fibra soluble	4,48	12,0	6,52	12,0
Almidón	20,0	20,0	16,9	11,6
Lisina	0,840	0,840	0,840	0,840
Metionina	0,600	0,600	0,600	0,600
Treonina	0,600	0,600	0,600	0,600
Calcio	0,900	0,900	0,800	0,800
Fósforo total	0,544	0,293	0,294	0,318
Na	0,142	0,154	0,119	0,122
Cl	0,400	0,400	0,388	0,400
K	1,15	1,05	1,10	1,15

¹LOFAC premezcla vitamínico mineral, 12 000 000 UI Vitamina A; 2 400 000 UI Vitamina D3; 15 000 UI Vitamina E; 2 500 mg Vitamina K3; 3 000 mg Vitamina B1; 8 000 mg Vitamina B2; 3 500 mg Vitamina B6; 15 mg Vitamina B12; 35 000 mg Niacina; 75 mg Biotina; 12 000 mg Ácido pantoténico; 1 000 mg Ácido fólico; 250 000 mg Colina; 2 000 mg Antioxidante; 75 000 mg Manganeseo; 50 000 mg Zinc; 30 000 mg Hierro; 5 000 mg Cobre; 1 250 mg Yodo; 200 mg Cobalto; 250 mg Selenio; 1 500 g Excipiente c.s.p.

²Bentonita, 51,35% Silicio; 27,03% Aluminio; 5,83% Hierro; 1,65% Potasio; 1,04% Calcio; 0,77% Magnesio; 0,68% Sodio.

5.4. Diseño de Investigación

Para este ensayo se utilizó un diseño de bloques aleatorizados (RBD), con arreglo factorial 2x2, donde cada bloque estuvo constituido por la camada de cada madre, con la aplicación de 8 repeticiones (animales) por tratamiento, los cuales fueron alimentados *ad libitum* por un lapso de 10 días. Después de finalizar el tiempo de aplicación de las dietas, se procedió con el sacrificio y toma de muestras.

5.5. Toma de Muestras

Los animales se sacrificaron a los 25 días de edad, es decir, al décimo día de tratamiento considerando las normas bioéticas internacionales de bienestar animal estipulados en el Art 145D y Art 145E del “Código Orgánico del Ambiente”, Registro Oficial Suplemento (ROS) N° 602 (Constitución de la República del Ecuador, 2023).

En primer lugar, se realizó el aturdimiento a través de un golpe contundente en la región occipital y posterior el desangramiento siguiendo el procedimiento sugerido por (Baumans et al., 1996). A continuación, los animales se evisceraron y se tomaron las muestras mediante un corte de 3-4 cm de la región media del intestino delgado (yeyuno) y se fijaron en formalina tamponada al 10 % para el posterior traslado al laboratorio de Histopatología para la realización de las tinciones.

Para la identificación de mucosustancias en células caliciformes se utilizó la reacción del ácido peryódico de Schiff (PAS) para el estudio de mucinas neutras y Alcian blue a pH 2,5 para mucinas ácidas, tal y como lo describe Sharma & Schumacher (1995).

5.6. Análisis de las Muestras

Para la lectura de las placas y la toma de datos, se trabajó con el programa MOTIC, Microscopio MOTIC 29AX E250223, Modelo BA310, Serie 1120002406; las placas histológicas se analizaron con el objetivo de 10x y se consideró un conteo de 30 lecturas por placa, es decir, se leyeron 30 vellosidades y 30 criptas de cada animal de estudio.

5.7. Análisis de los Resultados

Para el análisis de los resultados se utilizó el paquete estadístico SAS (Statistic Analysis System) y se realizó un análisis de varianza (ANOVA) mediante el procedimiento MIXED del SAS, donde los principales factores de variación fueron las dietas experimentales con los niveles de fibra soluble e insoluble, y la interacción de fibra soluble e insoluble, y el factor aleatorio, fue el animal anidado al tratamiento. Las medias se compararon por medio de un T-test protegido. Los p valores $\leq 0,05$ se consideraron como significativos.

6. Resultados

A continuación, en la Tabla 4 se exponen las variables que se evaluaron en esta investigación y el efecto generado al incluir diferentes niveles de fibra soluble e insoluble en la dieta de cuyes post destete.

Tabla 4. Efecto del nivel de fibra soluble e insoluble sobre el número de células caliciformes por vellosidad y cripta en el intestino medio delgado de cuyes post destete.

Nivel fibra insoluble	Nivel fibra soluble	Mucinas ácidas		Mucinas neutras	
		N células caliciformes/villi	N células caliciformes/cripta	N células caliciformes/villi	N células caliciformes/cripta
Bajo		0,620	6,07	2,28	7,82
Alto		0,815	6,56	2,50	9,66
	Bajo	0,743	6,37	2,72	9,31
	Alto	0,692	6,25	2,05	8,18
Bajo	Bajo	0,651	5,95	2,56	8,24
	Alto	0,588	6,19	2,00	7,41
Alto	Bajo	0,834	6,80	2,89	10,4
	Alto	0,795	6,32	2,10	8,94
EEM ¹	Fibra insoluble	0,223	0,380	0,430	0,483
	Fibra soluble	0,218	0,373	0,418	0,470
	FI x FS	0,324	0,552	0,625	0,699
p -Valor	Fibra insoluble	0,528	0,356	0,719	0,0100 ^a
	Fibra soluble	0,869	0,817	0,263	0,100
	FI x FS	0,969	0,495	0,852	0,649

Nota.¹Error media estándar, n=8

^aLa media en el número de células caliciformes productoras de mucinas neutras/cripta por efecto de fibra insoluble es estadísticamente significativo.

No se detectaron diferencias significativas en el número de células caliciformes productoras de mucinas ácidas, ya sea en función de los niveles de fibra soluble e insoluble o en la interacción entre ambas (FI x FS), en la mucosa yeyunal de cuyes post destete ($p \geq 0,356$). Los valores medios registrados fueron de 0,717 células caliciformes por vellosidad y 6,32 por cripta.

Con respecto a las mucinas neutras, no se encontró diferencia significativa en las células caliciformes a nivel de vellosidad ($p \geq 0,263$). Sin embargo, a nivel de cripta, se evidencia que la fibra insoluble tuvo un efecto significativo ($p \leq 0,05$) sobre el número de células caliciformes

productoras de mucinas neutras. En contraste con las mucinas ácidas, los valores medios registrados fueron de 2,39 células caliciformes por vellosidad y 8,75 por cripta.

Además, cuando el nivel de fibra insoluble es alto existe un incremento en el número de células caliciformes con mucinas ácidas y neutras tanto en villi como en cripta. Por el contrario, el incremento del nivel de fibra soluble parece tener una tendencia ($p = 0,100$) a reducir el número de estas células productoras de mucinas neutras en cripta. Así mismo, la falta de significancia en este estudio para el efecto de la fibra soluble, así como de la interacción FS x FI sugiere que el efecto de la fibra insoluble no depende del nivel de fibra soluble, y viceversa.

En la Figura 5, se muestra la concentración de las células caliciformes con mucinas ácidas (A) y mucinas neutras (B), identificadas en las vellosidades intestinales, según el efecto de los distintos niveles de fibra soluble e insoluble proporcionados en las dietas experimentales.

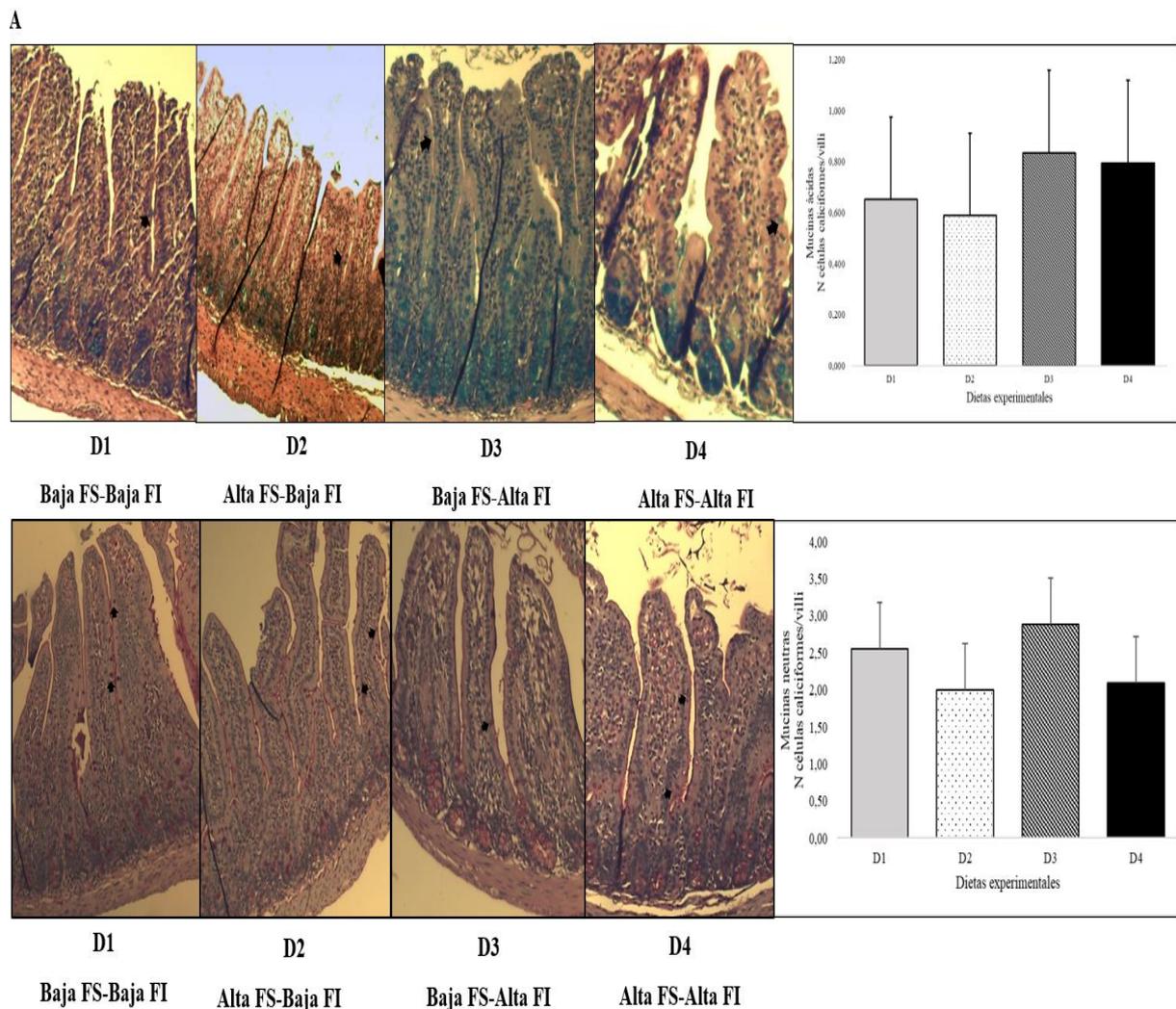


Figura 5. Promedio del recuento de células caliciformes/villi bajo la influencia de diferentes niveles de inclusión de fibra soluble e insoluble.

Por otra parte, en la Figura 6, se muestra la concentración de las células caliciformes con mucinas ácidas (A) y mucinas neutras (B), identificadas por cripta, según el efecto de las cuatro dietas experimentales.

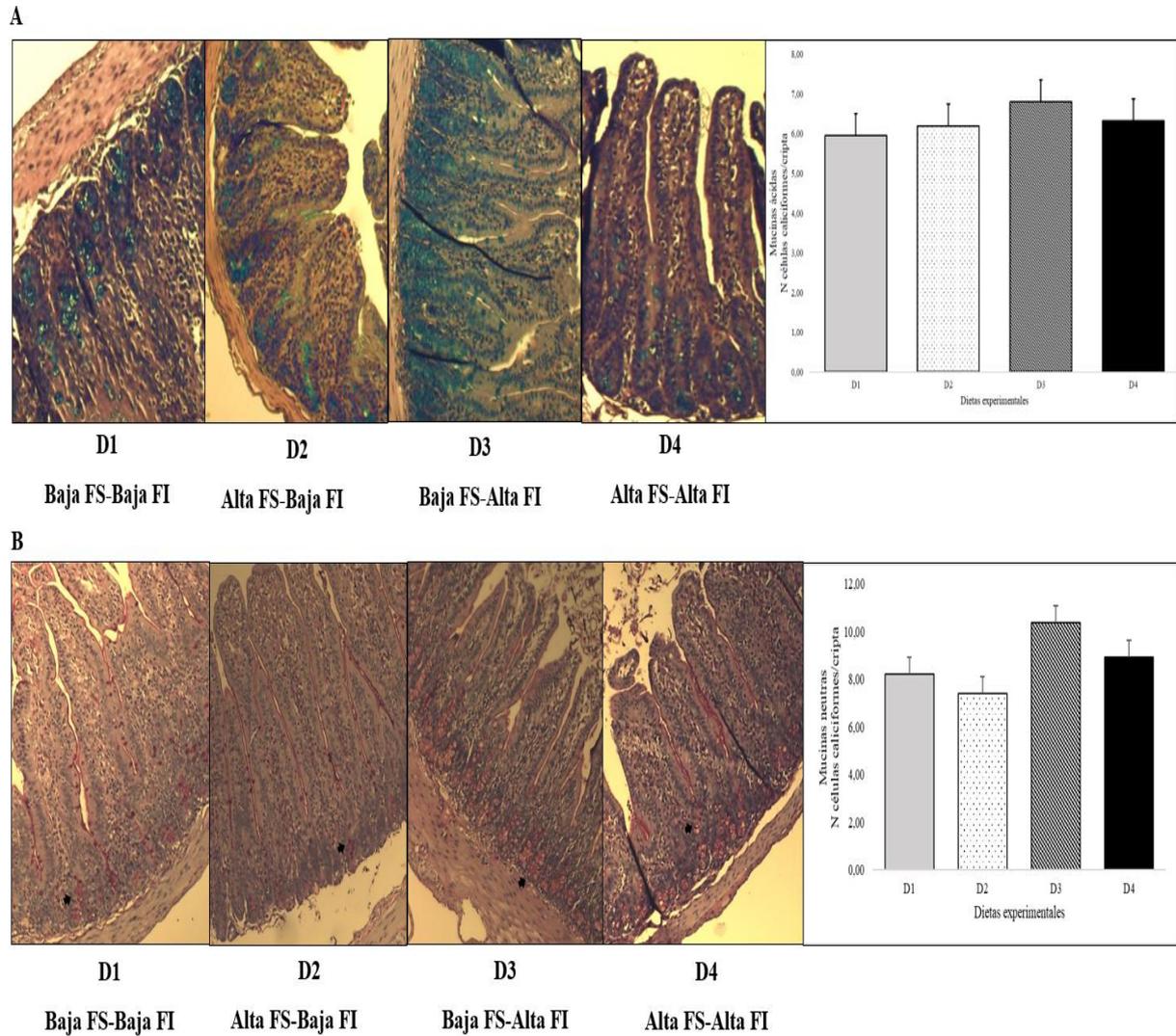


Figura 6. Promedio del recuento de células caliciformes/cripta bajo la influencia de diferentes niveles de inclusión de fibra soluble e insoluble.

7. Discusión

De acuerdo a lo reportado por Samaniego (2023) en cuyes destetados de 25 días de edad, la mayor concentración de células caliciformes en el intestino delgado se registró a nivel de criptas, con 9,35 células que contenían mucinas neutras, y 7,17 con mucinas ácidas. Los hallazgos del presente estudio coinciden en que el mayor número de células caliciformes se localizó en las criptas del yeyuno. Sin embargo, los valores observados fueron inferiores a los reportados previamente, registrándose 6,32 células caliciformes que contenían mucinas ácidas y 8,75 que contenían mucinas neutras. Adicionalmente, en el análisis de las vellosidades intestinales, el número de células caliciformes que contenían mucinas ácidas (0,717) y mucinas neutras (2,39) resultó ser menor en comparación a los datos publicados por (Samaniego, 2023). Las modificaciones en la cantidad de células caliciformes, así como las variaciones en la composición química de la mucina, están relacionadas a cambios en la proliferación y/o en la cinética celular. Estos cambios tienen su origen en diversos factores, siendo uno de ellos el tipo de dieta consumida (Dunsford et al., 1991).

Estudios previos sugieren que ciertos compuestos derivados de fibras dietéticas tienen la capacidad de modificar la tasa de renovación celular en el epitelio intestinal, así como de incrementar la actividad secretora de las células caliciformes responsables de producir las mucinas protectoras (Vahouny et al., 1985). En el íleon de ratas, las dietas con fibra mostraron mayor número de células productoras de mucina sialilada, mientras que las células productoras de mucina sulfatada fueron menores en el caso de las fibras insolubles (espuma de poliestireno, salvado de trigo o hoja de maíz; 80 g/kg) o sin cambios en las fibras solubles (konjac mannan, psyllium o goma guar solubles; 50 g/kg). Los grupos psyllium y espuma de poliestireno tuvieron significativamente más células con mucinas neutras que los grupos, goma de aguar y hoja de maíz. La fibra soluble se relaciona con un incremento en la viscosidad del contenido digestivo. Estos hallazgos sugieren además que la viscosidad de la fibra se correlaciona directamente con un aumento en el número de células caliciformes y una mejora en la secreción de mucina luminal (Hino et al., 2012; Ito et al., 2009).

En cerdos recién destetados, la inclusión de fibra soluble a través de dietas con pectina, no afectó el área de tinción de mucinas ácidas y neutras en villi, pero si hubo una tendencia ($P=0,07$) hacia una disminución en el área de mucinas neutras. La pectina disminuyó significativamente el área de mucinas en las criptas del intestino delgado. Pese a ello, se observó que existía una tendencia hacia más mucinas neutras en las criptas en SI50 que en SI90 (muestras tomadas al 50 y 90% de la longitud del intestino delgado) (Hedemann et al., 2006).

Recientes estudios realizados en conejos de 39 días de edad sugieren que el aumento de FND aumentó la altura de las vellosidades yeyunales cuando se administró una dieta AFIxAFS ($p = 0,071$). La interacción de FS con niveles altos de FI no tuvo efecto significativo en el número de células caliciformes ($p=0,350$), pese a ello, los resultados sugieren una tendencia de una posible influencia de FS en los grupos con AFI (Farías-Kovac et al., 2020). Por el contrario, El Abed et al. (2011) informaron de un efecto positivo asociado con la FS y la FI, así como con su combinación, al integrar componentes de la pulpa de remolacha (ya sea parcialmente sustituida, con FI de la pulpa o con pectinas de la pulpa) en la dieta de conejos jóvenes (25 días). Esto resultó en un incremento significativo ($p \leq 0,05$) en el número de células caliciformes por vellosidad, con valores específicos de 15,3, 14,0 y 15,8, respectivamente.

Bajo las condiciones de esta investigación con tinción AB/PAS del yeyuno, se registró un mayor número de células caliciformes productoras de mucinas neutras por efecto significativo de la fibra insoluble. Estos resultados permanecieron esencialmente similares en las mucinas ácidas, excepto que no hubo diferencia significativa en el número de células caliciformes en cuyes alimentados con las dietas con fibra soluble e insoluble, así como en su interacción, pese a ello, se registró una mayor variabilidad en los datos obtenidos por efecto de la fibra insoluble (FI) manifestada en una mayor concentración de mucinas ácidas tanto a nivel de cripta como villi. De modo que, la inclusión de fuentes de fibra insoluble en la dieta parece conducir a una mayor actividad de las células caliciformes, lo que a su vez promueve un aumento en la producción de mucinas, fortaleciendo así la capa mucosa del intestino (Lien et al., 2001; Montagne et al., 2003a; Vahouny et al., 1985).

El incremento en la secreción de moco asociado al consumo de fibra insoluble, pero no de fibra soluble, difieren de los reportes de Cassidy et al. (1981) quienes señalan un efecto positivo de la fibra soluble (pectina) y la alfalfa al promover alteraciones estructurales favorables en las vellosidades intestinales, además de un aumento visual en la cantidad de moco adherido y aparente incremento en la actividad secretora de las células caliciformes. Sin embargo, Satchithanandam et al. (1990) demostraron que la suplementación con un 5% de fibra cítrica en una dieta purificada produjo un aumento significativo en la secreción de mucina luminal en el intestino delgado de ratas ($p < 0,007$) y atribuyeron este efecto a la fracción insoluble (celulosa y lignina) presente en el preparado de fibra cítrica.

En ratas se ha demostrado que la inclusión de celulosa como fuente de fibra induce un aumento en la cantidad de células caliciformes productoras de mucinas ácidas y sulfomucinas

en las vellosidades yeyunales, mientras que se observa una disminución en el número de mucinas neutras (Sharma & Schumacher, 1995). Así mismo, una dieta purificada suplementada con fuentes de FI (10 % de celulosa o salvado de trigo) aumentó el recambio de mucina, además de promover la incorporación de trazadores radiomarcados en las glicoproteínas que conforman las mucinas intestinales (Vahouny et al., 1985). Adicionalmente, se encontró que la secreción de mucinas en ratas parece aumentar proporcionalmente al incremento del volumen de sedimentación de la fibra insoluble alcanzado en agua y con la viscosidad de la fibra soluble (Ito et al., 2009; Tanabe et al., 2005).

En cerdos recién destetados, se observaron cambios favorables en la morfología intestinal, caracterizados por un aumento en la longitud de las vellosidades y la actividad enzimática de la mucosa, cuando fueron alimentados con dietas ricas en fibra insoluble, en contraste con aquellos que recibieron dietas que contenían fibra soluble (pectina). Además, se registró un aumento en el área de mucinas neutras y ácidas en las vellosidades del intestino medio (Hedemann et al., 2006). Mientras que, en cerdas no se observó ningún efecto del nivel o tipo de FD sobre las mucinas en vellosidades y criptas en el intestino delgado, ciego y colon. Estos resultados fueron asociados a la edad de los animales y a que el tiempo de duración del ensayo no era suficiente para generar cambios en este parámetro (Serena et al., 2008).

Si bien se espera que la mucina ácida sea más abundante que la neutra, en los cuyes se detectó una mayor presencia de mucinas neutras alojadas en las criptas de las vellosidades intestinales. Esta observación podría explicarse por los efectos estimulantes que ejerce la fibra dietética sobre la secreción de mucinas. El incremento de la presión luminal ejercido por la FI y la resistencia al flujo generado principalmente por la fibra soluble podrían provocar una mayor eliminación del moco intestinal y favorecer la diferenciación de las células caliciformes. Esto último daría lugar a un aumento en la producción de mucinas, inicialmente en su forma neutra, características de las células caliciformes inmaduras que se encuentran en las profundidades de las criptas del intestino delgado (Specian & Oliver, 1991). De modo que, a medida que estas células migran hacia el ápice de las vellosidades, las mucinas se modifican progresivamente, volviéndose más sialiladas o ácidas.

8. Conclusiones

- La fibra soluble e insoluble, así como la interacción entre ambas, no tuvieron un efecto significativo sobre el número de células caliciformes productoras de mucinas ácidas en villi y en cripta en el intestino delgado de cuyes post destete. Pese a ello, existió una mayor variabilidad explicada por la fibra insoluble que soluble.
- La fibra insoluble tuvo un efecto más relevante que la fibra soluble en la modulación de la población de células caliciformes productoras de mucinas neutras en el intestino delgado de los cuyes postdestete, lo cual indica que los diferentes tipos de fibra pueden tener diferentes impactos en la fisiología y el mantenimiento del epitelio intestinal. Por consiguiente, la selección apropiada de fuentes de fibra dietética podría representar una estrategia efectiva para mejorar la dinámica de la mucosa gastrointestinal, contribuyendo así al fortalecimiento de la barrera intestinal en esta etapa crítica del desarrollo.

9. Recomendaciones

- Los factores dietéticos directa e indirectamente afectan la proliferación y diferenciación de las células caliciformes productoras de mucinas en cuyes post destete. Por tal motivo, se recomienda la utilización de dietas con alto contenido de fibra insoluble y bajo en soluble, ya que aumenta el número de células caliciformes con mucinas ácidas y neutras, fundamentales en la protección de la mucosa intestinal.
- Además, se sugiere utilizar técnicas histoquímicas como el método de tinción combinada para mejorar la precisión al definir los tipos de mucinas producidas por las células caliciformes y evitar una sobreestimación del número de células caliciformes ácido y neutro.

10. Bibliografía

- Álvarez, J., Real, J. M. F., Guarner, F., Fernández, M. G., Rodríguez, J. M., de Pipaón, M. S., & Herranz, Y. S. (2021). Microbiota intestinal y salud. *Gastroenterología y Hepatología*, 44(7). <https://doi.org/10.1016/j.gastrohep.2021.01.009>
- Baumans, V., Bernoth, E.-M., Bromage, N., Bunyan, J., Erhardt, W., Flecknell, P., Gregory, N., Hackbarth, H., Morton, D., & Warwick, C. (1996). *Recomendaciones para la Eutanasia de los Animales de Experimentación: Contenido de la Parte 2*.
- Beukema, M., Faas, M. M., & de Vos, P. (2020). The effects of different dietary fiber pectin structures on the gastrointestinal immune barrier: impact via gut microbiota and direct effects on immune cells. *Experimental & Molecular Medicine*, 52(9), 1364–1376. <https://doi.org/10.1038/s12276-020-0449-2>
- Bischoff, S. C. (2011). “Gut health”: a new objective in medicine? *BMC Medicine*, 9(1), 24. <https://doi.org/10.1186/1741-7015-9-24>
- Boonzaier, J., Van der Merwe, E. L., Bennett, N. C., & Kotzé, S. H. (2013). A comparative histochemical study of the distribution of mucins in the gastrointestinal tracts of three insectivorous mammals. *Acta Histochemica*, 115(6), 549–556. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.acthis.2012.12.003>
- Calva, M. (2021). *Evaluación del efecto de la fibra insoluble en el tracto digestivo de cuyes en cebo*. Universidad Nacional de Loja.
- Carabaño, R., Badiola, I., Chamorro, S., García, J., García-Ruiz, A. I., García-Rebollar, P., Gómez-Conde, M. S., Gutiérrez, I., Nicodemus, N., Villamide, M. J., & De Blas, J. C. (2008). New trends in rabbit feeding: influence of nutrition on intestinal health. A review. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6(S1), 15. <https://doi.org/10.5424/sjar/200806S1-5346>
- Cassidy, M. M., Lightfoot, F. G., Grau, L. E., Story, J. A., Kritchevsky, D., & Vahouny, G. V. (1981). Effect of chronic intake of dietary fibers on the ultrastructural topography of rat jejunum and colon: a scanning electron microscopy study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 34(2), 218–228. <https://doi.org/10.1093/ajcn/34.2.218>
- Chauca de Zaldívar, L. (1997). *Producción de Cuyes (Cavia porcellus)* (Vol. 138). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Chende, A., Miclăuş, V., Damian, A., Martonoş, C., Rus, V., Matei-Laţiu, M.-C., Laţiu, C., & Gal, A. (2023). Mucous non-goblet cells in the small intestine of guinea pigs (*Cavia porcellus*): a histological and histochemical study. *Folia Morphologica*, 82(3), 624–632. <https://doi.org/{}>
- Conway, P. (1994). Function and regulation of the gastrointestinal microbiota of the pig. In W. B. Souffrant & H. Hagemester (Eds.), *Proceedings of the VIth International Symposium on Digestive Physiology in Pigs* (EAAP Publication, Vol. 80, pp. 231–240).
- Corfield, A., Carroll, D., Myerscough, N., & Probert, C. (2001). Mucins in the gastrointestinal tract in health and disease. *Frontiers in Bioscience*, 6, 1321–1357.
- Croix, J. A., Carbonero, F., Nava, G. M., Russell, M., Greenberg, E., & Gaskins, H. R. (2011). On the Relationship between Sialomucin and Sulfomucin Expression and

- Hydrogenotrophic Microbes in the Human Colonic Mucosa. *PLOS ONE*, 6(9), e24447-. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0024447>
- Dao, D. P. D., & Le, P. H. (2023). Histology, Goblet Cells. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
- Deplancke, B., & Gaskins, H. R. (2001). Microbial modulation of innate defense: goblet cells and the intestinal mucus layer. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 73(6), 1131S-1141S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/73.6.1131S>
- Dunsford, B. R., Haensly, W. E., & Knabe, D. A. (1991). Effects of diet on acidic and neutral goblet cell populations in the small intestine of early weaned pigs. *American Journal of Veterinary Research*, 52(10), 1743–1746.
- El Abed, N., Delgado, R., Abad-Guamán, R., Romero, C., Villamide, M. J., Menoyo, D., Carabaño, R., & García, J. (2011). Soluble and insoluble fibre from sugar beet pulp enhance intestinal mucosa morphology in young rabbits. In *Book of Abstracts of the 62nd Annual Meeting of the European Association for Animal Production* (Vol. 17, p. 159). Wageningen Academic Publishers.
- Escudero Álvarez, E., & González Sánchez, P. (2006). La fibra dietética Correspondencia. *Nutr. Hosp*, 61–72.
- Farías Kovac, C. E. (2021). *Effect of dietary soluble and insoluble fibre level, oligosaccharide supplementation and feed restriction on rabbit performance*.
- Farías-Kovac, C., Nicodemus, N., Delgado, R., Ocasio-Vega, C., Noboa, T., Abdelrasoul, R. A.-S., Carabaño, R., & García, J. (2020). Effect of Dietary Insoluble and Soluble Fibre on Growth Performance, Digestibility, and Nitrogen, Energy, and Mineral Retention Efficiency in Growing Rabbits. *Animals*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/ani10081346>
- Febres López, D. (2023). *Evaluación de diferentes niveles de inclusión de maralfalfa (Pennisetum spp.) en dietas para cuyes sobre la integridad de la mucosa intestinal*. Universidad Nacional de Loja.
- Fuse, K., Bamba, T., & Hosoda, S. (1989). Effects of pectin on fatty acid and glucose absorption and on thickness of unstirred water layer in rat and human intestine. *Digestive Diseases and Sciences*, 34(7), 1109–1116. <https://doi.org/10.1007/BF01536383>
- Gidene, T. (2016). La fibra en la nutrición del conejo. In A. Bosse & M. Pietsch (Eds.), *La fibra en la nutrición animal* (pp. 53–62). Agrimedia.
- Gómez-Conde, M. S., Garcia, J., Chamorro, S., Eiras, P., Rebollar, P. G., Pérez De Rozas, A., Badiola, I., De Blas, C., & Carabaño, R. (2007). Neutral detergent-soluble fiber improves gut barrier function in twenty-five-day-old weaned rabbits. *Journal of Animal Science*, 85(12), 3313–3321. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-777>
- Grant, K. (2014). Rodent nutrition: Digestive comparisons of 4 common rodent species. In *Veterinary Clinics of North America - Exotic Animal Practice* (Vol. 17, Issue 3, pp. 471–483). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2014.05.007>
- Han, X., Ma, Y., Ding, S., Fang, J., & Liu, G. (2023). Regulation of dietary fiber on intestinal microorganisms and its effects on animal health. *Animal Nutrition*, 14, 356–369. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.06.004>

- Hedemann, M. S., Eskildsen, M., Lærke, H. N., Pedersen, C., Lindberg, J. E., Laurinen, P., & Knudsen, K. E. B. (2006). Intestinal morphology and enzymatic activity in newly weaned pigs fed contrasting fiber concentrations and fiber properties1. *Journal of Animal Science*, *84*(6), 1375–1386. <https://doi.org/10.2527/2006.8461375x>
- Hino, S., Takemura, N., Sonoyama, K., Morita, A., Kawagishi, H., Aoe, S., & Morita, T. (2012). Small Intestinal Goblet Cell Proliferation Induced by Ingestion of Soluble and Insoluble Dietary Fiber Is Characterized by An Increase in Sialylated Mucins in Rats. *The Journal of Nutrition*, *142*(8), 1429–1436. <https://doi.org/https://doi.org/10.3945/jn.112.159731>
- Hooper, L. V. (2015). *Chapter 3 - Epithelial Cell Contributions to Intestinal Immunity* (F. W. Alt, Ed.; Vol. 126, pp. 129–172). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.ai.2014.11.003>
- Hu, R., Li, S., Diao, H., Huang, C., Yan, J., Wei, X., Zhou, M., He, P., Wang, T., Fu, H., Zhong, C., Mao, C., Wang, Y., Kuang, S., & Tang, W. (2023). The interaction between dietary fiber and gut microbiota, and its effect on pig intestinal health. *Frontiers in Immunology*, *14*, 1095740. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1095740>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2017). *Anuario meteorológico Nro. 53-2013*.
- Ito, H., Satsukawa, M., Arai, E., Sugiyama, K., Sonoyama, K., Kiriyama, S., & Morita, T. (2009). Soluble Fiber Viscosity Affects Both Goblet Cell Number and Small Intestine Mucin Secretion in Rats133. *The Journal of Nutrition*, *139*(9), 1640–1647. <https://doi.org/https://doi.org/10.3945/jn.109.110171>
- Jha, R., Fohse, J. M., Tiwari, U. P., Li, L., & Willing, B. P. (2019). Dietary Fiber and Intestinal Health of Monogastric Animals. *Frontiers in Veterinary Science*, *6*. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00048>
- Junqueira, L., & Carneiro, J. (2006). *Histología Básica* (12th ed.). Médica Panamerica S.A.
- Lien, K. A., Sauer, W. C., & He, J. M. (2001). Dietary influences on the secretion into and degradation of mucin in the digestive tract of monogastric animals and humans. *Journal of Animal and Feed Sciences*, *10*(2), 223–245. <https://doi.org/10.22358/jafs/67980/2001>
- Linden, S. K., Sutton, P., Karlsson, N. G., Korolik, V., & McGuckin, M. A. (2008). Mucins in the mucosal barrier to infection. *Mucosal Immunology*, *1*(3), 183–197. <https://doi.org/10.1038/mi.2008.5>
- Makki, K., Deehan, E. C., Walter, J., & Bäckhed, F. (2018). The Impact of Dietary Fiber on Gut Microbiota in Host Health and Disease. *Cell Host & Microbe*, *23*(6), 705–715. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2018.05.012>
- Montagne, L., Piel, C., & Lallès, J. P. (2004). Effect of Diet on Mucin Kinetics and Composition: Nutrition and Health Implications. *Nutrition Reviews*, *62*(3), 105–114. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2004.tb00031.x>
- Montagne, L., Pluske, J. R., & Hampson, D. J. (2003a). A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Animal Feed Science and Technology*, *108*(1), 95–117. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00163-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00163-9)

- Montagne, L., Pluske, J. R., & Hampson, D. J. (2003b). A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Animal Feed Science and Technology*, *108*(1), 95–117. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00163-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00163-9)
- Pluske, J. R., Turpin, D. L., & Kim, J.-C. (2018). Gastrointestinal tract (gut) health in the young pig. *Animal Nutrition*, *4*(2), 187–196. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.12.004>
- Sabour, S., Tabeidian, S. A., & Sadeghi, G. (2019). Dietary organic acid and fiber sources affect performance, intestinal morphology, immune responses and gut microflora in broilers. *Animal Nutrition*, *5*(2), 156–162. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.07.004>
- Sakaguchi, E., Itoh, H., Tsuyoshi, K., Ohshima, S., & Mizutani, K. (1997). Fiber Digestion and Weight Gain in Guinea Pigs Fed Diets Containing Different Fiber Sources. *Experimental Animals*, *46*(4), 297–302. <https://doi.org/10.1538/expanim.46.297>
- Samaniego, S. (2023). *Estudio del efecto del tamaño de partículas de la dieta en las características histoquímicas de las células caliciformes intestinales de los cuyes* [Pregrado]. Universidad Nacional de Loja.
- Satchithanandam, S., Vargofcak-Apker, M., Calvert, R. J., Leeds, A. R., & Cassidy, M. M. (1990). Alteration of Gastrointestinal Mucin by Fiber Feeding in Rats. *The Journal of Nutrition*, *120*(10), 1179–1184. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jn/120.10.1179>
- Savón, L. (2002). Alimentos altos en fibra para especies monogástricas. Caracterización de la matriz fibrosa y sus efectos en la fisiología digestiva. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, *36*(2), 91–102.
- Serena, A., Hedemann, M. S., & Bach Knudsen, K. E. (2008). Influence of dietary fiber on luminal environment and morphology in the small and large intestine of sows1. *Journal of Animal Science*, *86*(9), 2217–2227. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-062>
- Sharma, R., & Schumacher, U. (1995). Morphometric analysis of intestinal mucins under different dietary conditions and gut flora in rats. *Digestive Diseases and Sciences*, *40*(12), 2532–2539. <https://doi.org/10.1007/BF02220438>
- Sheahan, D. G., & Jervis, H. R. (1976). Comparative histochemistry of gastrointestinal mucosubstances. *American Journal of Anatomy*, *146*(2), 103–131. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/aja.1001460202>
- Specian, R. D., & Oliver, M. G. (1991). Functional biology of intestinal goblet cells. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, *260*(2), C183–C193. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.1991.260.2.C183>
- Steve Cornick, A. T., & Chadee, K. (2015). Roles and regulation of the mucus barrier in the gut. *Tissue Barriers*, *3*(1–2), e982426. <https://doi.org/10.4161/21688370.2014.982426>
- Tanabe, H., Sugiyama, K., Matsuda, T., Kiriyama, S., & Morita, T. (2005). Small Intestinal Mucins Are Secreted in Proportion to the Settling Volume in Water of Dietary Indigestible Components in Rats. *The Journal of Nutrition*, *135*(10), 2431–2437. <https://doi.org/10.1093/jn/135.10.2431>

- Usca, J., Flores, L., Tello, L., & Navarro, M. (2022). *Manejo general en la cría del cuy*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Vahouny, G. V, Le, T., Ifrim, I., Satchithanandam, S., & Cassidy, M. M. (1985). Stimulation of intestinal cytokinetics and mucin turnover in rats fed wheat bran or cellulose. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 41(5), 895–900. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ajcn/41.5.895>
- Zapata, D. J., de Rodríguez, B. J., Patol, E., Ramírez, M. C., López, A., & Parra, J. (2014). Escherichia coli lipopolysaccharide affects intestinal mucin secretion in weaned pigs. *Revista Colombiana De Ciencias Pecuarias*, 28(3), 209–217.
- Zhang, P. (2022). Influence of Foods and Nutrition on the Gut Microbiome and Implications for Intestinal Health. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(17). <https://doi.org/10.3390/ijms23179588>

11. Anexos

Anexo 1. Limpieza y adecuación de instalaciones.



Anexo 2. Elaboración de las dietas experimentales



Anexo 3. Unidades experimentales distribuidas en los tratamientos



Anexo 4. Recolección de muestras de la porción media del intestino (yeyuno) de cuyes



Anexo 5. Lectura de las placas histológicas y conteo de células caliciformes



English Speak Up Center

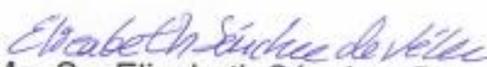
Nosotros "English Speak Up Center"

CERTIFICAMOS que

La traducción del resumen de Trabajo de Integración Curricular, titulado "Efecto de la fibra insoluble y soluble en las células caliciformes productoras de mucinas en cuyes post destete" documento adjunto solicitado por la señorita Alejandra Estefanía Guevara Zari con cédula de ciudadanía número 1105654568 ha sido realizada por el Centro Particular de Enseñanza de Idiomas "English Speak Up Center"

Esta es una traducción textual del documento adjunto. El traductor es competente y autorizado para realizar traducciones.

Loja, 21 de mayo de 2024


Mg. Sc. Elizabeth Sánchez Burneo
DIRECTORA ACADÉMICA
Perito Intérprete Traductor
inglés-español / español-inglés
Consejo de la Judicatura
N° calificación: 12311825

DIRECCIÓN: SUCRE 207-46 ENTRE AZUAY Y MIGUEL RÍOFRÍO

TELÉFONO: 099 5263 264