

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



ESTUDIO HISTOLÓGICO DE LAS VELLOSIDADES  
INTESTINALES DE CUYES (*Cavia porcellus*) CRIOLLOS Y  
MEJORADOS SEGÚN EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:  
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Natalí Arce Olivas

TRUJILLO, PERÚ

2016

La presente tesis ha sido revisada y aprobada por el siguiente Jurado:

---

Ing. Dr. Wilson Lino Castillo Soto  
PRESIDENTE

---

Ing. M.Sc. Mario Attilio Narro Saldaña  
SECRETARIO

---

Ing. Mg. César Eduardo Honorio Javes  
VOCAL

---

M.V. Mg. César Leopoldo Lombardi Pérez  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

Esta tesis se la dedico con mucho amor.

A Dios por permitirme no desfallecer en el intento, y darme la bendición de vivir un día más con salud al lado de las personas que más amo. A mi madre, por su perseverancia y dulzura, a mi padre, por su comprensión y tranquilizadoras palabras, a mi hermana, por alentarme siempre a seguir luchando por mis objetivos día tras día y en especial consideración a mis docentes, por sus enseñanzas, paciencia y buen humor, gracias por su tiempo y sabiduría que me transmitieron para el desarrollo de mi formación profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por regalarme un día más de vida, por la salud mía y la de mi familia, por las oportunidades que me regala y por las personas extraordinarias que pone en mi camino

A mi madre Ana Doris, por sus palabras, empuje, ahínco, perseverancia, principios y valores que me ha inculcado en el transcurso de mi vida y formación profesional han hecho de mí una mujer fuerte y desafiante.

A mi padre Juan Carlos, que ha sido mi inspiración y modelo, por sus consejos y reflexiones, me ha formado como mejor persona y profesional capaz de reconocer mis errores y enmendarlos.

A mi hermana Noelia, por su nobleza y protección, por creer siempre en mí y darme su amor incondicional, por sus duras pero alentadoras palabras, por enseñarme que nada en esta vida es gratis, que para alcanzar tus metas tienes que luchar y trabajar por ellos.

A mi asesor, amigo y doctor César Lombardi que ha sido como mi segundo padre, por sus sabios consejos, apoyo incondicional y aliento.

A mi jurado, amigo y doctor Wilson Castillo, estoy eternamente agradecida por el cariño, apoyo y tiempo invertido para culminar esta investigación.

Al doctor César Llaque, más que un jefe ha sido un gran amigo y líder, modelo a seguir en el ámbito profesional, por su apoyo, lo enseñado y aprendido, por su paciencia, comprensión y bromas, ha sido pieza fundamental para el término de esta tesis.

## ÍNDICE GENERAL

	Páginas
CARATULA.....	i
APROBACION DEL JURADO DE TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
INDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Características generales del cuy.....	4
2.1.1 Constantes fisiológicas.....	4
2.2 Anatomía y fisiología digestiva del cuy.....	5
2.3. Histología digestiva de los mamíferos.....	9
2.3.1. Estructuración general del conducto alimentario.....	9
2.3.1.1. Capas Histológicas.....	10
2.3.1.1.1. Mucosa.....	10
2.3.1.1.1.1 Glándulas de Brunner.....	10
2.3.1.1.2 Submucosa.....	11
2.3.1.1.3 Muscular externa.....	11
2.3.1.1.4 Serosa o adventicia.....	12
2.3.2 Inervación de tubo digestivo.....	12
2.3.2.1 Sistema Nervioso Entérico.....	13
2.3.2.2 Inervación parasimpática y simpática del Intestino.....	14
2.4 Sistema digestivo del cuy.....	15
2.4.1 Intestino delgado.....	18

2.4.1.1 Mucosa Intestinal.....	18
2.4.1.1.1 Células M o células de los micropliegues.....	18
2.4.1.1.2 Lámina propia.....	19
2.4.1.1.2.1 Criptas de Lieberkuhn.....	19
2.4.1.1.2.1.1 Células de Paneth....	19
2.4.1.2 Epitelio.....	20
2.4.1.2.1 Células Superficiales de absorción....	20
2.4.1.2.2 Células Caliciformes.....	21
2.4.1.2.3 Células enteroendocrinas.....	21
2.4.1.3 Sistemas linfáticos y vasculares del intestino delgado.....	22
2.4.1.4 Diferencias regionales.....	22
2.4.1.5 Histofisiología del intestino delgado.....	23
2.4.1.5.1 Actividad secretoria del intestino delgado.....	23
2.4.1.6 Movimientos del intestino delgado.....	24
2.4.1.7 Digestión.....	24
2.4.1.8 Absorción.....	25
2.4.1.9 Células regenerativas.....	26
2.4.2 Aspectos Histológicos en común.....	26
2.4.3 Modificaciones de la Superficie Luminal.....	27
2.5 Alimentación.....	30
2.5.1 Alimentación con forraje.....	30
2.5.2 Alimentación mixta.....	31
2.5.3 Alimentación a base de concentrado.....	32
2.6 Necesidades nutricionales acorde con las funciones productivas.....	33
2.6.1 Crecimiento y engorde.....	33
2.7 Necesidades nutritivas.....	34
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35

3.1 Lugar de Estudio .....	35
3.2 Materiales .....	35
3.2.1 Material biológico .....	35
3.3 Manejo de la variable .....	35
3.3.1 Lugar de procedencia .....	35
3.3.2 Especímenes .....	35
3.3.3 Material y equipo de laboratorio .....	36
3.3.4 Toma de muestras .....	36
3.3.5 Fijación de las muestras .....	36
3.3.6 Deshidratación y aclaramiento de las muestras .....	36
3.3.7 Inclusión en parafina .....	36
3.3.8 Corte histológico .....	37
3.3.9 Montaje en lámina portaobjetos .....	37
3.3.10 Tinción de cortes histológicos .....	37
3.3.11 Montaje .....	38
3.3.12 Lectura .....	38
3.4 Variables a evaluar .....	38
3.5 Análisis estadístico .....	39
IV. RESULTADOS .....	40
V. DISCUSIÓN .....	46
VI. CONCLUSIONES .....	48
VII. RECOMENDACIONES .....	49
VIII. BIBLIOGRAFÍA .....	50
ANEXOS .....	54

## ÍNDICE DE CUADROS

	Páginas
Cuadro 1. Constantes fisiológicas de la especie.....	5
Cuadro 2. Composición nutricional del cecótrofo .....	8
Cuadro 3. Requisitos nutricionales del cuy .....	33
Cuadro 4. Deshidratación y aclaramiento de las muestras .....	36
Cuadro 5. Desparafinado e hidratación de los cortes histológicos.....	37
Cuadro 6. Tinción de los cortes histológicos .....	38
Cuadro 7. Deshidratación de los cortes histológicos.....	38
Cuadro 8. Promedios de altura de vellosidad y profundidad de ..... cripta del duodeno en cuyes según el grupo genético y sistema de alimentación.	40
Cuadro 9. Promedios de altura de vellosidad y profundidad de..... cripta del yeyuno en cuyes según el grupo genético y sistema de alimentación.	42
Cuadro 10. Promedios de altura de vellosidad y profundidad de ..... cripta del íleon en cuyes según el grupo genético y sistema de alimentación.	44



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Aparato digestivo del cuy .....	17
Figura 2. Fotomicrografía de la vellosidad duodenal de ..... <i>Cavia porcellus</i> criollos y mejorados	41
Figura 3. Fotomicrografía de la vellosidad del yeyuno de ..... <i>Cavia porcellus</i> criollos y mejorados	43
Figura 4. Fotomicrografía de la vellosidad del íleon de ..... <i>Cavia porcellus</i> criollos y mejorados	45

## ANEXOS

Páginas

Anexo 1. Proceso de Tinción Hematoxilina Eosina para.....	55
cortes histológicos	

## RESUMEN

El presente estudio se realizó en la ciudad de Trujillo, en 12 cuyes criollos y mejorados de 51 días de edad, procedentes del distrito de Cajabamba, departamento de Cajamarca. Los animales fueron divididos en dos grupos para hacer las comparaciones histológicas, en el primero se evaluaron los grupos genéticos, cuyes criollos versus cuyes mejorados; en el segundo se evaluaron cuyes mejorados de acuerdo al sistema de alimentación, dieta 1 a base de alfalfa versus dieta 2 a base de alfalfa más concentrado. Se determinaron las variaciones en altura de vellosidades, profundidad de cripta y relación de vellosidad/cripta en las porciones intestinales del duodeno, yeyuno e íleon con la prueba estadística de Tukey con un nivel de confianza de 95%.

De acuerdo al grupo genético, la profundidad de cripta fue mayor en cuyes mejorados que en cuyes criollos en los segmentos intestinales del duodeno, yeyuno e íleon, sin afectar altura de vellosidades y la relación vellosidad/cripta fue menor en cuyes mejorados ( $P < 0.01$ ) en los tres segmentos.

Respecto al sistema de alimentación, los cuyes mejorados que recibieron alfalfa más concentrado en su dieta presentaron mayor altura de vellosidades con una diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$ ) en los segmentos intestinales duodeno e íleon y diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) en yeyuno, sin afectar profundidad de cripta en duodeno y yeyuno y la relación vellosidad/cripta fue mayor ( $P < 0.01$ ) en cuyes mejorados que recibieron alfalfa más concentrado en los segmentos duodeno e íleon.

## **ABSTRACT**

This study was developed in Trujillo city, in 12 creole and improved guinea pigs of 51 days old, from the district of Cajabamba, Department of Cajamarca. The animals were divided into two groups for histological comparisons, in the first group, the comparisons are shown according to genetic group, creole versus improved guinea pigs; in the second group, the comparisons between improved guinea pigs are shown according to the feeding system, diet 1 based on alfalfa versus diet 2 based on alfalfa plus concentrated. It was determined variations in villus height, crypt depth and relation villus/crypt in the intestinal segments of the duodenum, jejunum and ileum with Tukey statistical test with a confidence level of 95%.

According to genetic group, the depth crypt was deeper in improved guinea pigs than in creole guinea pigs in segments of the duodenum, jejunum and ileum, without affecting villi height and relation villus/crypt was lower in improved guinea pigs ( $P < 0.01$ ) in all three segments.

In relation to the feeding system, improved guinea pigs who received alfalfa plus concentrated in their diet, had higher villi height with a highly significant difference ( $P < 0.01$ ) in intestinal segments duodenum and ileum and significant difference ( $P < 0.05$ ) in jejunum, without affecting crypt depth in duodenum and jejunum and the relation villus/crypt was higher ( $P < 0.01$ ) in improved guinea pigs who received alfalfa plus concentrated in the duodenum and ileum segments.

## I. INTRODUCCION

El cuy (*Cavia porcellus*) es un mamífero roedor originario de la zona andina de Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia donde fueron domesticados para ser usados principalmente en la alimentación humana (Aliaga, 1979). El cuy (*Cavia porcellus*) es un pequeño mamífero doméstico que destaca por su precocidad y prolificidad, que aunado a la excelente calidad de su carne, lo convierte en una fuente de proteínas capaz de competir con otras especies domésticas de interés productivo (Reymundo, 1984).

El Perú es considerado el primer país productor y consumidor de carne de cuy a nivel mundial. La carne de este roedor constituye un alimento de alto valor nutricional (proteína 20.3%) que contribuye con la seguridad alimentaria de la población rural y urbana. Además, la demanda de carne de cuy en los últimos años se está incrementando en el mercado externo debido al consumo por parte de sudamericanos que han emigrado y mantienen sus hábitos alimenticios (Casa, 2008).

En el Perú el mayor consumo de cuy se encuentra en las ciudades y provincias de la Sierra; en la actualidad, la crianza de cuyes no solo constituye una buena alternativa alimenticia, sino también una importante fuente de ingresos dada la gran demanda en el mercado. Su aceptación se ha extendido hacia la costa y selva por efecto de la migración de la población andina que ha llevado sus costumbres y tradiciones. La crianza de cuyes es usualmente una crianza de tipo familiar que permite al campesino aprovechar residuos de cocina y forrajes disponibles en la zona. Actualmente esta situación está cambiando y son criados en granjas comerciales en gran número y en poco espacio motivados por el incremento en la demanda en el mercado interno y externo. Además de ello, en los últimos años se ha impulsado y promocionado el consumo de

cuy en las principales ciudades de la costa atendiendo a las bondades saludables de su carne; así mismo, desde el año 2000 se está exportando la carne en carcasas empacadas al vacío teniendo como principales destinos Estados Unidos y Japón (Morales, 2009; MINAG, 2014).

El manejo de esta especie requiere de mejoras en la crianza e investigaciones en su comportamiento fisiológico de alimentación y nutrición. El crecimiento temprano del sistema gastrointestinal implica incrementos rápidos en la longitud de vellosidades y profundidad de cripta; el desarrollo del intestino puede influir negativamente en el crecimiento del animal, por ende de sus estructuras intestinales, es así que el desarrollo de las vellosidades se ven afectadas por la alimentación ya sea acelerada o restringida, por la presencia o ausencia de determinados ingredientes en la dieta (Dibner y Robey., 1995).

Sin embargo, los medianos y pequeños productores de cuyes utilizan varios tipos de forrajes en la alimentación de cuyes y que al no ser aprovechados adecuadamente y técnicamente dan resultados económicos bajos lo cual desaniman al productor, también son factores limitantes el tener forraje de baja calidad que cubra los requerimientos de esta especie debido al costo del alimento y el poco beneficio que se obtiene (Sandoval, 2013). Es por este motivo que el problema planteado fue que la mejora genética asociada a la diversidad de los sistemas de alimentación provoca cambios en la estructura intestinal que influye en el desempeño productivo durante la fase de crecimiento.

Es así como justificamos el desarrollo del presente estudio a nivel histológico, para brindar al productor mayor información acerca del impacto que tienen los diferentes sistemas de alimentación en cuyes criollos y mejorados en los segmentos intestinales del duodeno, yeyuno e íleon el cual los objetivos fueron describir la histología de las vellosidades

intestinales de cuyes (*Cavia porcellus*) criollos y mejorados, en la fase de crecimiento de acuerdo al sistema de alimentación y relacionar morfométricamente las vellosidades intestinales del duodeno, yeyuno e íleon de cuyes (*Cavia porcellus*) criollos y mejorados, en la fase de crecimiento de acuerdo al sistema de alimentación.

## II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA

### 2.1. Características generales del cuy

El cuy (*Cavia porcellus*) es un roedor doméstico estrictamente herbívoro, originario de los Andes peruano-bolivianos (Castelo, 2012), puede permanecer en las alturas como en los valles, es una especie precoz, prolífica, de ciclos reproductivos cortos y de fácil manejo. Su crianza tecnificada puede representar una importante fuente permanente de alimento para la familia de escasos recursos y además una fuente de ingresos. El manejo técnico puede llegar a triplicar la producción a partir de una mejora en la fertilidad de las reproductoras, una mayor supervivencia de las crías y una mejora de la alimentación para un rápido crecimiento y engorde (Guacho, 2009; Vela, 2006)

#### 2.1.1 Constantes fisiológicas

El cuy, por su naturaleza nerviosa, se estresa con mucha facilidad y es particularmente sensible a los cambios de temperatura y a la postración por calor. El conocimiento de los valores fisiológicos del cuy nos permite determinar cuando existen variaciones que muestren problemas de metabolismo general. (Calderón y Cazares, 2008). Los valores fisiológicas se muestran en el cuadro 1.



Cuadro 1. Constantes fisiológicas de la especie

Constante	Valor
Temperatura rectal (°C)	38 – 39
Respiración (por minuto)	90
Pulsaciones (por minuto)	250
Tiempo de vida (años)	6 a 8
Vida reproductiva (años)	2
Número de cromosomas	64
pH Sanguíneo	7.35
Volumen sanguíneo (ml/kg. de peso corporal)	75.3
Hemoglobina (g/100 ml)	12.4 – 15
Eritrocitos (millones m <sup>3</sup> )	4.4 – 5.4
Hematocrito (%)	39 – 47.6
Leucocitos (millones m <sup>3</sup> )	4.46 – 10.0

Fuente: Arroyo (1986)

## 2.2. Anatomía y Fisiología digestiva del cuy

El cuy es una especie herbívora monogástrica que tiene un estómago donde se inicia la digestión enzimática y un ciego funcional donde se realiza la fermentación bacteriana. Realiza cecotrofia para reutilizar el nitrógeno. Según su anatomía gastrointestinal está clasificada como fermentador post-gástrico debido a los microorganismos que posee a nivel del ciego (Guacho, 2009). La fisiología digestiva estudia los mecanismos que se encargan de transferir nutrientes orgánicos e inorgánicos del medio ambiente al medio interno, para luego ser conducidos por el sistema circulatorio a cada una de las células del organismo. Es un proceso bastante complejo que comprende la ingestión, la digestión y la absorción de nutrientes y el desplazamiento de éstos a lo largo del tracto digestivo (Chauca, 1993). El cuy está clasificado según su anatomía gastrointestinal como fermentador post-gástrico debido a los

microorganismos que posee a nivel del ciego. El movimiento de la ingesta a través del estómago e intestino delgado es rápido, no demora más de dos horas en llegar la mayor parte de la ingesta al ciego (Reid, 1948, citado por Gómez y Vergara, 1993). Sin embargo el pasaje por el ciego es más lento pudiendo permanecer en él parcialmente por 48 horas. Se conoce que la celulosa en la dieta retarda los movimientos del contenido intestinal permitiendo una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes, siendo en el ciego e intestino grueso donde se realiza la absorción de los ácidos grasos de cadenas cortas. La absorción de los otros nutrientes se realiza en el estómago e intestino delgado incluyendo los ácidos grasos de cadenas largas. El ciego de los cuyes es un órgano grande que constituye cerca del 15 por ciento del peso total (Hagan y Robison, 1953, citado por Gómez y Vergara, 1993).

Los cuyes mastican intensamente los alimentos de modo que el alimento está finamente molido cuando llega al estómago, donde se inicia la digestión enzimática para luego pasar al intestino delgado y seguir hacia el duodeno donde se secreta la bilis la cual ayuda a la digestión de las grasas. Además la secreción del jugo pancreático interviene en la digestión de las proteínas, carbohidratos y grasas. La mayor absorción de nutrientes se realiza a nivel del intestino delgado; de la ingesta que llega a la parte final del intestino delgado (íleon), ingresan al ciego los alimentos que tienen partículas menores de 0.5 cm de grosor y que contienen carbohidratos digeribles los cuales son digeridos por fermentación bacteriana. Los alimentos de mayor grosor pasan directamente al colon. Los cuyes al tener un ciego funcional, aprovechan la fibra y reutilizan el nitrógeno (heces), esto principalmente en raciones bajas en proteína, lo cual ayuda a mantener un buen rendimiento productivo de los animales. El ciego normalmente ocupa casi el 50% de la capacidad abdominal, es por ello su importancia en la digestión de los alimentos (Calderón y Cazares, 2008; Vargas y Yupa, 2011; Guacho, 2009). La fisiología y

anatomía del ciego en el cuy soporta una ración conteniendo un material voluminoso y permite que la celulosa almacenada fermente por acción microbiana, dando como resultado un mejor aprovechamiento del contenido de fibra. El metabolismo del ciego es una función importante en la síntesis de la proteína microbiana, de la vitamina K y de la mayoría de las vitaminas del complejo B por acción de los microorganismos. (Murillo y Quilambaqui, 2004).

La flora bacteriana existente en el ciego permite un buen aprovechamiento de la fibra (Reid, 1958, citado por Gómez y Vergara, 1993). Es en el ciego donde se produce los ácidos grasos volátiles, la síntesis de proteína microbiana y vitaminas del complejo B la realizan microorganismos, en su mayoría bacterias gram-positivas que pueden contribuir a cubrir sus requerimientos nutricionales por la reutilización del nitrógeno través de la cecotrofia; los ácidos grasos volátiles sirven para satisfacer parte de los requerimientos de energía del cuy; constituyen los principales productos energéticos para los cuyes y otros herbívoros (Aliaga, 1993). Los cuyes realizan la ingestión de las heces blandas (cecótrofos) como un mecanismo de compensación biológica. Generalmente lo efectúan el 30% de los cuyes, este porcentaje puede variar dependiendo de la calidad de la dieta (Calderón y Cazares, 2008). El cuy produce dos tipos de excretas, una rica en nitrógeno que es reutilizada (cecótrofo) y la otra que es eliminada como heces. Las bacterias presentes en el colon proximal son transportadas hacia el ciego por movimientos antiperistálticos para su fermentación y formación de cecótrofo, el cual es reingerido. La ingestión de los cecótrofos permite aprovechar la proteína contenida en la célula de las bacterias presentes en el ciego, así como reutilizar el nitrógeno proteico y no proteico que no alcanzó a ser digerido en el intestino delgado (Vargas y Yupa, 2011).

Para comprender mejor este mecanismo de digestión debemos ir hasta uno de los últimos pasos digestivos. Una vez que la digesta ha

pasado por el intestino delgado absorbiéndose la mayor parte de los nutrientes, esta llega al ciego (órgano colonizado por microorganismos capaces de degradar la fibra del alimento) donde la fibra es separada mecánicamente según su tamaño por el peristaltismo en el ciego para solamente degradarse la fibra corta (<0.3mm.), mientras que la fibra larga (>0.3mm.) es expulsada. Estas partículas largas de fibra se excretan mayormente en la noche y son lo que nosotros conocemos como heces duras, son muy secas, con mucha fibra, poca proteína y redondas; estas el cuy no las come. Por otro lado, está ese alimento fermentado que se retuvo en el ciego; cuando está en este órgano se llama contenido cecal, su fermentación se da durante toda la noche, y en la mañana es expulsado por el ano, en este momento se le conoce como cecótrofo y el cuy lo consume directamente desde el ano antes que caiga al suelo optando una postura encorvada, al cecótrofo también se le conoce como heces blandas. (Guacho, 2009; Cheeke, 1987). A continuación la composición nutricional de cecótrofo en el cuy (*Cavia porcellus*)

Cuadro 2. Composición nutricional del cecótrofo

Componente (%)	Cecótrofos	Heces duras	Referencias
Proteína bruta	30.0	-	Eden, 1940
Cenizas	11.1	-	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4.2	-	
Na <sub>2</sub> O	0.5	-	
K <sub>2</sub> O	1.7	-	
Proteína Bruta	37.8	14.8	Huang y otros, 1954
Grasa	1.5	1.8	
Cenizas	14.3	14.8	
Fibra bruta	14.3	27.8	

### 2.3. Histología digestiva de mamíferos

La literatura respecto a la histología del cuy es escasa, razón por la cual, estamos considerando la histología de los mamíferos según, dicha información será considerada para la lectura y descripción de las preparaciones microscópicas del cuy.

Sistema digestivo de los mamíferos: tubo digestivo propiamente dicho, el conducto alimentario es la continuación de la cavidad oral, es la porción tubular del aparato digestivo. Esta es el área donde se agita, licua y digiere el alimento; se absorben sus elementos nutricionales y el agua, y se eliminan sus componentes no digeribles. El tubo alimentario, se subdivide en regiones identificables desde el punto de vista morfológico: esófago, estómago, intestino delgado (duodeno, yeyuno e íleon) intestino grueso (ciego, colon, recto, conducto anal y apéndice).

Antes de estudiar las regiones individuales del tubo digestivo es preferible describir la estructuración general del tubo digestivo. La comprensión del diseño conceptual del conducto alimentario facilitará asimilar las variaciones comunes del mismo.

#### 2.3.1. Estructuración general del conducto alimentario

El conducto alimentario está compuesto por las capas concéntricas siguientes: mucosa, submucosa, muscular externa y serosa (adventicia). El conducto alimentario se compone de varias capas histológicas que están inervadas tanto por nervios parasimpáticos y simpáticos como por fibras sensoriales.

### 2.3.1.1 Capas histológicas

La histología del conducto alimentario a menudo se estudia en términos de cuatro capas amplias: mucosa, submucosa, muscular externa y serosa (o adventicia). Estas capas son similares en la totalidad del tubo digestivo pero muestran modificaciones y especializaciones regionales.

#### 2.3.1.1.1 Mucosa

La luz del conducto alimentario está recubierta por un epitelio, en la profundidad del cual se encuentra un tejido conectivo laxo conocido como lámina propia. Este tejido conectivo con vascularización abundante contiene tanto glándulas como vasos linfáticos y nódulos linfoides ocasionales. La capa de tejido conectivo está rodeada por la mucosa muscular, que se compone de una capa circular interna y una longitudinal externa de músculo liso. El epitelio, la lámina propia y la mucosa muscular se denominan mucosa.

##### 2.3.1.1.1.1 Glándulas De Brunner

Las glándulas de Brunner son glándulas tubuloalveolares ramificadas cuyas porciones secretorias se parecen a los acinos mucosos. Los conductos de estas glándulas penetran en la capa muscular de la mucosa y suelen perforar la base de las criptas de Lieberkuhn para descargar su producto secretorio hacia la luz del duodeno. En ocasiones sus conductos se abren en los espacios intervallosos. Las micrografías electrónicas de las células acinares ponen de manifiesto RER y aparato de Golgi bien desarrollados, numerosas mitocondrias y núcleos aplanados a redondeados.

Las glándulas de Brunner secretan un líquido mucoso alcalino como reacción a la estimulación parasimpática. Este líquido ayuda a neutralizar al quimo ácido que entra en el duodeno desde la parte pilórica del estómago. Esta glándula elabora también la hormona polipeptídica urogastrona (se sabe ahora que es el factor del crecimiento epidérmico humano) que se descarga hacia la luz duodenal junto con el amortiguador alcalino. La urogastrona inhibe la producción de HCl y amplifica la tasa de actividad mitótica en las células epiteliales.

#### 2.3.1.1.2 Submucosa

La submucosa, una capa de tejido conectivo denso, irregular, fibroelástico, rodea la mucosa (véase fig. 2); Excepto en el esófago y el duodeno, la submucosa no contiene glándulas. Esta capa incluye vasos sanguíneos y linfáticos, un componente del sistema nervioso entérico que se conoce como plexo submucoso de Meissner.

Dicho plexo que también contiene cuerpos celulares de nervios parasimpáticos pos ganglionares, controla la motilidad de la mucosa (y en un grado limitado, la de la submucosa) y las actividades secretorias de sus glándulas.

#### 2.3.1.1.3 Muscular externa

La muscular externa suele estar compuesta por una capa circular interna y otra longitudinal externa de músculo liso. La submucosa se reviste de una capa muscular gruesa, la muscular externa que tiene a su largo la actividad peristáltica, que desplaza el contenido de la luz a lo largo del tubo alimentario. La muscular externa se compone de músculo liso (excepto en el esófago) y suele organizarse en una capa circular interna y otra longitudinal externa. Entre las dos capas se

encuentra un segundo componente del sistema nervioso entérico, el plexo mientérico de Auerbach, que regula la actividad de la muscular externa (y en un grado limitado, la actividad de la mucosa). El plexo de Auerbach también contiene algunos cuerpos nerviosos parasimpáticos posganglionares.

La reconstrucción tridimensional de la mucosa muscular y la muscular externa muestra que tanto la capa circular interna como la longitudinal externa están dispuestas en forma helicoidal. Sin embargo, el grado de inclinación de las hélices difiere; la capa circular interna muestra una hélice apretada, en tanto que la longitudinal externa tiene una hélice laxa.

#### 2.3.1.1.4 Serosa o adventicia

La muscular externa está envuelta por una capa de tejido conectivo delgada que puede rodearse o no del epitelio escamoso simple del peritoneo visceral. Si la región del conducto alimentario es intraperitoneal, se reviste de peritoneo y el recubrimiento se conoce como serosa. Si el órgano es retroperitoneal, se adhiere a la pared del cuerpo por adventicia.

#### 2.3.2 Inervación del tubo digestivo

Los sistemas nerviosos simpático y parasimpático modulan el sistema nervioso entérico que inerva el tubo alimentario. La inervación del tubo alimentario se compone de dos partes: sistema nervioso entérico y los componentes simpático y parasimpático. El principal factor de control se encuentra en el sistema nervioso entérico, que es autosuficiente; sin embargo, en condiciones normales los componentes simpático y parasimpático modifican sus funciones.



De hecho el tubo alimentario puede desempeñar todas sus funciones sin ningún problema importante si las inervaciones simpática y parasimpática de la totalidad del intestino se seccionan.

#### 2.3.2.1 Sistema nervioso entérico

El sistema nervioso entérico es un sistema autorrestringido compuesto por múltiples ganglios repetidos que se conocen como plexo submucoso de Meissner y plexo mientérico de Auerbach.

El tubo digestivo tiene su propio sistema restringido (el sistema nervioso entérico), que se extiende en toda la longitud del tubo alimentario del esófago al ano. Por consiguiente el sistema nervioso entérico controla las funciones secretorias y la motilidad del tubo alimentario. Los aproximadamente 100 millones de neuronas del sistema nervioso entérico se distribuyen en un gran número de racimos pequeños de cuerpos celulares, nerviosos y fibras neurales relacionadas en el plexo mientérico de Auerbach y el plexo submucoso de Meissner. Resulta de interés que el número de neuronas relacionadas con el sistema nervioso entérico se aproxima a la cifra total de neuronas que contiene la medula espinal, lo que sugiere que el sistema nervioso entérico es una entidad importante. Algunos investigadores proponen que debe considerarse como el tercer componente del sistema nervioso autónomo (sistemas nerviosos simpáticos, parasimpáticos y entérico).

Aunque los dos plexos tienen múltiples interconexiones, desempeñan funciones diferentes. En términos generales el plexo mientérico dirige la motilidad peristáltica del tubo digestivo, en tanto que su función secretoria y el movimiento de la mucosa así como la regulación del flujo sanguíneo localizado dependen del plexo submucoso. Más aun, el plexo mientérico no sólo se relaciona con estados locales sino también

con trastornos a lo largo de gran parte del tubo digestivo, mientras que el plexo submucoso sólo se vincula con trastornos locales en la cercanía de los racimos particulares de células nerviosas en cuestión. Como en todas las generalizaciones, las reglas tienen excepciones por tanto debe reconocerse que hay una gran interacción entre los dos grupos de plexos y se sugiere la posibilidad de controles cruzados. También se describen componentes sensoriales en la pared del tubo alimentario. Llevan información referente al contenido luminal, el estado muscular y el secretorio del intestino a los plexos cercanos al origen de los datos, así como a plexos a distancias considerables del sitio de información. De hecho parte de esta última se transmite a los ganglios simpáticos y al sistema nervioso central por fibras nerviosas que acompañan a fibras de los nervios simpáticos y parasimpáticos que inervan el intestino.

#### 2.3.2.2 Inervación parasimpática y simpática del intestino

La inervación parasimpática estimula la peristalsis, inhibe los músculos de los esfínteres y desencadena la actividad secretoria; los nervios simpáticos inhiben la peristalsis y activan los músculos de los esfínteres.

El tubo digestivo recibe su inervación parasimpática del nervio vago, excepto el colon descendente y el recto, que están inervados por terminaciones sacras. Casi todas las fibras del nervio vago son sensoriales y llevan información de receptores en la mucosa y la muscular del tubo alimentario al sistema nervioso central. A menudo las respuestas a la información se transportan después por fibras vagales que van al tubo alimentario. Este proceso se conoce como reflejo vasovagal. Las fibras parasimpáticas hacen sinapsis con cuerpos de células nerviosas parasimpáticas posganglionares y también con cuerpos de células nerviosas del sistema nervioso entérico en ambos plexos. La inervación

parasimpática induce las secreciones de las glándulas del tubo digestivo y la contracción del músculo liso.

La inervación simpática deriva de nervios espláncnicos. Las fibras simpáticas son vasomotoras y controlan el flujo sanguíneo al tubo alimentario.

En términos generales puede afirmarse que la inervación parasimpática estimula la peristalsis, inhibe los músculos de esfínteres y desencadena la actividad secretoria, en tanto que la inervación simpática inhibe la peristalsis y activa los músculos de esfínteres.

#### 2.4 Sistema digestivo del cuy

El proceso de digestión de los cuyes se inicia en la boca con la ingestión de los alimentos y la posterior trituración mecánica y masticación de los alimentos por las piezas dentarias que poseen, las cuales están diseñadas especialmente para estas funciones, teniendo como resultado la reducción del tamaño de partícula de digesta la cual se mezclará con la saliva (Bustamante, 1993; Sakaguchi, 2003, citado por Quintana, 2009).

La saliva proviene principalmente de tres pares de glándulas bilaterales (submaxilares, sublinguales y la parótida), esta posee 99% de agua y una solución de sales y mucoproteínas. Debido a la presencia de estas últimas, la saliva es un líquido muy viscoso, el cual actúa como lubricante. Gracias a estas características, la saliva participa en la formación del bolo alimenticio el cual será deglutido con facilidad, incrementado de esta manera la superficie de los alimentos para permitir actuar a las enzimas digestivas a su paso por el tracto digestivo (Bondi, 1988; Church y otros, 2009). El bolo alimenticio llega al estómago a través del esófago.

El cuy posee un estómago glandular simple, el cual sirve como reservorio de los alimentos, para controlar el paso al intestino delgado, y para iniciar la digestión enzimática principalmente de las proteínas, aunque el paso del alimento por este órgano es muy rápido. Externamente el estómago del cuy es un saco piriforme, de una coloración rosada y de textura lisa. La demarcación externa entre la parte glandular y no glandular no se aprecia. (Bondi, 1988; Ghoshal y Bal, 1989).

El epitelio del estómago no glandular es escamoso estratificado queratinizado. La mucosa del estómago glandular está revestido por un epitelio columnar simple, la secreción de moco (mucina gástrica) por las células epiteliales forman una capa protectora de la mucosa gástrica. Estas células secretoras producen conjuntamente, ácido clorhídrico, enzimas y mucina gástrica (Bondi, 1988; Ghoshal y Bal, 1989). En los estudios realizados por Maxhua y Cook (1990), realizaron las mediciones del sistema digestivo de cuyes criollos de la microrregión de Cangallo, teniendo las siguientes medidas del estómago de cuyes hembras 7.3x4.01 cm y machos 6.9x3.93 cm.

El intestino delgado es el lugar principal donde se realiza la digestión y absorción de los nutrientes de la dieta. El intestino delgado es un tubo muscular situado entre los esfínteres pilórico e íleocecal; convencionalmente se divide en tres secciones: duodeno, yeyuno e íleon, como se aprecia en la figura 1. Maxhua y Cook (1990), reportaron las medidas del intestino delgado de cuyes criollos machos y hembras, las cuales fueron 183 cm y 193 cm, respectivamente.

Los alimentos, parcialmente digeridos, luego de abandonar el estómago ingresan al intestino delgado, donde se mezclan con las secreciones del duodeno, hígado y páncreas. En esta región, las glándulas de Brünner producen una secreción alcalina, que sirve de lubricante además de proteger la pared del duodeno del ácido clorhídrico proveniente del estómago. A medida que los alimentos llegan al duodeno, la pared intestinal comienza una complicada serie de contracciones, en ambas direcciones, que mezclan los alimentos con los jugos gástricos, los ponen en contacto con la mucosa donde se realiza la absorción y empujan el quimo hacia adelante; todo este proceso toma aproximadamente dos horas (Chauca, 1995; Bondi, 1988).

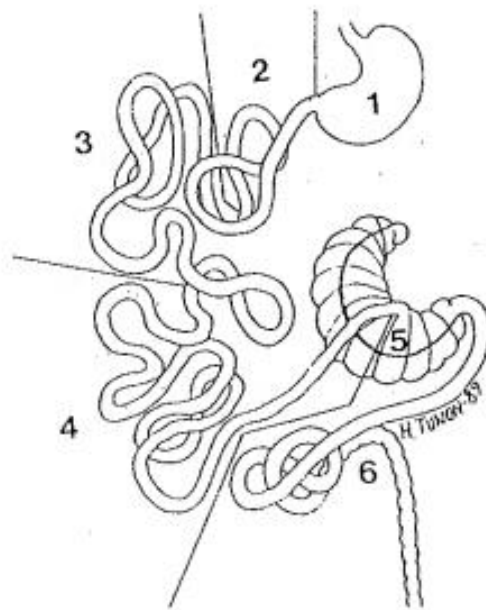


Figura 1: Aparato digestivo del cuy (*Cavia porcellus*) 1) Estómago, 2) Duodeno, 3) Yeyuno, 4) Íleon, 5) Ciego, 6) colon.

### 2.4.1 Intestino delgado

La digestión se inicia en la cavidad oral y prosigue en el estómago y en el intestino delgado, este último es la porción más larga del tubo digestivo. Se divide en tres partes o segmentos, que son duodeno, yeyuno e íleon. Aunque estos segmentos son similares desde el punto de vista histológico, hay diferencias menores que permiten su identificación.

El intestino delgado digiere el material alimenticio y observe los productos terminales del proceso de la digestión. Con objeto de efectuar sus funciones digestivas, la primera parte del intestino delgado, llamada duodeno, recibe enzimas de un amortiguador alcalino del páncreas y bilis del hígado. Por añadidura, las células epiteliales y las glándulas de la mucosa contribuyen con amortiguadores y enzimas para facilitar la digestión.

#### 2.4.1.1 Mucosa intestinal

La mucosa del intestino delgado está compuesta por las tres capas ordinarias: una capa cilíndrica simple, la lámina propia y la capa muscular de la mucosa.

##### 2.4.1.1.1 Células M o células de los micropliegues

El epitelio cilíndrico simple que reviste al intestino delgado esta sustituido por células M de tipo escamoso en las regiones en las que sobresalen del epitelio los nódulos linfoides. Se cree que estas células M pertenecen al sistema de fagocitos mononucleares de células, y muestrean, fagocitan y transportan a los antígenos que se encuentran en la luz intestinal.

#### 2.4.1.1.2 Lámina propia

El tejido conectivo laxo de la lámina propia forma el centro de cada una de las vellosidades, que como arboles de un bosque salen sobre la superficie del intestino delgado. El resto de la lámina propia, que se extiende hasta la capa muscular de la mucosa, se encuentra comprimida en láminas delgadas de tejido conectivo muy vascularizado a causa de las numerosas glándulas intestinales tubulares, llamadas criptas de Lieberkuhn. La lámina propia es también rica en células linfoides, que ayudan a proteger a la túnica intestinal contra la invasión de microorganismos, como se describirá más adelante.

##### 2.4.1.1.2.1 Criptas de Lieberkuhn

Las criptas de Lieberkuhn son glándulas tubulares simples (o tubulares ramificadas). Estas glándulas se abren hacia los espacios intervellosos como perforaciones de la túnica epitelial. Las micrografías electrónicas de centelleo indican que la base de cada vellosidad está rodeada por las aberturas de numerosas criptas. Estas glándulas tubulares están compuestas por células superficiales de absorción, células caliciformes, células regenerativas, células enteroendocrinas y células Paneth.

##### 2.4.1.1.2.1.1 Células de Paneth

Las células de Paneth se distinguen con claridad por la presencia de gránulos de secreción eosinófilos apicales de gran tamaño. Estas células de forma piramidal ocupan el fondo de las criptas de Lieberkuhn y elaboran el agente antibacteriano lisozima. A diferencia de las otras células del epitelio intestinal, las células de Paneth tienen una vida prolongada y secretan lisozima de manera continua. Las

micrográficas electrónicas de estas células ponen de manifiesto un aparato de Golgi bien desarrollado, un gran complemento de RER, numerosas mitocondrias y grandes gránulos de secreción apicales que albergan un producto secretorio homogéneo.

#### 2.4.1.2 Epitelio

El epitelio cilíndrico simple que recubre a las vellosidades y a la superficie de los espacios intervellosos está compuesto por células superficiales de absorción, células caliciformes y células enteroendocrinas.

##### 2.4.1.2.1 Células superficiales de absorción

Las células más numerosas del epitelio son las células superficiales de absorción. Se trata de células altas, de cerca de 25  $\mu\text{m}$  de longitudinal, con núcleos ovales localizados a nivel basal. Su superficie apical tiene un borde en cepillo y en las preparaciones de buena clase se observan también barras terminales. Las funciones principales de estas células son digestión terminal y absorción de agua y nutrientes. Por añadidura, estas células reesterifican los ácidos grasos en triglicéridos, forman quilomicrones y transportan la mayor parte de los nutrientes absorbidos hacia la lámina propia para su distribución hacia el resto del cuerpo. Más adelante, se hablará del proceso de absorción.

Las micrográficas electrónicas de estas células ponen de manifiesto numerosas microvellosidades, de cerca de 1  $\mu\text{m}$  de longitud, cuyas puntas están cubiertas por una capa de glucocáliz gruesa. La capa de glucocáliz no solo protege a las microvellosidades contra la autodigestión, sino que sus componentes enzimáticos funcionan en la digestión terminal de los dipéptidos y los disacáridos hasta sus monómeros. El centro de actina de



las microvellosidades se encuentra fijo en la actina y los filamentos intermedios de la membrana celular. El citoplasma de las células superficiales de absorción es rico en organitos, en especial endosomas, retículo endoplasmático liso, RER y aparato de Golgi. Las membranas celulares laterales de estas células forman zónulas ocluyentes, zónulas adherentes, desmosomas y uniones comunicantes o de intersticio con las células adyacentes. Las uniones estrechas impiden el paso de material por vía paracelular hacia la luz del intestino o desde esta.

#### 2.4.1.2.2 Células Caliciformes

Las células caliciformes son glándulas unicelulares, el duodeno tiene el número más pequeño de células caliciformes, y el número de estas se incrementa hacia el íleon. Estas células elaboran mucinógeno, cuya forma hidratada es mucina, un componente del moco, que forma una capa protectora que reviste la luz.

Las células superficiales de absorción y caliciformes ocupan la mitad superior de la glándula. Estas células caliciformes tienen una vida breve se cree que después de descargar su mucinógeno mueren y se descaman. La mitad basal de la glándula carecen de células superficiales de absorción, y solo tiene unas cuantas células caliciformes; a este nivel la mayor parte son células regenerativas (y sus descendientes), células enteroendocrinas y células de Paneth.

#### 2.4.1.2.3 Células enteroendocrinas

El intestino delgado tiene varios tipos de células enteroendocrinas que producen hormonas paracrinas y endocrinas. Cerca de 1% de células que cubren las vellosidades y la superficie intervallosa del intestino delgado son células enteroendocrinas.

#### 2.4.1.3 Sistemas linfáticos y vasculares del intestino delgado

El intestino delgado cuenta con un sistema linfático y vascular bien desarrollado. Contiene capilares linfáticos de terminación ciega, llamados vasos quilíferos, que se encuentran localizados en los centros de las vellosidades y que descargan su contenido en el plexo linfático submucoso. Desde aquí la linfa pasa por una serie de ganglios linfáticos hasta descargarse en el conducto torácico, el vaso linfático más grande del cuerpo. El conducto torácico vacía su contenido en el sistema circulatorio a nivel de la unión entre las venas yugular interna y subclavia izquierdas.

Los haces capilares adyacentes a los vasos quilíferos drenan en los vasos sanguíneos que son tributarios del plexo vascular submucoso. La sangre parte desde aquí hacia la vena porta para entrar en el hígado para el procesamiento de su contenido.

#### 2.4.1.4 Diferencias regionales

El duodeno es el segmento más corto del intestino delgado. Recibe bilis proveniente del hígado y jugos digestivos provenientes del páncreas oír los conductos colédocos y pancreático, respectivamente, que se abren en su luz a nivel de la papila duodenal (papila de váter). El duodeno difiere del yeyuno y el íleon en que sus vellosidades son más anchas, más altas y más numerosas por unidad de área. Cuenta con menos células caliciformes por unidad de área que los otros segmentos, y hay glándulas de Brunner en su submucosa.

Las vellosidades de yeyuno son más estrechas, más cortas y más escasas que las del duodeno. El número de células caliciformes por área de unidad es mayor en el yeyuno que en el duodeno.

Las vellosidades del íleon son las más escasas, cortas y estrechas de los tres segmentos del intestino delgado. La lámina propia del íleon alberga acúmulos permanentes de nódulos linfoides, conocidos como placas de Peyer. Estas estructuras se encuentran localizadas en la pared del íleon opuesta a la inserción del mesenterio (borde antimesentérico).

#### 2.4.1.5 Histofisiología del intestino delgado

Además de sus funciones en la digestión y la absorción, el intestino delgado manifiesta actividad inmunológica y secretoria. Se consideraran primero estas actividades, y a continuación se describirá la función primaria del intestino delgado.

##### 2.4.1.5.1 Actividad secretoria del intestino delgado

Las glándulas del intestino delgado secretan moco y un líquido acuoso como reacción a la estimulación nerviosa y hormonal. La estimulación nerviosa, que se origina en el plexo submucoso, es el factor desencadenante principal, pero las hormonas secretina y colecistocinina desempeñan también una parte menor en la regulación de las actividades secretorias de las glándulas de Brunner en el duodeno y de las criptas de Lieberkuhn.

Las células enteroendocrinas del intestino delgado producen numerosas hormonas que afectan al movimiento del intestino delgado y ayudan a regular la secreción gástrica de HCl y la descarga de secreciones pancreáticas.

#### 2.4.1.6 Movimientos del intestino delgado

Los movimientos del intestino delgado se pueden subclasificar en dos fases interrelacionadas, de mezcla y propulsores. Las contracciones de mezcla están más localizadas, y retribuyen de manera secuencial al quimo para exponerlo a los jugos digestivos.

Las contracciones propulsoras ocurren como ondas peristálticas que facilitan el desplazamiento del quimo a lo largo del intestino delgado. Como este se desplaza en un promedio de 1 a 2 cm por minuto, pasa varias horas dentro del intestino delgado. La tasa de la peristalsis se encuentra bajo el control de impulsos nerviosos y factores hormonales. Como reacción a la distensión gástrica, ocurre un reflejo gastroenterico mediado por el plexo mientérico que brinda el ímpetu nervioso para la peristalsis del intestino delgado. Las hormonas colecistocinina, gastrina, motilina, sustancia P y serotonina incrementan la motilidad intestinal, en tanto que secretina y glucagón la disminuyen.

#### 2.4.1.7 Digestión

El quimo que entra en el duodeno se encuentra en el proceso de digestión por las enzimas producidas por las glándulas de la cavidad bucal y del estómago. El proceso de digestión se intensifica en el duodeno por acción de las enzimas derivadas del páncreas exocrino. La desintegración final de las proteínas y los carbohidratos se produce a nivel de las microvellosidades, en las que dipeptidasas y disacaridasas, adheridas al glucocáliz, liberan aminoácidos y monosacáridos individuales. Estos monómeros se transportan hacia las células superficiales de absorción mediante proteínas transportadoras específicas. Los lípidos se emulsionan por acción de las sales biliares segrega a los monoglicéridos y a los ácidos grasos en micelas, de 2nm

de diámetro, que se difunden hacia las células superficiales de absorción a través de su plasmalema.

#### 2.4.1.8 Absorción

Cada día las células superficiales de absorción del intestino delgado absorben líquido, sodio, carbohidratos y proteínas y grasa. Agua, aminoácidos, iones y monosacáridos entran en las células superficiales de absorción y se descargan hacia el espacio intracelular a nivel de la membrana basolateral. Estos nutrientes entran a continuación en el lecho capilar de las vellosidades y se transportan hacia el hígado para su procesamiento.

Entran ácidos grasos de cadena larga y monoglicéridos en el retículo endoplásmico liso de la célula superficial de absorción, y en este sitio se reesterifican hasta triglicéridos. Los triglicéridos se transfieren al aparato de Golgi, en el que se combinan con una cubierta de B-lipoproteína, elaborada en el RER para formar quilomicrones. Estas grandes gotitas lipoproteínicas, empacadas dentro del aparato de Golgi y descargadas desde este, se transportan hacia la membrana celular basolateral para descargarse en la lámina propia. Los quilomicrones entran en los vasos quilíferos y llenan a estos vasos linfáticos de terminación ciega con una sustancia rica en lípidos que se llama quilo. Las contracciones rítmicas de las células de músculo liso localizadas en los centros de las vellosidades producen acortamiento de cada una de ellas, que actúan en este momento como jeringas e inyectan el quilo desde el vaso quilífero hacia el plexo submucoso e los vasos linfáticos.

Los ácidos grasos de cadena corta (menos de 12 carbonos de longitud) no entran en el retículo endoplásmico liso para su reesterificación. Estos ácidos grasos libres, cortos lo suficiente para ser

hidrosolubles en cierto grado, progresan hacia la membrana basolateral de la célula superficial de absorción se difunden hacia la lámina propia y entran en las asas capilares con la finalidad de descargarse en el hígado para su procesamiento.

#### 2.4.1.9 Células regenerativas

Las células regenerativas del intestino delgado son células madres que proliferan de manera extensa para repoblar el epitelio de las criptas, la superficie mucosa y las vellosidades. Son células estrechas que parecen estar encajadas a manera de cuña en espacios limitados entre las células recién formadas. Su tasa de división es elevada, con un ciclo celular relativamente breve de 24 horas. Se ha sugerido que, cinco a siete días después de la aparición de la nueva célula, esta habrá progresado hasta la punta de la vellosidad y se habrá exfoliado. Las micrografías electrónicas de estas células indiferenciadas ponen de manifiesto pocos organitos pero muchos ribosomas libres. Sus núcleos ovales únicos y de localización basal son translucidos a los electrones, lo que indica la presencia de una gran cantidad de eucromatina.

#### 2.4.2. Aspectos histológicos en común

Como los tres segmentos del intestino delgado son semejantes desde el punto de vista histológico, se hablara primero de sus aspectos en común. Después de esta descripción se describirán las variaciones a partir de este plan de organización para cada segmento, y por último se consideraran los aspectos funcionales.

### 2.4.3 Modificaciones de la superficie luminal

La superficie luminal del intestino delgado esta modificada para incrementar su área. Son tres los tipos de modificaciones que se han observado: pliegues circulares (válvulas de kerckring), vellosidades y microvellosidades.

Los pliegues circulares son pliegues transversos de la mucosa que forman elevaciones semicirculares a helicoidales, algunas hasta de 8mm de altura y 5 cm de largo. A diferencia de las arrugas del estómago, estos son repliegues permanentes de duodeno y yeyuno y terminan en la mitad proximal del íleon. Incrementa el área de superficie por un factor de dos a tres.

Las vellosidades son protrusiones digitiformes de la lámina propia cubiertas por epitelio. El centro de cada vellosidad contiene asas capilares, un conducto linfático de terminación ciega (vaso quilífero) y algunas fibras de musculo liso, embebidos en tejido conectivo laxo y rico en células linfoides. Las vellosidades son estructuras permanentes. Sus números son mayores en el duodeno que en el yeyuno e íleon. Además, su altura disminuye desde 1.5 mm en el duodeno hasta cerca de 0.5 mm en el íleon. Estas estructuras delicadas confieren un aspecto aterciopelado a la túnica del órgano viviente. Las vellosidades aumentan el área de superficie del intestino delgado por un factor de 10.

Las microvellosidades, modificaciones del plasmalema apical de las células epiteliales que cuben a las vellosidades intestinales, aumentan el área de superficie del intestino delgado por un factor de 20. Por tanto, los tres tipos de modificaciones de la superficie del intestino incrementan el área total de superficie disponible para la absorción de nutrientes por un factor de 400 a 600.

Las invaginaciones del epitelio hacia el interior de la lámina propia entre las vellosidades forman glándulas intestinales, llamadas criptas de Lieberkuhn, que aumentan también el área de superficie del intestino delgado.

Luego del intestino delgado se localiza el intestino grueso el cual se compone del ciego, colon y recto. El intestino grueso es más corto que el intestino delgado, pero tiene un diámetro considerablemente mayor. El ciego es un órgano muy importante en el cuy, ya que junto al colon proximal pueden contener hasta el 65% de la digesta. El ciego del cuy posee capacidad fermentativa por la compleja flora que lo habita (Snipes, 1982 citado por Quintana 2009; Sakaguchi *et al.*, 1992; Johnson-Delaney, 2006, citado por Quintana, 2009).

A pesar de los procesos ocurridos en el estómago y en el intestino delgado, existen componentes de los alimentos resistentes a estas enzimas gástricas y entéricas, estos componentes no digeridos llegan al intestino grueso. Las secreciones del intestino grueso se componen de un líquido acuoso carente de enzimas, que contiene bicarbonato sódico y mucina, que lubrica los restos de los alimentos a su paso por el intestino grueso, así como la superficie interna. La digestión en el ciego tiene lugar como resultado de la actividad microbiana, realizada por una población microbiana semejante a la existente en el rumen. La actividad microbiana es especialmente intensa en la degradación de la celulosa (Bondi, 1988).

La digestión fermentativa se lleva a cabo en aproximadamente 48 horas, producto de este proceso se obtienen ácidos grasos de cadena corta, vitaminas del complejo B y proteína microbiana, pero sólo se absorben a este nivel los ácidos grasos volátiles, vitaminas y agua (Rico y Rivas, 2003, citado por Quintana, 2009).



Por otro lado, los cuyes desarrollan la cecotrófia, como un mecanismo de compensación biológica que le permite el máximo aprovechamiento de sus productos metabólicos, ante la desventaja nutricional que representa el hecho de que gran parte de la digestión ocurra en porciones posteriores del tracto gastrointestinal (Chauca y Saravia, 1976). La actividad cecotrófia es poco estudiado y es por ésta que el cuy puede aprovechar las proteínas bacterianas presentes en el ciego, así como la reutilización del nitrógeno proteico y no proteico que no haya sido digerido en el intestino delgado, con índices diferenciales de digestibilidad (Hidalgo, 2000).

Para que la población microbiana cecal se mantenga constante y sea eficiente la digestión fermentativa, el cuy desarrolla el mecanismo de separación colónica (Holtenius y Bjornhag, 1985; Sakaguchi, 2003), el cual consiste en movimientos antiperistálticos en los surcos del colon proximal que retornan los microorganismos desde el colon proximal hacia el ciego, resultando en una retención selectiva de microorganismos. Hasta esa fase, el funcionamiento del tubo digestivo del cuy no difiere del de los demás monogástricos. En cambio, su originalidad reside en el funcionamiento dual del colon proximal.

Los estudios de nutrición nos permiten determinar los requerimientos óptimos que necesitan los animales para lograr un máximo de productividad, pero para llevar con éxito una crianza es imprescindible manejar bien los sistemas de alimentación, ya que ésta no solo es nutrición aplicada, sino un arte complejo en el cual juegan importante papel los principios nutricionales y los económicos.

En cuyes los sistemas de alimentación se adaptan de acuerdo a la disponibilidad del alimento. La combinación de alimentos dada por la restricción, sea del concentrado o del forraje, hacen del cuy una especie

versátil en su alimentación, pues puede comportarse como herbívoro o forzar su alimentación en función de un mayor uso de balanceados.

## 2.5 Alimentación

La alimentación en cuyes es uno de los aspectos más importantes, debido a que de éste depende el éxito de la producción, por tanto se debe garantizar la producción de forraje suficiente considerando, que el cuy es un animal herbívoro y tiene una gran capacidad de consumo de forraje. La alimentación consiste en hacer una selección y combinación adecuada de los diferentes nutrientes que tienen los alimentos con el fin de obtener una eficiencia productiva desde el punto de vista económico y nutricional (Vela, 2006).

### 2.5.1 Alimentación con forraje:

El cuy es una especie herbívora por excelencia, su alimentación es sobre todo a base de forraje verde y ante el suministro de diferentes tipos de alimento, muestra siempre su preferencia por el forraje. Existen ecotipos de cuyes que muestran una mejor eficiencia como animales forrajeros. Al evaluar dos ecotipos de cuyes en el Perú se encontró que los de la sierra norte fueron más eficientes cuando recibían una alimentación a base de forraje más concentrado, pero el ecotipo de la sierra sur respondía mejor ante un sistema de alimentación a base de forraje (Sandoval, 2013)

Las leguminosas por su calidad nutritiva se comportan como un excelente alimento, aunque en muchos casos la capacidad de ingesta que tiene el cuy no le permite satisfacer sus requerimientos nutritivos. Las gramíneas tienen menor valor nutritivo por lo que es conveniente combinar especies gramíneas y leguminosas, enriqueciendo de esta manera las primeras. Cuando a los cuyes se les suministra una

leguminosa (alfalfa) su consumo de materia seca en 63 días es de 1,636 kg., valor menor al registrado con consumos de chala de maíz o pasto elefante. Los cambios en la alimentación no deben ser bruscos; siempre debe irse adaptando a los cuyes al cambio de forraje. Esta especie es muy susceptible a presentar trastornos digestivos, sobre todo las crías de menor edad.

Los forrajes más utilizados en la alimentación de cuyes en la costa del Perú son la alfalfa (*Medicago sativa*), la chala de maíz (*Zea mays*), el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), la hoja de camote (*Hypomea batata*), la hoja y tronco de plátano, malezas como la abadilla, el gramalote, la grama china (*Sorghum halepense*), entre otras malezas. En la región andina se utiliza alfalfa, rye grass, trébol, retama y malezas. Los niveles de forraje suministrados van entre 80 y 200 g/animal/día. Con 80 g/animal/día de alfalfa se alcanzan pesos finales de 812,6 g con un incremento de peso total de 588,2 g. El suministro de 200 g/animal/ día permite lograr pesos finales de 1 039 g, siendo sus incrementos totales 631 g. (Paredes y otros, 1972).

Estas cantidades suministradas de forraje son bajas al compararlas con las registradas en los trabajos realizados en Colombia donde se señalan suministros de 500 g de forraje fresco, siendo los más comunes el rye grass, tetraploides (*Solium sp*), kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), saboya, brasilero imperial, puntazo, elefante, micay y guinea. Estos forrajes han sido utilizados en crecimiento y engorde de cuyes (Caycedo, 1993). La frecuencia en el suministro de forraje induce a un mayor consumo y por ende a una mayor ingesta de nutrientes.

### 2.5.2. Alimentación mixta

La disponibilidad de alimento verde no es constante a lo largo del año, hay meses de mayor producción y épocas de escasez por falta de agua de lluvia o de riego. En estos casos la alimentación de los cuyes se torna crítica, habiéndose tenido que estudiar diferentes alternativas, entre ellas el uso de concentrado, granos o subproductos industriales (afrecho de trigo o residuo seco de cervecería) como suplemento al forraje.

Diferentes trabajos han demostrado la superioridad del comportamiento de los cuyes cuando reciben un suplemento alimenticio conformado por una ración balanceada. Un animal mejor alimentado exterioriza mejor su bagaje genético y mejora notablemente su conversión alimenticia que puede llegar a valores intermedios entre 3,09 y 6. Cuyes de un mismo germoplasma alcanzan incrementos de 546,6 g cuando reciben una alimentación mixta, mientras que los que recibían únicamente forraje alcanzaban incrementos de 274,4 g.

### 2.5.3. Alimentación a base de concentrado.

El utilizar un concentrado como único alimento, requiere preparar una buena ración para satisfacer los requerimientos nutritivos de los cuyes. Bajo estas condiciones los consumos por animal/día se incrementan, pudiendo estar entre 40 a 60 g/animal/día, esto dependiendo de la calidad de la ración. El porcentaje mínimo de fibra debe ser 9 por ciento y el máximo 18 por ciento. Bajo este sistema de alimentación debe proporcionarse diariamente vitamina C. El alimento balanceado debe en lo posible peletizarse, ya que existe mayor desperdicio en las raciones en polvo. El consumo de MS en cuyes alimentados con una ración peletizada es de 1,448 kg., mientras que cuando se suministra en polvo se incrementa a 1,606 kg., este mayor gasto repercute en la menor eficiencia de su conversión alimenticia.

## 2.6 Necesidades nutricionales acorde con las funciones productivas

Las escalas de alimentación están dadas por las diferentes categorías y en que la alimentación de los cuyes está basada en una proporción cercana a 90% de forraje y 10% de concentrado (Sandoval, 2013). Teniendo en cuenta esos aspectos los requisitos nutricionales del cuy son los siguientes:

Cuadro 3. Requisitos nutricionales del cuy

Edad	Forraje (g)	Concentrado (g)
Lactantes	100 a 200	10
Recién destetados	200 a 300	20 (10% PB)
Crecimiento	80 a 100 a la 4ta semana	30
	120 a 160 a la 8va semana	
Adulto	300 – 400	30

Fuente: NRC 2005. Requerimientos mínimos, no incluye márgenes de seguridad

### 2.6.1 Crecimiento y engorde

Etapa que corresponde desde el destete (de 15 a 30 días) hasta el momento del sacrificio (90 días)

Se debe proporcionar alimento adecuado tanto en cantidad como calidad para que tenga un desarrollo satisfactorio. En esta etapa el crecimiento es rápido y los animales responden bien a una alimentación equilibrada. La fase de recría tiene una duración de 45 a 60 días dependiendo de la línea y alimentación empleada, es recomendable no prolongar por mucho tiempo, para evitar peleas entre machos, las cuales causan heridas y malogran la calidad de la carcaza o canal. Los cobayos que no reúnen las características para ser reproductores son destinados para el matadero y no debe prolongarse para evitar engrasamiento en el canal (Vivas y Carballo, 2009).

En crecimiento se logran incrementos diarios de peso entre 9.32 y 10.45 g/animal/día. Si se maneja esta etapa con raciones de alta energía y con cuyes mejorados se alcanzan incrementos de 15 g diarios. Del mismo modo los gazapos alcanzan a triplicar su peso de nacimiento y el 55% del peso de destete. Los machos muestran pesos e incrementos de peso estadísticamente superiores a los de las hembras. Los cuyes se engordan hasta que alcanzan un peso vivo de unos 750 – 850 g, que es el tamaño que requiere el mercado. Con una buena alimentación compuesta de forraje y concentrado balanceado se logra obtener cuyes con pesos ideales para el consumo (1000 gramos) a los 3 meses. Aquí es cuando la curva de convertibilidad alimenticia alcanza su máximo valor y las hembras de calidad que presentan buenas características entran a las pozas de empadre (Mantilla, 2012).

## 2.7 Necesidades nutritivas

La nutrición juega un rol muy importante en toda explotación pecuaria, el adecuado suministro de nutrientes conlleva a una mejor producción. Los nutrientes requeridos por el cuy son similares a los requeridos por otras especies domésticas y están constituidos por agua, aminoácidos, energía, minerales y vitaminas. Los requerimientos dependen de la edad, estado fisiológico, genotipo y medio ambiente donde se desarrolla la crianza. Los cuyes como productores de carne precisan del suministro de una alimentación completa y bien equilibrada que no se logra si se suministra únicamente forraje, a pesar que el cuy tiene una gran capacidad de consumo (Morales, 2009).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar de Estudio**

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Histología, Embriología y Patología Veterinaria de la Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Privada Antenor Orrego de la ciudad de Trujillo

#### **3.2. Materiales**

##### **3.2.1 Material biológico**

Se incluyó en el estudio un total de 12 cobayos, 4 criollos y 4 mejorados que recibieron alfalfa como dieta y 4 mejorados que recibieron alfalfa más concentrado, todos en fase de crecimiento de 51 días de edad.

#### **3.3. Manejo de la variable**

##### **3.3.1. Lugar de procedencia:**

Cuyes del Valle de Condebamba de la provincia de Cajabamba, Cajamarca.

- a. Criollos
- b. Mejorados

##### **3.3.2 Especímenes**

Los especímenes machos, clínicamente sanos y sin malformaciones fueron sacrificados por traumatismo encéfalo craneano, se procedió a exponer y diseccionar el tracto intestinal considerando duodeno, yeyuno e íleon.

### 3.3.3. Material y equipo de Laboratorio

- Equipo de disección
- Frascos rotulados con formol al 10%
- Microscopio de luz con cámara incorporada Carl Zeiss

### 3.3.4 Toma de muestras

Utilizando pinzas y tijeras se extrajeron muestras de aproximadamente 1cm<sup>2</sup> de cada uno de los componentes de la porción tubular del tracto intestinal.

### 3.3.5 Fijación de las muestras

Las muestras obtenidas fueron inmersas, para su fijación, en Formalina al 10% y conservadas en frascos de vidrio rotulados hasta su procesamiento.

### 3.3.6 Deshidratación y aclaramiento de las muestras

Las muestras fijadas se sometieron a pasajes por etanol en diferentes concentraciones y tiempos, siguiendo el siguiente flujo.

Cuadro 4. Deshidratación y aclaramiento de las muestras

		Deshidratación				Aclaramiento
	Agua	Etanol 70%	Etanol 90%	Etanol 96%	Etanol 100%	Xileno
Tiempo	3x10 min	3x 10min	3x 10min	3x 10min	4x 10min	3 x 10min

### 3.3.7 Inclusión en parafina

Las muestras deshidratadas y aclaradas se incluyeron en parafina, la misma que se mantuvo semilíquida en estufa a 60 °C



luego se vertieron en moldes hasta su solidificación a medio ambiente.

### 3.3.8 Corte histológico

Obtenido el molde de parafina que contiene la muestra, utilizando un micrótomo de rotación, se procedió a realizar los cortes micrométricos (10um), obteniendo el corte del tejido impregnado en películas delgadas de parafina.

### 3.3.9 Montaje en lámina portaobjetos

Las películas de parafina se extendió en Baño de María (40-50°C), se recuperó el corte y se montó sobre una lámina portaobjetos a la cual previamente se colocó una gota de albúmina glicerizada como pegamento.

### 3.3.10 Tinción de cortes histológicos

Obtenidos los cortes histológicos y montados sobre la lámina portaobjetos, se procedió a la tinción núcleo citoplasmática utilizando colorante corriente de Hematoxilina y Eosina siguiendo el siguiente flujo.

Cuadro 5. Desparafinado e hidratación de los cortes histológicos

Desparafinado		Hidratación			
	Xileno	Etanol 100%	Etanol 96%	Etanol 80%	Agua destilada
Tiempo	2 x 10min	2x10min	10min	10min	10min

Cuadro 6. Tinción de los cortes histológicos

Tinción					
	Hematoxilina	Agua corriente	Agua destilada	Eosina	Agua destilada
Tiempo	3min	15min	2 x 10min	30seg	10min

Cuadro 7. Deshidratación de los cortes histológicos

Deshidratación				
	Etanol 80%	Etanol 96%	Etanol 100%	Xileno
Tiempo	10min	10min	2X 10min	2 X 10min

### 3.3.11 Montaje

Luego de la tinción y seca la muestra, adicionando una gota de Bálsamo de Canadá, se colocó una laminilla cubreobjetos evitando, por presión la formación de burbujas de aire.

### 3.3.12 Lectura

Por microscopía óptica se realizó la lectura de los cortes para identificar las estructuras anatómicas de los componentes del tubo intestinal.

## 3.4. Variables a evaluar

- Altura de vellosidades (um)
- Profundidad de cripta (um)
- Relación vellosidad/cripta

### 3.5. Análisis Estadístico

Los resultados de cada variable fueron comparados a través de un análisis de variancia y los promedios comparados por la Prueba de Tukey con una confiabilidad del 95% utilizando la ayuda de Microsoft Excel 2010.

## IV. RESULTADOS

### 4.1 Evaluación del duodeno

En el Cuadro 8, se muestran los resultados promedio de altura de vellosidades cuyas mediciones son similares para cuyes mejorados y criollos, la profundidad de cripta es mayor ( $P<0.01$ ) en cuyes mejorados y la relación vellosidad/cripta es menor también en cuyes mejorados ( $P<0.01$ ). Según el sistema de alimentación, cuyes mejorados que recibieron como dieta alfalfa más concentrado presentan una mayor altura de vellosidades, mayor relación vellosidad/cripta ( $P<0.01$ ) sin afectar la profundidad de cripta

Cuadro 8. Promedios de altura de vellosidad y profundidad de cripta del duodeno en cuyes según grupo genético y sistema de alimentación.

Evaluación <sup>1</sup>	Altura de Vellosidades (um)	Profundidad de Cripta (um)	Relación V:C
<b>Grupo Genético</b>			
Criollo	218.48 a	41.40 b	5.61 a
Mejorado	230.76 a	54.18 a	4.34 b
C.V. <sup>2</sup> , %	21.19	21.88	27.00
Sig <sup>3</sup>		**	**
<b>Sistema de alimentación</b>			
Alfalfa	194.60 b	52.92 a	3.728 b
Alfalfa más concentrado	267.99 a	53.98 a	4.934 a
C.V. <sup>2</sup> , %	21.18	16.05	24.51
Sig <sup>3</sup>	**		**

<sup>1</sup> En cada evaluación, promedios seguidos de letras diferentes en la misma columna difieren entre si

<sup>2</sup> C.V. Coeficiente de variación

<sup>3</sup> Sig: Nivel de significancia: \*\* =  $P<0.01$

En la figura 2 se aprecia las fotomicrografías del intestino delgado, región duodenal del cuy criollo y mejorado respectivamente, se pueden observar las vellosidades de diversa configuración con un epitelio prismático y en la submucosa las glándulas de Brunner.

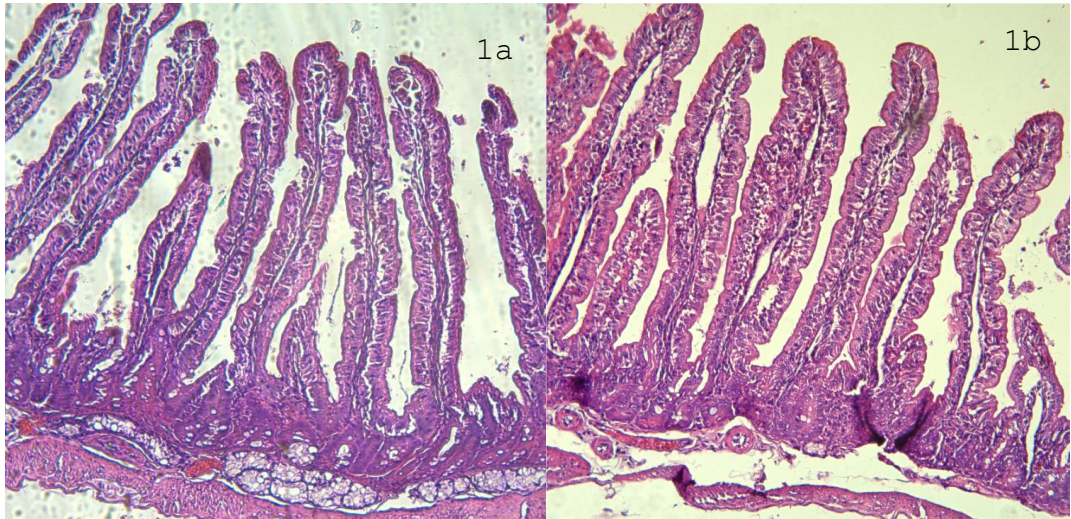


Figura 2. Fotomicrografía (400x) de la vellosidad duodenal de *Cavia porcellus* criollos (1a) y mejorados (1b)

## 4.2 Evaluación en el yeyuno

En el Cuadro 9, se muestran los resultados promedio de altura de vellosidades cuyas mediciones son similares para cuyes mejorados y criollos, la profundidad de cripta es mayor ( $P < 0.05$ ) en cuyes mejorados y la relación vellosidad/cripta es menor también en cuyes mejorados ( $P < 0.01$ ). Según el sistema de alimentación, cuyes mejorados que recibieron como dieta alfalfa más concentrado presentan una mayor ( $P < 0.05$ ) altura de vellosidades, sin afectar la profundidad de la cripta ni relación vellosidad/cripta.

Cuadro 9. Promedio de altura de vellosidad y profundidad de cripta del yeyuno de cuyes según el grupo genético y sistema de alimentación.

Evaluación <sup>1</sup>	Altura de Vellosidades (um)	Profundidad de Cripta (um)	Relación V : C
<b>Grupo Genético</b>			
Criollo	203.53 a	41.43 b	5.19 a
Mejorado	191.83 a	46.20 a	4.19 b
C.V. <sup>2</sup> , %	14.37	19.33	16.35
Sig <sup>3</sup>		*	**
<b>Sistema de alimentación</b>			
Alfalfa	178.15 b	45.72 a	3.96 a
Alfalfa más concentrado	210.24 a	46.52 a	4.67 a
C.V. <sup>2</sup> , %	26.02	22.18	26.67
Sig <sup>3</sup>	*		

<sup>1</sup> En cada evaluación, promedios seguidos de letras diferentes en la misma columna difieren entre si

<sup>2</sup> C.V. Coeficiente de variación

<sup>3</sup> Sig: Nivel de significancia: \* =  $P < 0.05$  \*\* =  $P < 0.01$

En la figura 3 se aprecia las fotomicrografías del intestino delgado, región yeyuno del cuy criollo y mejorado respectivamente, en la imagen se pueden observar las vellosidades más rectas y planas (2a) que corresponde a *Cavia porcellus* criollo a diferencia del mejorado (2b) que presenta unas vellosidades más sinuosas y bien delimitadas.

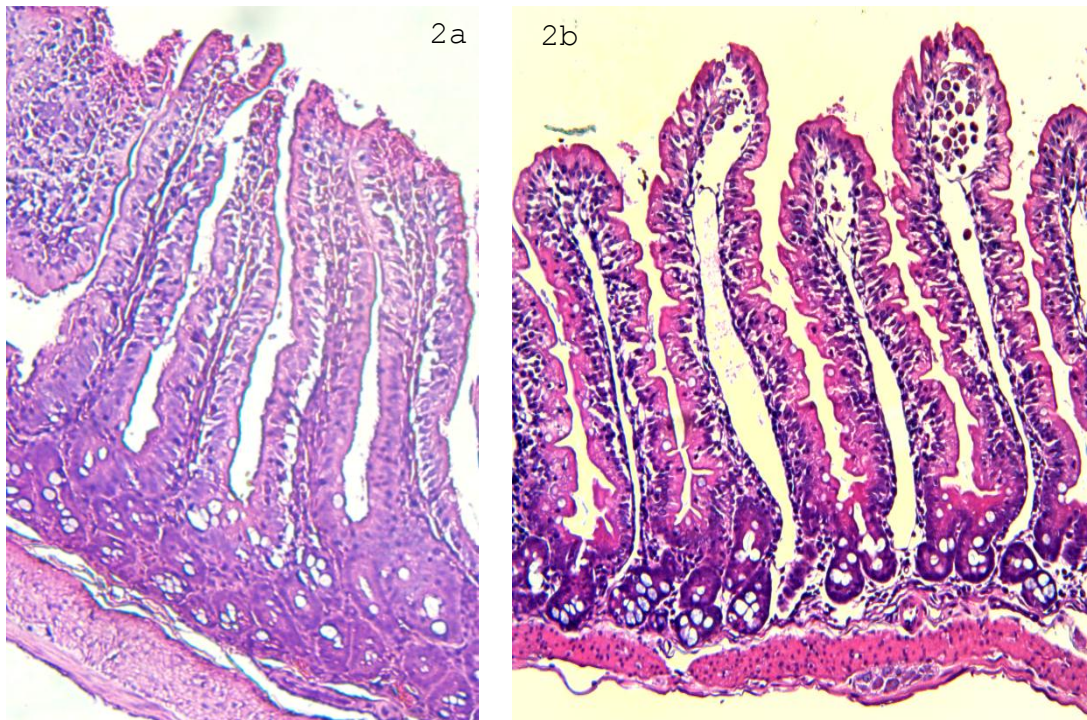


Figura 3. Fotomicrografía (400x) de la vellosidad del yeyuno de *Cavia porcellus* criollos (2a) y mejorados (2b)

### 4.3 Evaluaciones en el íleon

En el cuadro 10, se muestran los resultados promedio de altura de vellosidades cuyas mediciones son similares para cuyes mejorados y criollos, la profundidad de cripta es mayor ( $P < 0.01$ ) en cuyes mejorados y la relación vellosidad/cripta son similares para cuyes mejorados y criollos. Según el sistema de alimentación, cuyes mejorados que recibieron como dieta alfalfa más concentrado presentan una mayor altura de vellosidades, mayor profundidad de cripta y mayor relación vellosidad/cripta ( $P < 0.01$ ).

Cuadro 10. Promedio de altura de vellosidad y profundidad de cripta del íleon de cuyes según el grupo genético y sistema de alimentación.

Evaluación <sup>1</sup>	Altura de Vellosidades (um)	Profundidad de Cripta (um)	Relación V : C
<b>Grupo genético</b>			
Criollo	151.95 a	31.74 b	4.88 a
Mejorado	166.54 a	36.35 a	4.59 a
C.V. <sup>2</sup> , %	20.12	17.65	21.37
Sig <sup>3</sup>		**	
<b>Sistema de alimentación</b>			
Alfalfa	149.86 b	34.59 b	4.04 b
Alfalfa más concentrado	187.96 a	39.51 a	5.50 a
C.V. <sup>2</sup> , %	21.11	18.22	17.97
Sig <sup>3</sup>	**	**	**

<sup>1</sup> En cada evaluación, promedios seguidos de letras diferentes en la misma columna difieren entre si

<sup>2</sup> C.V. Coeficiente de variación

<sup>3</sup> Sig: Nivel de significancia: \*\* =  $P < 0.01$



En la figura 4 se aprecia las fotomicrografías del intestino delgado, región duodenal del cuy criollo y mejorado respectivamente.

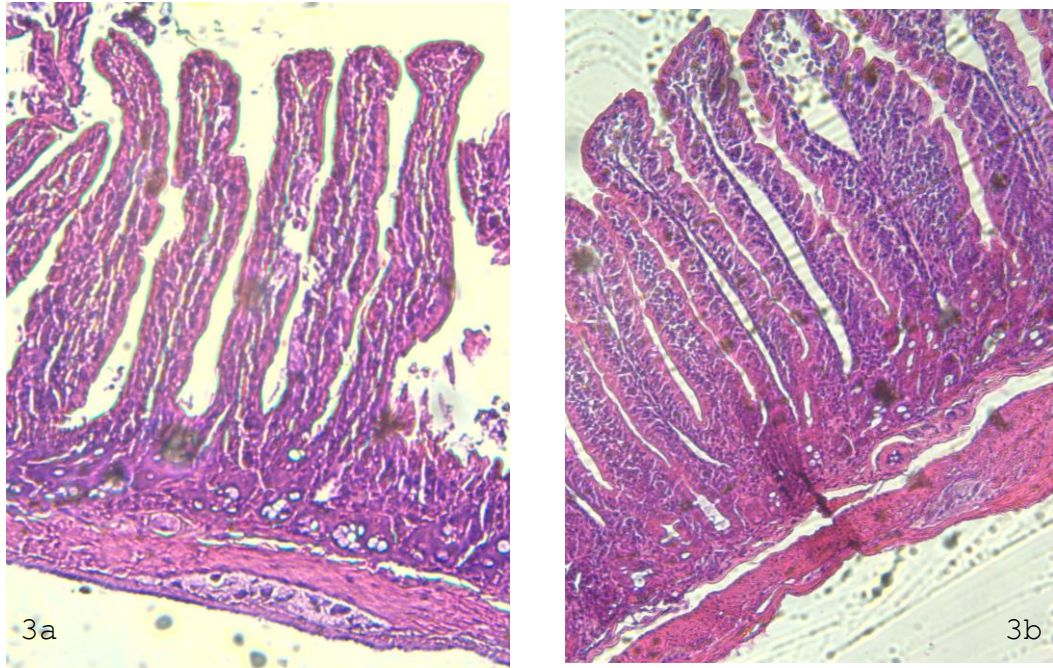


Figura 4. Fotomicrografía (400x) de la vellosidad del íleon de *Cavia porcellus* criollos (3a) y mejorados (3b)

## V. DISCUSIÓN

En la evaluación del duodeno (Cuadro 8), aun cuando no existe diferencia significativa entre altura de vellosidades, ésta no guarda relación directa respecto a la profundidad de cripta en la cual si hay diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$ ) entre grupos criollos y mejorados, esta mayor profundidad de criptas es atribuible a una mayor actividad mitótica en cobayos mejorados, los estudios de Cunningham (1992), y Cera y otros (1988), reportan que dicho comportamiento se refleja en nuestro trabajo, y es la probable razón de la diferencia significativa al relacionar vellosidad/cripta ( $P < 0.01$ ).

Al analizar los resultados según el tipo de alimento, los animales que recibieron concentrado (mejorados) presentan mayor altura de vellosidades existiendo una diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$ ) respecto al cuyes mejorados que solo recibieron alfalfa, respuesta que puede ser indicativo de que animales que sólo reciben forraje en su dieta, ésta no cubre los requerimientos nutricionales para su mejor desempeño y mayor crecimiento de sus estructuras y que también se refleja en la relación vellosidad:cripta ( $P < 0.01$ ), pero al comparar profundidad de cripta no existe diferencia entre ambos sistemas de alimentación.

En la evaluación del yeyuno (Cuadro 9) se observa el comportamiento de las estructuras de este segmento, donde se aprecia que el crecimiento de las vellosidades se presentan sin diferencia entre grupos genéticos, sin embargo cuyes mejorados presentan una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) mayor en profundidad de cripta en mejorados y diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$ ) en la relación vellosidad:cripta, menor que en cuyes mejorados, lo cual se relaciona con mayor actividad mitótica a nivel de cripta y mayor descamación de las células maduras de las vellosidades justificando así el acortamiento o atrofia de vellosidades

en el cuy de genética mejorada. Estos hallazgos concuerdan con los reportados por Castillo y otros (2004), Pluske y otros (1996) y McCracken y otros (1995) realizados en lechones, los cuales reportan que el acortamiento de las vellosidades es causado por un incremento en la tasa de pérdida celular asociado con un aumento en la producción de las células de las criptas y consecuentemente aumento en profundidad de las mismas, teniendo también en cuenta que la proliferación celular de las criptas y la pérdida celular (enterocitos) en las vellosidades son modificadas por la flora microbiana y el tipo de dieta.

Al analizar los resultados según sistema de alimentación, probablemente cuyes que se alimentan con alfalfa más concentrado reciben nutrientes que estimulan el crecimiento de las vellosidades, sin afectar profundidad de cripta ni relación vellosidad:cripta.

En la evaluación del íleon (Cuadro 10) se observa una diferencia altamente significativa en el cuy mejorado siendo éste mayor en profundidad de cripta que el criollo, sin alterar la relación vellosidad:cripta ni altura en vellosidades.

Al analizar el comportamiento según el sistema de alimentación que recibieron cuyes mejorados, se aprecia que sí existe diferencia altamente significativa de todas sus estructuras, siendo el cuy (mejorado) que recibe concentrado en su dieta el que presenta mayor altura de vellosidad, mayor profundidad en cripta y mayor relación vellosidad:cripta.

## VI. CONCLUSIONES

- Cuyes mejorados presentan mayor profundidad de cripta que cuyes criollos, sin afectar la altura de vellosidades en los segmentos intestinales del duodeno, yeyuno e íleon.
- Cuyes criollos presentan mayor relación vellosidad:cripta que cuyes mejorados, en los segmentos intestinales del duodeno y yeyuno.
- Cuyes mejorados alimentados con alfalfa más concentrado presentan mayor altura de vellosidades que cuyes mejorados alimentados con alfalfa, sin afectar profundidad de cripta, logrando una mayor área de absorción alimenticia.
- Cuyes mejorados alimentados con alfalfa más concentrado presentan mayor relación vellosidad/cripta que cuyes mejorados alimentados sólo con alfalfa.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Utilizar tinciones especiales para identificar estructuras microscópicas que permitan diferenciarlas de otros segmentos intestinales.
- Investigar el comportamiento digestivo de los cuyes a través de los cambios histológicos según las dietas y eficiencia alimenticia.
- Considerar mayor cantidad de especímenes por tratamiento para tener valores más exactos.

## VIII. BILIOGRAFÍA

Aliaga, R. 1979. Producción de cuyes. Huancayo: Universidad Nacional del Centro. 58 p.

Arroyo, O. 1986. Avances de investigación sobre cuyes en el Perú. Series de Informes Técnicos 7. Lima: Proyecto PISA, INIPA, CIID, ACDI. 331 p.

Barrera, J; Del Sol, M. y Vásquez, B. Estereología Renal en el Cobayo (*Cavia porcellus*). Fuente: International Journal of Morphology. 2009, Vol. 27 Issue 2, p419-424. 6p.

Borja A. 1979. Nutrición en Producción de cuyes. Huancayo, Perú. Universidad Nacional del Centro. 141-181 p.

Calderón, G; Cazares, R. 2008. Evaluación del comportamiento productivo de cuyes (*Cavia porcellus*) en las etapas de crecimiento y engorde, alimentados con bloques nutricionales en base a paja de cebada y alfarina. Tesis. Ingeniero Agroindustrial. Ibarra, Ecuador. Universidad Técnica del Norte. 64 p.

Casa, C.R. 2008. Efecto de la utilización de forraje verde hidropónico de avena, cebada, maíz y trigo en la alimentación de cuyes. Tesis. Ingeniero Zootecnista. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 115 p.

Castelo, J.P; 2012. Formulación, elaboración y control de calidad de paté de hígado de cuy envasado al vacío para la Corporación de Productores Cuyícolas Señor Cuy. Tesis. Bioquímico Farmacéutico. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 152 p.

Castillo,W; Kronka, R; Pizauro, J; Thomaz, C; Carvalho, L. 2004. Efeito da substituição do farelho de soja pela levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) como fonte protéica em dietas para leitões desmamados sobre a morfologia intestinal e atividade das enzimas digestivas intestinais Arch. Lat. Prod. Animal. 12(1):21-27.

Castro, J. y Chirinos, D. 1992. Uso de tres niveles energéticos en suplementos para cuyes destetados y el efecto de la adición de la tiroproteína. En: XV Re-unión de la Asociación Peruana de Producción Animal. Pucallpa: APPA.

Chauca, L. 1997. Producción de cuyes (*Cavia porcellus*). Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO. 78 p.

Guacho, M.I. 2009. Valoración energética de diferentes tipos de balanceado utilizados en la alimentación de cuyes (*Cavia porcellus*). Tesis. Ingeniero Zootecnista. Jalisco, México. Universidad de Guadalajara. 75 p.

Mantilla, J. A. 2012. Diferenciación reproductiva, productiva y molecular de cuyes nativos de la región Cajamarca. Tesis. Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 149 p.

Mccracken, D.A; Gaskings, H.R; Ruwe-Kaiser, P.J. y otros. 1995. Diet-dependent and diet-independent metabolic responses underline growth stasis of pigs at weaning. J. Nutr., 125:2838-2845

Minag. 2014. Lima: Ministerio de Agricultura. [Internet], [Octubre 2008].

Morales, A. G. 2009. Evaluación de dos niveles de energía en el comportamiento productivo de cuyes de la raza Perú. Tesis. Médico

Veterinario. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. 58 p.

Murillo, I; Quilambiqui, M. 2004. Evaluación de dos dietas experimentales con diferentes niveles de cascarilla de cacao (*Theobroma cacao L.*) de Raza Andina. Tesis. Guayaquil, Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral. 6 p.

Nrc. National Research Council. 1995. Nutrient Requirements of Laboratory Animals. 4<sup>th</sup> ed. National Academy Press. Washington. 103 – 124 p.

Pluske, J.R; Williams, I.H; Aherne, F.X. 1996b. Maintenance of villus height and crypt depth in piglets by providing continuous nutrition after weaning. *Anim. Sci.*, 62:131-144.

Pluske, J.R; Williams, I.H; Aherne, F.X. 1996c. Villus height and crypt depth in piglets in response to increases in the intake of cows' milk after weaning. *Anim. Sci.* 62:145-158.

Rermundo B. 1984. Concentrado ofrecido al inicio y/o acabado y su efecto en la velocidad de crecimiento en cuyes. Tesis de Ingeniero Zootecnista. Huancayo: Universidad Nacional del Centro. 88 p.

Rosas, C; Vásquez, B. y otros. 2010. Descripción Histológica e Histoquímica del Hígado de Cobayo (*Cavia porcellus*) *International Journal of Morphology*. 2010, Vol. 28 Issue 1, 151-156 p.

Sandoval, H. F. 2013. Evaluación de diferentes tipos de dietas en cobayos en crecimiento. Tesis. Médico Veterinario y Zootecnista. Universidad Técnica de Ambato. Cevallos, Ecuador. 99 p.



Torres, A; Chauca, L. y VERGARA, V. 2006. Evaluación de dos niveles de energía y proteína en dietas de crecimiento y engorde de cuyes machos. En XXIX Reunión de la Asociación Peruana de Producción Animal. Huancayo: APPA

Vargas, S; Yupa, E. 2011. Determinación de la ganancia de peso en cuyes (*Cavia porcellus*) con dos tipos de alimento balanceado. Tesis. Médico Veterinario. Cuenca, Ecuador. Universidad de Cuenca. 66 p.

Vela, D. G. 2006. Estudio de factibilidad de la producción y exportación de carne de cuy congelada al mercado italiano 2006 – 2015. Tesis. Ingeniera de comercio exterior e integración. Universidad Tecnológica Equinocial. Quito, Ecuador. 256 p.

Vivas, J.A; Carballo, D. 2009. Manual de crianza de cobayos (*Cavia porcellus*). Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. 49 p.

# **ANEXOS**

## Anexo 1. Proceso de Tinción Hematoxilina Eosina para cortes histológicos

### Hematoxilina de Harris (Harris, 1980)

Hematoxilina	5 g
Alcohol absoluto	50 ml
Alumbre de potasio	100 g
Agua destilada	1000 ml
Oxido rojo de mercurio	2,5 g

Se disuelve la Hematoxilina en el alcohol. Disolver alumbre en el agua, calentando ligeramente. Retirar del fuego. Mezclar las dos soluciones. Hervir. Retirar del fuego y agregar con precaución en pequeñas cantidades el óxido de mercurio. Calentar nuevamente hasta que la solución adquiera un color púrpura oscuro. Retirar inmediatamente del fuego y enfriar rápidamente. Filtrar antes de usar.

Se puede agregar antes de usar 2-4% de ácido acético glacial para aumentar la precisión de la coloración nuclear. Tiempo de coloración: 15 a 20 minutos

### Solución Alcohólica de Eosina

Eosina soluble en agua	10 g
Agua destilada	200 ml
Disolver	
Agregar alcohol al 95%	800 ml