



Universidad  
Nacional  
de Loja

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS  
NATURALES RENOVABLES  
CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA Y  
ZOOTECNIA**

**DESARROLLO DE LA FUNCIONALIDAD INTESTINAL,  
CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD AMILÁSICA DEL  
PÁNCREAS Y CRECIMIENTO ALOMÉTRICO DE LOS  
ÓRGANOS DIGESTIVOS, EN CUYES DESDE EL  
NACIMIENTO HASTA LAS 7 SEMANAS DE EDAD**

Trabajo de tesis previo a la obtención del título de  
**MÉDICA VETERINARIA Y ZOOTECNISTA**

**AUTORA**

Nathaly Dayanna León González

**DIRECTOR**

Dr. Rodrigo Abad Guamán, Ph.D.

**LOJA - ECUADOR  
2019**

## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

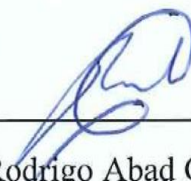
Dr. Rodrigo Abad Guamán, Ph.D.  
**DIRECTOR DE TESIS**

### CERTIFICA

Que he revisado la presente tesis titulada **“DESARROLLO DE LA FUNCIONALIDAD INTESTINAL, CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD AMILÁSICA DEL PÁNCREAS Y CRECIMIENTO ALOMÉTRICO DE LOS ÓRGANOS DIGESTIVOS, EN CUYES DESDE EL NACIMIENTO HASTA LAS 7 SEMANAS DE EDAD”** realizada por la Srta. Egresada **NATHALY DAYANNA LEÓN GONZÁLEZ**, la misma que **CULMINÓ DENTRO DEL CRONOGRAMA APROBADO**, cumpliendo con todos los lineamientos impuestos por la Universidad Nacional de Loja, por lo cual, **AUTORIZO QUE SE CONTINUE CON EL TRÁMITE DE GRADUACIÓN.**

Loja, 28 de Febrero del 2019

Atentamente



---

Dr. Rodrigo Abad Guamán, Ph.D.  
Director de Tesis

# CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

DESARROLLO DE LA FUNCIONALIDAD INTESTINAL, CON ÉNFASIS EN  
LA ACTIVIDAD AMILÁSICA DEL PÁNCREAS Y CRECIMIENTO  
ALOMÉTRICO DE LOS ÓRGANOS DIGESTIVOS, EN CUYES DESDE EL  
NACIMIENTO HASTA LAS 7 SEMANAS DE EDAD

POR

Nathaly Dayanna León González

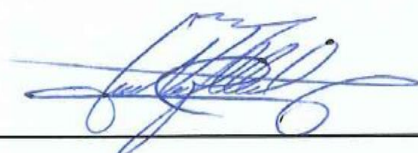
Tesis presentada al tribunal de grado como requisito previo a la obtención del título de:  
MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

HA SIDO APROBADO

ENERO 2020



Dr. Galo Escudero Sánchez, Mg. Sc.  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Junior Israel Villa, Mg. Sc.  
VOCAL



Dr. Edwin Mizhquero Rivera, Mg. Sc.  
VOCAL

# AUTORÍA

Yo, **Nathaly Dayanna León González**, declaro ser autora del presente trabajo de tesis que ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma; los conceptos, ideas, resultados, conclusiones, y recomendaciones vertidos en el desarrollo del presente trabajo de investigación, son de absoluta responsabilidad de su autor.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

**AUTORA:** Nathaly Dayanna León González

**FIRMA:**



**CÉDULA:** 1150321139

**FECHA:** Enero 2020

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR  
PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y  
PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Yo **Nathaly Dayanna León González**, declaro ser la autora de la tesis titulada "DESARROLLO DE LA FUNCIONALIDAD INTESTINAL, CON ÉNFASIS EN

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR  
PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y  
PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Yo **Nathaly Dayanna León González**, declaro ser la autora de la tesis titulada “DESARROLLO DE LA FUNCIONALIDAD INTESTINAL, CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD AMILÁSICA DEL PÁNCREAS Y CRECIMIENTO ALOMÉTRICO DE LOS ÓRGANOS DIGESTIVOS, EN CUYES DESDE EL NACIMIENTO HASTA LAS 7 SEMANAS DE EDAD”, como requisito para optar al grado de Médica Veterinaria Zootecnista, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la reproducción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera, en el Repositorio Digital Institucional (RDI): Las Personas puedan consultar el contenido de este trabajo en el RDI, 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 de la tesis que realice un tercero, con fines académicos. Para constancia de esta autorización, firmo en la ciudad de Loja, a los 29 días del mes de Enero del 2020.

**FIRMA:**

**Autora:** Nathaly Dayanna León González  
**Cédula de identidad:** 1150321139  
**Dirección:** Loja, Barrio Chinguilanchi  
**Correo electrónico:** nathadanna@gmail.com  
**Teléfono:** 0968592073

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de Tesis:**

Dr. Rodrigo Abad Guamán, Ph. D.

**Tribunal de Grado:**

Dr. Galo Escudero Sánchez, Mg. Sc. (Presidente)  
Ing. Junior Israel Villa Quezada, Mg. Sc. (Vocal)  
Dr. Edwin Geovanny Mizhquero Rivera, Mg. Sc. (Vocal)

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios primeramente por darme la oportunidad de haber culminado mi carrera, que es mi mayor sueño y darme fuerzas cuando quise rendirme.*

*A mis padres por el gran apoyo que recibí toda mi vida estudiantil, por su gran esfuerzo y dedicación durante estos cinco años.*

*Mi sincero agradecimiento al doctor Rodrigo Abad que con sus conocimientos supo guiarme para lograr esta meta, a todos mis maestros que han sido un gran apoyo a lo largo de mi carrera y finalmente a la Universidad Nacional de Loja, por permitirme ingresar a sus aulas y culminar esta nueva etapa de mi vida.*

*Nathaly Dayanna León González.*

## **DEDICATORIA**

*La presente va dedicada a Dios y a la Virgen de El Cisne quienes son el motor principal de mi vida, ya que sin ellos este gran sueño no se hubiera cumplido.*

*A mis padres Piedad y Marlo que con su apoyo diario están logrando verme llegar hasta aquí.*

*A mi familia en general por sus buenos deseos y consejos que me ayudaron durante todo este largo camino.*

*Nathaly Dayanna León González.*

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1. ANATOMÍA DEL SISTEMA DIGESTIVO DEL CUY .....	3
2.2. FISIOLÓGÍA DIGESTIVA.....	4
2.2.1. Cavidad Oral.....	4
2.2.2. Estómago .....	4
2.2.3. Intestino Delgado.....	5
2.2.4. Intestino Grueso.....	6
2.2.5. Hígado .....	6
2.2.6. Páncreas .....	7
2.3. CRECIMIENTO ALOMÉTRICO DE LOS ÓRGANOS DIGESTIVOS ....	11
2.4. TRABAJOS RELACIONADOS .....	12
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
3.1. UBICACIÓN .....	16
3.2. MUESTREO .....	16
3.3. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO .....	17
3.4. ANÁLISIS QUÍMICO .....	18
3.4.1. Actividad Enzimática .....	18
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	20
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>21</b>



4.1.	ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DE ALFA-AMILASA PANCREÁTICA ....	21
4.2.	CRECIMIENTO ALOMÉTRICO DE LOS ÓRGANOS DIGESTIVOS ....	23
<b>5.</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>25</b>
5.1.	ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DE ALFA-AMILASA .....	25
5.2.	CRECIMIENTO ALOMÉTRICO DE LOS ÓRGANOS DIGESTIVOS ....	25
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>27</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>28</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>29</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Medidas del tracto digestivo en cuyes criollos y mejorados. . . . .	11
<b>Tabla 2.</b> Actividad enzimática específica de $\alpha$ -amilasa. . . . .	21
<b>Tabla 3.</b> Parámetros Digestivos, %PV. . . . .	23

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Sistema digestivo del cuy. ....	3
<b>Figura 2.</b> Partes del páncreas. ....	7
<b>Figura 3.</b> Hidrolisis del almidón con $\alpha$ -amilasa. ....	9
<b>Figura 4.</b> Ubicación de la Quinta Experimental Punzara. ....	16
<b>Figura 5.</b> Curva de Proteína Estándar. ....	19
<b>Figura 6.</b> Actividad enzimática de alfa- amilasa pancreática. . . . .	22
<b>Figura 7.</b> Actividad enzimática específica de alfa- amilasa pancreática. ....	22
<b>Figura 8.</b> Crecimiento del tracto digestivo total y principales órganos. ....	24
<b>Figura 9.</b> Jaulas adecuadas para los cuyes. ....	34
<b>Figura 10.</b> Hembras gestantes. ....	34
<b>Figura 11.</b> Materiales. ....	35
<b>Figura 12.</b> Peso vivo de animales. ....	35
<b>Figura 13.</b> Medidas de órganos digestivos. ....	35
<b>Figura 14.</b> Pesaje de órganos digestivos. ....	36
<b>Figura 15.</b> Homogenización de la muestra. ....	36
<b>Figura 16.</b> Análisis estadístico de actividad enzimática. ....	37

**“DESARROLLO DE LA FUNCIONALIDAD INTESTINAL,  
CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD AMILÁSICA DEL  
PÁNCREAS Y CRECIMIENTO ALOMÉTRICO DE LOS  
ÓRGANOS DIGESTIVOS, EN CUYES DESDE EL  
NACIMIENTO HASTA LAS 7 SEMANAS DE EDAD”**

## RESUMEN

Se estudió el desarrollo de la funcionalidad intestinal, con énfasis en la actividad amilásica del páncreas y el crecimiento alométrico de los órganos digestivos, en cuyes desde el nacimiento hasta las 7 semanas de edad. Se utilizaron 22 hembras gestantes alimentadas con balanceado comercial (PB 18%, grasa 5% y fibra cruda 6%) y de las cuales se obtuvieron 21 crías que fueron sacrificadas en los días 0, 7, 14, 21, 28, 35 y 42. Se extrajo el aparato digestivo de los animales en estudio, el cual se pesó y midió. Las muestras de páncreas fueron analizadas mediante el kit de ensayo colorimétrico de actividad amilásica (BioVisión). Como resultados se obtuvieron que la actividad enzimática fue menor luego del destete (14 días), a los 21 días aumentó considerablemente (0.025 mU/mg de proteína) y se mantuvo hasta los 35 días. En cuanto a los pesos relativos, el aparato digestivo de 0 a 28 días incrementó (29.0% PV) y los posteriores días no mostraron cambios notables. El peso del estómago se comporta similar los 14 primeros días (6.92%), luego hay una ligera disminución con respecto al peso vivo en el día 21 y a partir del día 28 se estabilizó. El intestino delgado no presentó cambios significativos; mientras que el peso del ciego aumentó hasta los 28 días (11.49%) y se normalizó hasta el día 42. La actividad enzimática de alfa-amilasa pancreática disminuyó luego del destete, debido al cambio brusco de leche a balanceado, que luego se normaliza y conforme el crecimiento y la dieta aumenta. En relación al crecimiento de órganos digestivos (estómago, intestino delgado y ciego) su mayor desarrollo fue hasta el destete (15 días), que posteriormente fueron estabilizando su tamaño.

**Palabras claves:** cuy, amilasa, páncreas, crecimiento alométrico.

## ABSTRACT

The development of intestinal functionality was studied, with emphasis on the amylastic activity of the pancreas and the allometric growth of the digestive organs, in guinea pigs from birth to 7 weeks of age. 22 pregnant females fed with commercial equilibrium (PB 18%, 5% fat and 6% crude fiber) will be used and from which 21 offspring were obtained that were sacrificed on days 0, 7, 14, 21, 28, 35 and 42. The digestive organ was removed from the animals under study, weighed and measured. Pancreas samples were stored in sterile bottles and frozen. The amylasic activity colorimetric test kit (BioVisión) was used to measure pancreatic amylase activity. As results, it was obtained that the enzymatic activity was lower after weaning (14 days), at 21 days affected (0.025 mU / mg protein) and was maintained until 35 days. With respect to relative weights, the digestive system increased from 0 to 28 days (29.0% PV) and the following days showed no notable changes. Stomach weight behaves similarly in the first 14 days (6.92%), then there is a slight decrease with respect to live weight on day 21 and from day 28 it stabilized. The small intestine showed no significant changes; while the weight of the cecum increased until 28 days (11.49%) and normalized until day 42. The enzymatic activity of pancreatic alpha-amylase decreased after weaning, due to the abrupt change of milk to balanced, which was then normalizes and as growth and diet increases. In relation to the growth of the digestive organs (stomach, small intestine and blind), its greatest development was until weaning (15 days), which subsequently stabilized its size.

**Key words:** development, amylase, pancreas, growth.

# 1. INTRODUCCIÓN

El cuy (*Cavia porcellus*) es una especie herbívora monogástrica, tiene dos tipos de digestión: una enzimática (en el estómago e intestino delgado) y otra microbial, que la realiza el ciego (Castro, 2002). Al nacer en un estado avanzado de maduración, se amamanta por un corto tiempo y prácticamente ingiere diversos alimentos preparando al ciego para su función digestiva de adulto (Moreta, 2016).

El proceso de digestión comienza en la boca, allí se encuentran piezas dentarias capaces de cortar y triturar la materia vegetal, esta masticación reduce el tamaño de las partículas de la ingesta, las cuales viajan por el esófago hacia el estómago. En el estómago el alimento es parcialmente procesado por la acción del ácido clorhídrico y las enzimas gástricas, luego pasa al duodeno donde por acción de enzimas biliares, pancreáticas y entéricas, los alimentos son absorbidos por el intestino delgado (Castro, 2002).

Otros procesos importantes son la nutrición y la absorción, que influyen en el correcto funcionamiento como en el crecimiento de los órganos y el cuy al ser un animal herbívoro es indispensable, en la alimentación, nutrientes que le proporcionen un adecuado desarrollo. Para lo cual debemos entender los mecanismos que ocurren en la fisiología digestiva, en particular de la actividad de ciertas enzimas que contribuyen con la absorción de los alimentos (Sandoval, 2013).

Aunque esta especie es la más usada en investigación, existe información muy limitada sobre el desarrollo morfológico y funcional del tracto digestivo, especialmente de la actividad enzimática. En otras especies, como cerdos y conejos, la información encontrada demuestra que una de las enzimas que mejor denotan la madurez y funcionalidad del tracto digestivo es la amilasa pancreática, y los mamíferos comienzan a secretarla cuando cambia la alimentación de la leche materna a una alimentación rica en almidones (De Blas, 2002).

En conejos, a los 18 días de edad ya comienzan a comer alimentos sólidos, disminuye su consumo de leche y el ciego y el colon se desarrollan más rápido que el resto del tracto digestivo (Carabaño *et al.*, 2010). En contraste, los cuyes nacen completamente desarrollados (67 días de gestación), a las pocas horas de nacer ya comienzan a consumir alimento; es por ello que, el desarrollo del tracto digestivo debe ser diferente entre los cuyes y los conejos.

El presente trabajo pretende determinar el tiempo promedio del cambio de la funcionalidad intestinal y así poder mejorar el aprovechamiento de los nutrientes con el suministro de raciones adecuadas a cada etapa de vida del cuy.

Con lo antes mencionado se realizó el estudio del desarrollo de la funcionalidad intestinal de cuyes, con énfasis en la actividad amilásica del páncreas y el crecimiento alométrico de los órganos digestivos, desde el nacimiento hasta las 7 semanas de edad, planteándose los siguientes objetivos:

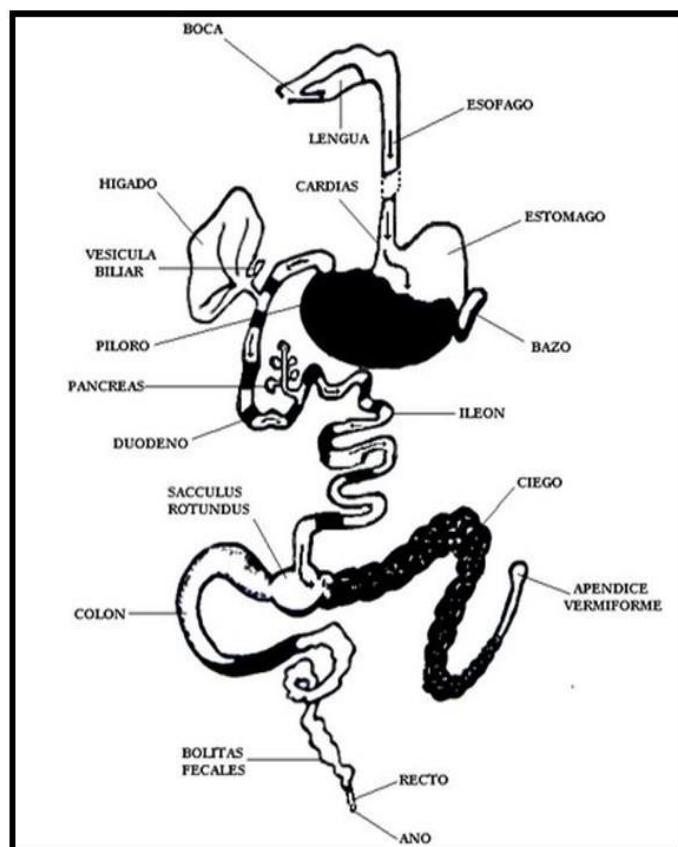
- Evaluar el desarrollo de la actividad enzimática de la amilasa pancreática en cuyes de 0 a 7 semanas de edad.
- Determinar el crecimiento alométrico de las diferentes secciones del tracto digestivo de cobayos.



## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. ANATOMÍA DEL SISTEMA DIGESTIVO DEL CUY

El sistema digestivo del cuy (*Cavia porcellus*) (Figura 1) se compone de cavidad oral y órganos anexos (dientes, lengua, glándulas salivares), esófago, estómago, intestino delgado, hígado, páncreas, intestino grueso, colon, recto y ano (Chauca *et al.*, 2011).



**Figura 1.** Sistema digestivo del cuy (Vílchez, 2007).

En la boca se encuentran piezas dentarias capaces de triturar los alimentos que se mezclan con la saliva (Sakaguchi, 2003). La saliva es secretada por tres glándulas: parótida, mandibular y sublingual, es un líquido muy viscoso que actúa como lubricante y 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. El bolo alimenticio llega al estómago a través del esófago (Leandro, 2012). El estómago es un saco piriforme, de una coloración rosada y de textura lisa, almacena grandes cantidades de alimento, lo mezcla con sus secreciones y mediante vaciamiento lento controla el paso del quimo al intestino delgado a una velocidad adecuada para la digestión y absorción correcta. El intestino delgado está dividido en tres porciones: duodeno (realiza la mayor parte de la digestión y absorción), yeyuno e íleon. Realiza también movimientos peristálticos que fuerza al material que no es digerido pasar al ciego (Arce, 2017; Ghoshal y Bal, 1989).

Finalmente se encuentra el intestino grueso y la primera porción de éste es el ciego, un órgano grande que constituye el 15% del peso total del aparato digestivo y es el sitio principal de digestión microbiana (capaz de sostener el 65% del contenido gastrointestinal). El resto de alimento no utilizable pasa al colon y es eliminado por el ano (Taco, 2016).

## **2.2. FISIOLÓGÍA DIGESTIVA**

La fisiología digestiva estudia los mecanismos que transfieren los nutrientes hacia el medio interno y, que luego pasan al torrente sanguíneo para ser llevados a las células del organismo (De Zaldívar, 1997).

El cuy es un herbívoro monogástrico, tiene dos tipos de digestión: una enzimática a nivel del estómago y otra microbial a nivel de ciego. Es clasificado por su anatomía gastrointestinal, como un animal de fermentación postgástrico, debido a los microorganismos que posee a nivel de ciego (De Blas et al., 2002).

### **2.2.1. Cavidad Oral**

En la boca las piezas dentarias reducen el tamaño de los alimentos y se mezclan con la saliva, que permite que enzimas digestivas actúen sobre ellos para desdoblarlos y poder ser absorbidos (López, 2018).

### **2.2.2. Estómago**

Los cuyes poseen un estómago completamente glandular en el que se encuentran células principales, parietales y caliciformes.

- Las células parietales segregan HCl que se encarga de disolver el alimento convirtiéndolo en quimo y destruye las bacterias que ingresan con el alimento; mientras que el factor intrínseco es necesario para la absorción de la vitamina B12 a nivel del intestino delgado (López, 2018).
- Las células principales segregan pepsinógeno que por acción del HCl se transforma en pepsina. Esta enzima actúa sobre el bolo alimenticio, produciéndose la proteólisis parcial de las proteínas a polipéptidos.
- El moco producido por las células caliciformes, al unirse con bicarbonato, forma una película protectora frente a la carga ácida a la que es sometido su epitelio (Vallecilla, 2014).

Con la digestión gástrica se empieza la degradación de proteínas mediante la pepsina y la acidez del ácido clorhídrico; por lo que, la mala secreción de estas enzimas repercute negativamente en la digestión de las proteínas (Sandoval, 2013).

### **2.2.3. Intestino Delgado**

Los alimentos, parcialmente digeridos, luego de abandonar el estómago ingresan al intestino delgado, donde se mezclan con las secreciones del duodeno, hígado y páncreas (Leandro, 2012).

En esta porción del tubo digestivo ocurren los procesos enzimáticos en dos fases: la primera es la luminal en la que las enzimas se activan en la luz intestinal (enzimas pancreáticas) permitiendo así la degradación de almidones y polipéptidos; la segunda fase es la membranosa, donde los polímeros pequeños son degradados por enzimas de los enterocitos para poder ser absorbidos (Jaramillo, 2017).

En el intestino delgado encontramos las glándulas de Brunner, producen una secreción alcalina que sirve de lubricante y protege la pared del duodeno del ácido clorhídrico del estómago (Vallecilla, 2014).

#### **2.2.4. Intestino Grueso**

Es la porción casi final del tracto digestivo, donde las secreciones se componen de un líquido acuoso carente de enzimas, pero contiene bicarbonato sódico y mucina, lubricando los restos de alimento a su paso por el intestino grueso así como la superficie interna (Leandro, 2012).

La primera porción del intestino grueso es el ciego, aquí ingresan partículas menores a 0.5 cm de grosor y que contienen carbohidratos digeribles, quienes son digeridos por fermentación bacteriana (Calderón y Cazares, 2011). La digestión en el ciego tiene lugar como resultado de la actividad microbiana, en la que se obtienen ácidos grasos de cadena corta, vitaminas del complejo B y proteína microbiana, pero a este nivel solo se absorben ácidos grasos volátiles, vitaminas y agua, el resto de partículas pasan directamente al colon y son eliminados por el ano (Rico y Rivas, 2003).

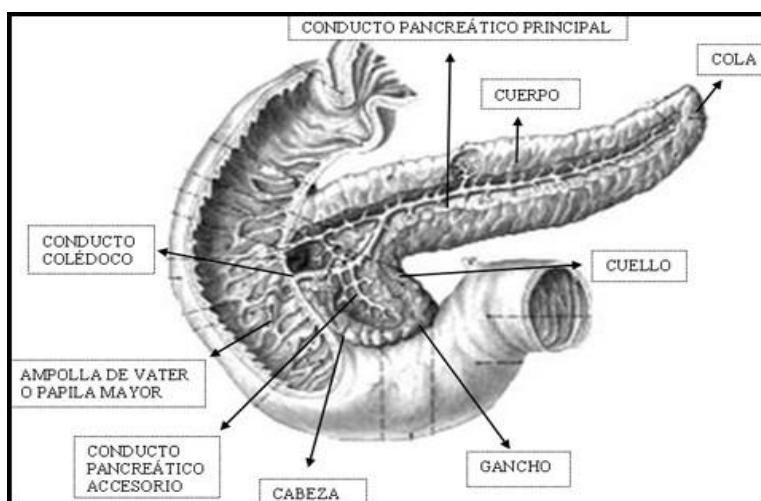
#### **2.2.5. Hígado**

Es liso y de color rojo oscuro, se encuentra en el abdomen craneal y consta de 6 lóbulos. El hígado secreta la bilis, un líquido muy amargo, amarillo verdoso, llega al duodeno mediante el conducto colédoco directamente o después de haber sido almacenada en la vesícula biliar. La bilis favorece principalmente a la digestión de las grasas, ya que para que éstas sean digeridas por la lipasa del jugo pancreático es necesario que previamente sean fraccionadas por las sales biliares (Suckow *et al.*, 2012).

### 2.2.6. Páncreas

Es una glándula alargada y delgada, anexa al sistema digestivo. Se encuentra a lo largo de la curvatura mayor del estómago y del borde mesentérico del duodeno descendente (Budras *et al.*, 2007).

Consta de: cabeza, gancho o apófisis unciforme, cuello, cuerpo, cola, Conducto pancreático principal o de Wirsung, Conducto pancreático accesorio o de Santorini y ampolla de Vater (ayuda a regular el flujo y evita el reflujo del duodeno al conducto biliar (Figura 2) (Steiner, 2008).



**Figura 2.** Partes del páncreas (Bayo, 2008).

Esta glándula incluye tejidos exocrinos y endocrinos; el tejido exocrino del páncreas está conformado por células acinares, quienes producen un líquido compuesto de electrolitos con enzimas como lipasas, amilasas y proenzimas, que están involucradas en la digestión intestinal de nutrientes, en cambio los tejidos endocrinos, están conformados por un cúmulo de células llamadas islotes de Langerhans, las cuales secretan hormonas tales como la insulina, somatostatina, polipéptidos pancreáticos y el glucagón (Ruckebusch *et al.*, 1991; Swenson y Reece, 1999).

Las actividades enzimáticas pancreáticas se expresan como actividad específica (UI/mg de proteína), actividad total (UI) y actividad relativa (UI/kg de tejido) (Debray *et al.*, 2003).

#### **2.2.6.1. Estructura Exocrina**

El páncreas exocrino presenta túbulos ciegos rodeados por células acinares poligonales, las cuales secretan el componente enzimático del jugo pancreático. Los acinos están organizados en lóbulos, éstos presentan conductos intralobulares que drenan en un único conducto extralobular, que vacía todo el lóbulo en conductos aún mayores. Estos convergen en un conducto principal, que drena el páncreas y penetra en el duodeno junto al conducto biliar común (Escallón, 2012).

##### **■ Jugo Pancreático**

Es producido por los acinos pancreáticos, está compuesto de electrolitos, con enzimas como la amilasa, lipasa y pro enzimas. En el interior de las células acinosas las enzimas se encuentran bajo la forma de precursores inactivos dentro de los gránulos de zimógeno rodeados de una membrana que impide la autodigestión de la glándula (Ruckebusch *et al.*, 1991; Swenson y Reece, 1999).

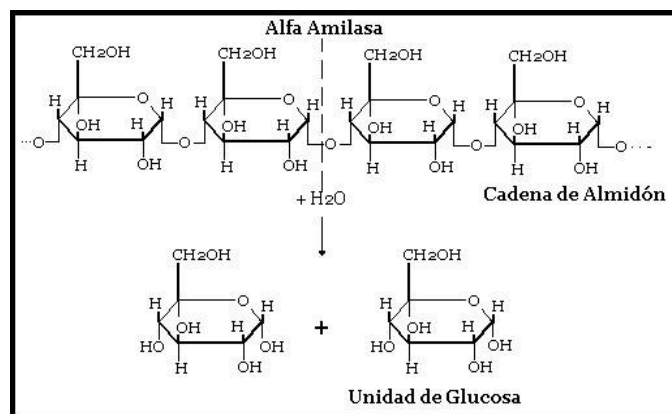
El contenido de bicarbonato del jugo pancreático es secretado junto con grandes cantidades de agua por las células centroacinosas y por las células del resto del sistema de conductos. El jugo pancreático no presenta ningún color, su pH óptimo es de 8 y es ligeramente viscoso (Escallón, 2012).

Sus principales enzimas son:

##### **a) Alfa-amilasa**

La  $\alpha$ -amilasa denominada por la Comisión de Enzimas con el código EC 3.2.1.1, pertenece al grupo de las hidrolasas que actúa en el interior de las cadenas polisacáridas de almidón y glucógeno. Es una pequeña enzima secretada en su forma

activa, actúa sobre los carbohidratos (Figura 3), específicamente hidroliza los enlaces  $\alpha$ -1,4 glucosídicos de las cadenas de los polisacáridos de las sustancias amiláceas, produciendo oligosacáridos que luego serán hidrolizados por enzimas intestinales (maltosa, sacarosa y lactosa) (Pocock y Richards, 2005).



**Figura 3.** Hidrólisis del almidón con  $\alpha$ -amilasa (Hispano, 2015).

El páncreas produce grandes cantidades de alfa-amilasa, que requiere calcio y actúa como una importante enzima digestiva a pH neutro. La amilasa también está presente en el hígado y glándulas salivales. Por lo tanto, el aumento de la amilasa plasmática es indicativo de daño tisular en el páncreas, el hígado o las glándulas salivales (Evans, 2009). En los lactantes la actividad de la pepsina, alfa-amilasa, maltasa y sacarosa es baja, mientras que la actividad de la lactosa a nivel estomacal es especialmente alta (Ordoñez, 1998).

En los conejos, la amilasa se produce exclusivamente en el páncreas con poca contribución de las glándulas salivales, los intestinos o el hígado. Los niveles de referencia de amilasa son de 200- 500 U/I, más bajos que en la mayoría de los otros animales. Niveles elevados de amilasa en suero pueden ser causados por pancreatitis, obstrucción del conducto pancreático, peritonitis, insuficiencia renal o tratamiento con corticoesteroides. En cuyes el rango normal es de 995- 1239 U/I (Suckow *et al.*, 2012).

## **b) Lipasa**

Se secreta en forma activa, y es la encargada de hidrolizar los triglicéridos ya emulsificados. La colipasa y las sales biliares ayudan a facilitar el contacto de la lipasa con los triglicéridos, mientras que la fosfolipasa A2 digiere los fosfolípidos para formar ácidos grasos libres y lisolecitina. Gracias a estas enzimas menos del 5% de los triglicéridos, en condiciones normales, logran escapar del proceso digestivo. Estas enzimas suelen requerir un pH neutro o alcalino de 7-7.5 a 9 (Franco *et al.*, 2006).

La formación de micelas solubiliza los lípidos y proporciona un mecanismo para su transporte a los enterocitos, los lípidos penetran en las células por difusión pasiva y se esterifican rápidamente dentro de estas, las sales biliares permanecen en la luz intestinal donde quedan disponibles para la formación de nuevas micelas (McDonald, Edwards, Greenhalgh y Morgan, 1995)

## **c) Enzimas proteolíticas**

Son secretadas en su forma inactiva o zimógena, esperando ser activadas en la luz del intestino delgado, para que el páncreas no sea autodigerido. Estas proenzimas son el tripsinógeno, quimotripsinógeno y porcarboxipeptidasas. La enterosinasa es una enzima secretada por la mucosa duodenal, esta enterosinasa convierte el tripsinógeno en tripsina, y esta tripsina actúa a su vez transformando las proenzimas en enzimas activas (Franco *et al.*, 2006).

### **2.2.6.2. Estructura Endocrina**

Las células endocrinas del páncreas se encuentran en los islotes de Langerhans, donde sus hormonas son fundamentales para regular el metabolismo. La insulina, el glucagón, la somatostatina y el polipéptido pancreático son hormonas liberadoras por las células de los islotes de Langerhans (Escallón, 2012).



### 2.3. CRECIMIENTO ALOMÉTRICO DE LOS ÓRGANOS DIGESTIVOS

Se entiende por crecimiento alométrico a el aumento de tamaño de órganos o partes de un individuo, en diferentes velocidades, donde los cambios de los coeficientes alométricos en órganos y tejidos ocurren a diferentes pesos corporales (Sánchez- Macías *et al.*, 2016). En la Tabla 1. Se muestran medidas del sistema digestivo en cuyes criollos y mejorados.

**Tabla 1.** Medidas del tracto digestivo en cuyes criollos y mejorados

	<b>CRIOLLOS</b>	<b>MEJORADOS</b>
Peso corporal (cm)	349.2 ± 61.18	551.0 ± 100.96
Longitud corporal (cm)	23.2 ± 1.77	29.2 ± 2.42
<b>PESO (g)</b>		
Hígado	11.3 ± 2.37	16.8 ± 4.42
Páncreas	1.8 ± 0.54	1.4 ± 0.31
<b>LONGITUD (cm)</b>		
Estómago	Hembras 7.3 x 4.01 cm y machos 6.9 x 3.93 cm	
Intestino delgado	Hembras 183 cm y machos 193 cm	
Duodeno	7.6 ± 1.41	10.4 ± 1.07
Yeyuno	154.4 ± 18.25	176.0 ± 16.05
Íleon	2.3 ± 0.31	3.7 ± 0.88
Colon mayor	38.8 ± 4.05	47.3 ± 11.02
Colon menor	38.4 ± 3.10	44.9 ± 7.47
Ciego	22.8 ± 0.92	31.0 ± 3.07
Intestino- ciego	264.2 ± 25.03	313.3 ± 29.16

**Fuente:** Carballo y Ángel (2015).

## 2.4. TRABAJOS RELACIONADOS

### **Determinación de características morfofisiológicas del tracto digestivo del cuy (*Cavia porcellus*).**

Jaramillo (2017), en su trabajo de investigación determinó las características morfofisiológicas del tracto digestivo del cuy (*Cavia porcellus*) y cuál es el impacto que tiene suprimir la cecotrofia en el funcionamiento del tracto digestivo. Utilizó como variables los pesos absolutos y relativos de órganos digestivos con contenido y vacíos, longitudes absolutas y relativas de órganos digestivos, pH del estómago y ciegos. Los resultados mostraron los siguientes pesos absolutos y relativos medios, del estómago 20.0 g (2.01% PV) y peso del ciego 53.2 g (5.52% PV). La longitud media del intestino delgado en los cuyes estudiados fue de 390 cm del tracto digestivo total, 7 cm de estómago, 233 cm del intestino delgado, 12 cm del ciego. Los animales que realizaron la cecotrofia mostraron valores de pH del contenido del estómago de 1.53 y del ciego de 6.63. Como conclusión destacó que la prevención de la cecotrofia principalmente produce una reducción del contenido del estómago, asociado a incrementos de pH a nivel cecal.

### **Efecto de la fuente de proteína sobre los parámetros digestivos, parámetros histológicos y digestibilidad ileal y fecal en gazapos destetados precozmente.**

Campín (2002), evaluó el efecto de la fuente de proteína de la ración sobre la digestibilidad fecal e ileal de la proteína y de la materia seca, los parámetros digestivos y la morfología de la mucosa del yeyuno en gazapos destetados precozmente (25 días). Las fuentes de proteína que utilizó el autor fueron: harina de soja 48 (SOJA48), concentrado de soja 61 (SOJA61), harina de girasol 36 (GIR36) y concentrado de patata 77 (PAT77). No observó diferencias significativas en los parámetros digestivos, siendo las medias del pH fúndico, pH pilórico y pH de la mezcla del contenido estomacal de 1.67, 1.33 y 1.47 respectivamente, y las medias del peso del digestivo, peso del estómago lleno y peso del ciego lleno referidas al peso vivo de 23.99, 5.91 y 8.54%, respectivamente.

### **Cambios nutrimentales en el lechón y desarrollo morfofisiológico de su aparato digestivo.**

El trabajo publicado por Souza *et al.* (2012), muestra el desarrollo que tiene el tracto gastrointestinal (TGI) desde la vida intrauterina. Al destete, el cambio de la leche materna a una dieta sólida basada en almidón y proteínas de origen vegetal, hace que el TGI pase por un largo proceso de adaptación. Esta situación genera cambios morfológicos y funcionales en el TGI que pueden causar trastornos en el consumo de alimento y alteraciones en el proceso digestivo, impidiendo que el animal cubra sus requerimientos de proteína y energía, lo que dificulta su crecimiento inicial. Los resultados de este trabajo muestran que existe una correlación positiva entre el peso relativo del estómago y edad del lechón. El intestino crece los primeros 10 días, luego de esto hay cambios marcados en cuanto a volumen, longitud y peso. La autora concluyó que en los 2 o 3 primeros días postdestete se observa una disminución del peso de órganos digestivos.

### **Comprobación de la evolución del equipo enzimático del páncreas exocrino del conejo desde el nacimiento a las 6 semanas.**

Corring *et al.* (1972), para verificar la hipótesis de una adaptación del páncreas exocrino a las variaciones en la dieta al momento del destete, en conejos debajo de la madre, asignó 2 lotes de 57 conejos a las siguientes dietas experimentales: 1) lactancia materna exclusiva entre el nacimiento y el tercer día, luego destete brutal con un alimento rico en almidón; 2) lactancia materna exclusiva entre el nacimiento y el día 2 y destete brutal con la misma comida rica en almidón. Las actividades enzimáticas de tripsina, quimiotripsina, lipasa y amilasa las determinó en 9 etapas distribuidas entre y 43 días. Todas las actividades enzimáticas muestran un aumento hacia el segundo día, independientemente del peso de los animales. Sin embargo, estas actividades son ligeramente más altas en animales destetados a los 21 días. Determinó que la comida no es el factor que estimula el desarrollo de enzimas pancreáticas.

**La actividad de algunas enzimas digestivas en conejos domésticos antes y después del destete.**

Dojana *et al.* (1998), comparó la actividad de la amilasa, maltasa, lipasa, pepsina, tripsina y quimiotripsina en la lactancia en conejos domésticos destetados a los 43 días de edad con conejos más viejos (90 y 180 días). Se encontró que la amilasa estaba activa en el páncreas a los 15 días (11 580 unidades de amilasa/mg de proteína) y aumentó durante el crecimiento, alcanzando un nivel máximo (58 960 unidades de amilasa/mg de proteína) a los 90 días de edad. La actividad específica (SA) de la maltasa de la mucosa del intestino delgado varió según el segmento intestinal y la edad de los conejos. La lipasa alcanzó un nivel máximo en conejos lactantes a la edad de 15 días y disminuyó bruscamente al destete.

**Una estimulación temprana de la ingesta de alimento sólido ligeramente influye en la maduración intestinal morfológica en el conejo.**

Gallois *et al.* (2005), por medio de su trabajo determinó el impacto de los factores dietéticos en la maduración morfológica intestinal y analizó los pesos de los segmentos digestivos, así como la morfología de las vellosidades y las criptas a lo largo del intestino delgado semanalmente desde el día 14 hasta el día 49, en dos grupos de conejos destetados a los 21 (W21) y 35 (W35) días de edad. Pesos tisulares de los segmentos digestivos vacíos fueron más altos en el grupo W21 que en el grupo W35 desde el día 28 hasta el día 49 ( $P < 0.001$ ), mientras que los pesos absolutos del tejido parecían similares (excepto para el colon). Desde el día 28 hasta el día 49, las vellosidades del intestino delgado crecieron en altura y área superficial ( $p < 0.05$ ) mientras que las criptas se profundizaron. El efecto de la edad de destete en la morfología de la mucosa fue insignificante, excepto por las criptas yeyunales cuya superficie y profundidad fueron mayores en el grupo W21. Sus resultados actuales mostraron que los cambios morfológicos en el tracto digestivo de conejos jóvenes fueron influenciados débilmente por una temprana estimulación de la ingesta de alimento sólido.

### **Efecto de los niveles de almidón, fibra y lactosa en la digestión y el rendimiento del crecimiento de conejos destetados temprano.**

Gutiérrez *et al.* (2002), investigó el efecto de la fuente de carbohidratos en la histología intestinal, la eficiencia de la digestión y el rendimiento del crecimiento en conejos destetados temprano (25 días) en el periodo inicial (25 a 39 días). Realizó una prueba de alimentación para medir el efecto de los tratamientos sobre el rendimiento del crecimiento en 252 conejos que fueron alimentados con dietas experimentales en el periodo inicial y luego recibieron una alimentación común hasta los 60 días de edad. Los resultados demuestran que el destete aumentó la actividad de amilasa en un 59% pero disminuyó actividades de maltasa, sacarasa y lactasa en 30, 48 y 72%, en paralelo con una reducción de la altura de las vellosidades en un 19%. La sustitución de almidón por fibra y lactosa afectó el flujo ileal de almidón más lactosa y el pH cecal. La sustitución del almidón por lactosa disminuyó linealmente la eficiencia alimenticia en el periodo inicial y aumentó linealmente la incidencia de diarrea en el periodo de engorde. Estos resultados indican que la capacidad digestiva de los conejos destetados temprano es limitada y debe tenerse en cuenta para establecer niveles óptimos y fuentes de carbohidratos en la dieta inicial.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN

El presente estudio se realizó en la Quinta Experimental Punzara de la Universidad Nacional de Loja (Figura 4), ubicada al suroeste de la Hoya de Loja, en el sector “La Argelia”. Cuenta con las siguientes características meteorológicas:

- Altitud: 2 160 m.s.n.m.
- Temperatura: oscila de 12 a 18° C con un promedio de 15,5° C
- Precipitaciones: 759.7 mm anuales
- Formación Ecológica: Bosque seco- Montañoso bajo



**Figura 4.** Ubicación de la Quinta Experimental Punzara (Google Maps, 2017).

#### 3.2. MUESTREO

Se realizó un estudio observacional con muestreo no probabilístico por conveniencia, donde se tomó como tamaño muestral a 21 crías del total de las madres gestantes, seleccionadas al azar cada semana, desde el día 0 hasta los 42 días de edad.

### **3.3. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO**

El trabajo de campo se realizó en la Quinta Experimental Punzara. Se adecuó dos jaulas con las siguientes medidas:

- 1.50m de largo
- 1m de ancho
- 0.60m de alto

Se tomó como referencia la limpieza y desinfección del lugar realizada por el autor Jaramillo (2017), quién 15 días antes de colocar los animales barrió y desinfectó con una mezcla de cal, cemento y formol. Las jaulas contaron con dos comederos y un bebedero; la alimentación fue balanceado 100% comercial (PB 18%; grasa 5% y fibra cruda 6%) y se lo proporcionó ad libitum.

Se adquirió 22 animales hembras en etapa de gestación y una vez obtenidas las crías fueron llevadas al Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Nacional de Loja, donde fueron sacrificadas de acuerdo a la edad requerida (0, 7, 14, 21, 28, 35 y 42 días), a las 11h30 am, mediante dislocación cervical y se los desangró. Se extrajo los órganos digestivos de los 21 animales para ser pesados y medidos; en frascos estériles se guardaron los páncreas y se los congeló para posteriormente realizar el análisis de la actividad de la amilasa pancreática mediante un kit comercial (Amylase Activity Assay Kit).

## **3.4. ANALISIS QUÍMICO**

### **3.4.1. Actividad Enzimática**

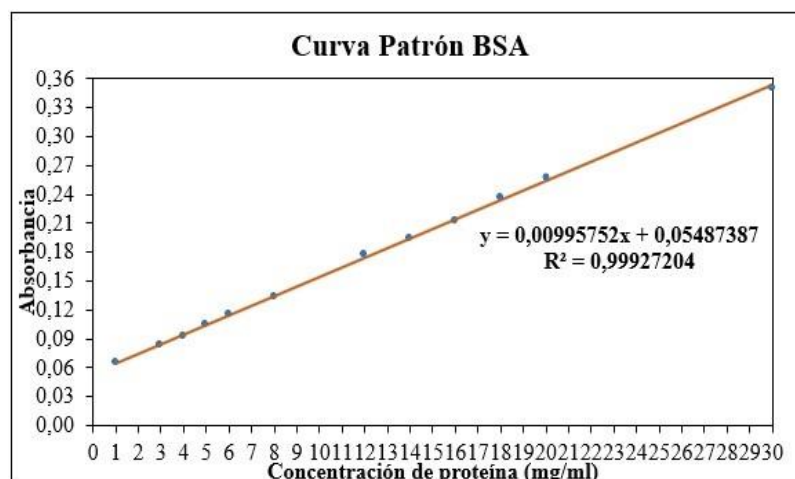
Primero se realizó la extracción de proteína presente en el tejido pancreático mediante el método de lisis y precipitación en frío, para lo cual se descongeló las muestras, se las pesó y colocó en un mortero sobre hielo a  $-4^{\circ}\text{C}$ . Se agregó como valor mínimo 1400  $\mu\text{l}$  de PBS (tampón fosfato salino), se homogenizó con ayuda del vástago hasta disgregar todo el tejido (en algunas muestras se agregó más PBS para que la disgregación sea completa). Con una micropipeta se recolectó el líquido, se colocó en tubos eppendorf y se centrifugó a 13 000 durante 25 minutos para remover material insoluble. El sobrenadante se colocó en tubos eppendorf previamente refrigerados y se conservó en el congelador.

Para la cuantificación de proteínas se utilizó el método Biuret y se tomó como curva de proteína estándar la albúmina bovina sérica (Figura 5). Se pesó 2.6041 mg de albumina bovina sérica, se colocó en un matraz aforado de 25 ml, se llenó con agua destilada y con un vortex se mezcló hasta que se diluyera todo.

Se etiquetaron tubos eppendorf: 3 blancos, 16 estándar y 14 de las muestras de páncreas. Se pipeteó en los tubos debidamente etiquetados concentraciones de: 40mg/ml (800  $\mu\text{l}$ ), 30mg/ml (600  $\mu\text{l}$ ), 20mg/ml (400  $\mu\text{l}$ ), 18mg/ml (360  $\mu\text{l}$ ), 16mg/ml (320  $\mu\text{l}$ ), 14mg/ml (280  $\mu\text{l}$ ), 12mg/ml (240  $\mu\text{l}$ ), 10mg/ml (200  $\mu\text{l}$ ), 8mg/ml (160  $\mu\text{l}$ ), 6mg/ml (120  $\mu\text{l}$ ), 5mg/ml (100  $\mu\text{l}$ ), 4mg/ml (80  $\mu\text{l}$ ), 3mg/ml (60  $\mu\text{l}$ ), 2mg/ml (40  $\mu\text{l}$ ), 1mg/ml (20  $\mu\text{l}$ ), 0.8mg/ml (16  $\mu\text{l}$ ); luego en cada eppendorf colocamos agua destilada hasta completar 2 ml.

Se hizo una relación de 9:1 (900  $\mu\text{l}$  del reactivo Biuret y 100  $\mu\text{l}$  de agua destilada) para los blancos, proteína estándar y muestras a analizar; esto se colocó en nuevos tubos eppendorf ya etiquetados y se mezcló con ayuda del vortex. Se llevó las muestras a baño maría  $37^{\circ}\text{C}$  por 25 min, se colocó en los pocillos de una placa (96 pocillos) y se lo llevó al espectrofotómetro por 3 min para que se realice la lectura a 490nm.





**Figura 5.** Curva de Proteína Estándar (Autora, 2019)

Para la medición de la actividad enzimática, cada muestra de páncreas se colocó en microtubos eppendorf previamente identificados y dependiendo del peso se puso de 500 a 1000  $\mu$ l de tapón de ensayo de amilasa. El homogenizado se centrifugó a 16 000  $\times$ g durante 10 minutos para remover el material insoluble.

En una placa, cada pocillo de 50  $\mu$ l de muestra, estándar y de control positivo se colocó 100  $\mu$ l de mezcla de reacción maestra (50  $\mu$ l de tampón de ensayo y 50  $\mu$ l de mezcla de sustrato). Se hizo la lectura en el espectrofotómetro a 405 nm ( $T_0$ ) y se incubó a 25° C durante varios tiempos para obtener  $T_1$ .

El cálculo de la actividad enzimática se obtuvo aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Actividad de amilasa} = \frac{B}{T \times V} \times \text{Factor de dilución de muestra} = \text{nmol} / \text{min} / \text{ml}$$

**Dónde:**

**B**= es la cantidad de nitrofenol de la curva estándar (nmol).

**T**= es el tiempo entre  $T_0$  y  $T_1$  (min).

**V**= es el volumen de muestra pretratada agregado al pocillo de reacción (ml).

### **3.5. ANALISIS ESTADÍSTICO**

Obtenidos los resultados se realizó una tabla descriptiva donde los datos se presentaron en medias más/menos ( $\pm$ ) el error estándar para cada tiempo. Luego se utilizó el modelo de regresión lineal simple en donde se graficó los datos obtenidos utilizando un gráfico de dos ejes, en el cual el eje de las “X” se considera el tiempo y en el eje de las “Y” la actividad enzimática. En cuanto a los datos sobre el crecimiento alométrico se expresaron en pesos relativos calculados como porcentaje del peso vivo para reducir la variabilidad de estas medidas. Para el análisis estadístico se utilizó un modelo mixto de medias repetidas considerando la edad como una medida repetida. El programa estadístico utilizado fue el SAS. Se utilizó un modelo de auto regresión de orden 1 “PROC CORR del SAS”.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DE ALFA-AMILASA PANCREÁTICA

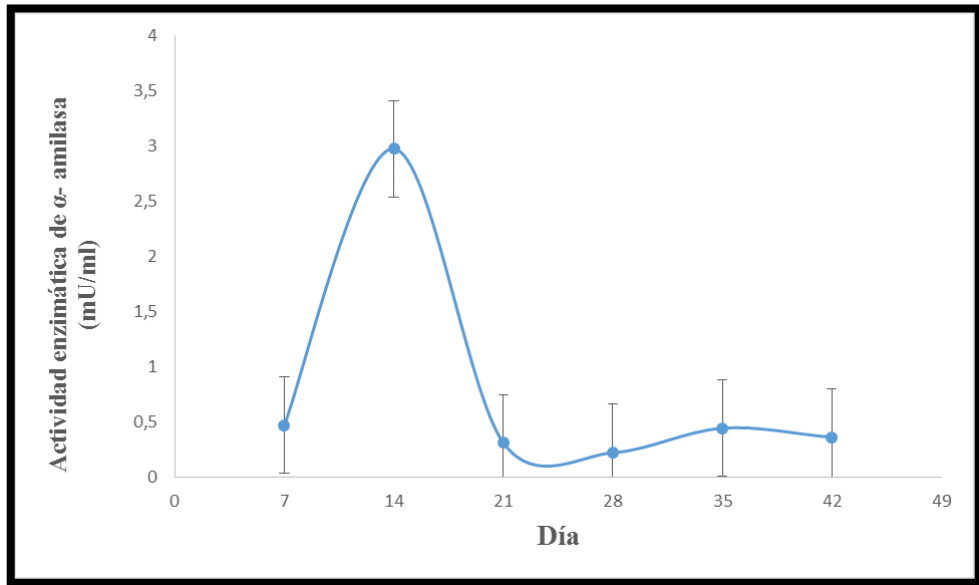
El desarrollo de la actividad enzimática específica de alfa-amilasa pancreática, en cuyes de 0 a 42 días, se muestra en la Tabla 2 y Figura 6.

**Tabla 2.** Actividad enzimática de  $\alpha$ -amilasa pancreática.

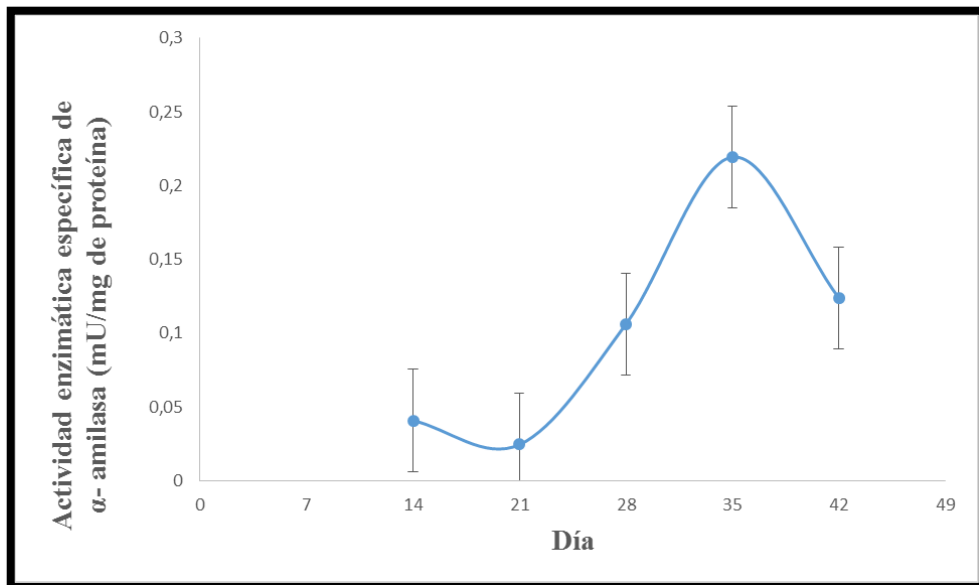
<b>EDAD (días)</b>	<b>Actividad enzimática (mU/ml)</b>	<b>Actividad enzimática específica de <math>\alpha</math>-amilasa (mU/mg de proteína)</b>
<b>0</b>	0.470 <sup>c</sup>	
<b>7</b>	2.975 <sup>a</sup>	
<b>14</b>	0.310 <sup>d</sup>	0.041
<b>21</b>	0.220 <sup>e</sup>	0.025
<b>28</b>	0.442 <sup>c</sup>	0.106
<b>35</b>	0.360 <sup>d</sup>	0.219
<b>42</b>	0.537 <sup>b</sup>	0.124
<b>EEM</b>	0.215	0.093
<b>P valor</b>	> 0.0001	> 0.5234

\*EEM= error medio estándar

La actividad enzimática específica de alfa-amilasa pancreática mostró un desarrollo importante de 0 a 42 días ( $P > 0.0001$ ). La mayor actividad fue en la segunda semana 2.97 mU/ml, que luego del destete descendió 0.310 mU/ml y a partir del día 21 se mantuvo; mientras que la actividad enzimática específica no mostró cambio significativo con relación al tiempo ( $P > 0.5234$ ).



**Figura 6.** Actividad enzimática de alfa-amilasa pancreática.



**Figura 7.** Actividad enzimática específica de alfa-amilasa pancreática.

## 4.2. CRECIMIENTO ALOMÉTRICO DE LOS ÓRGANOS DIGESTIVOS

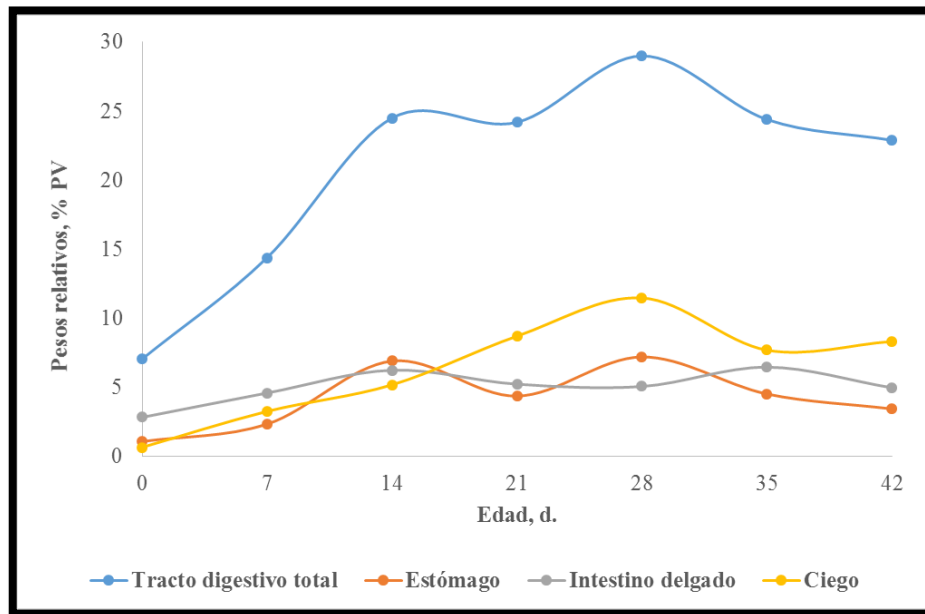
El crecimiento del tracto digestivo total y de algunos órganos digestivos (estómago, intestino delgado y ciego) se muestra en la Tabla 3 y Figura 7.

**Tabla 3.** Parámetros Digestivos, % PV.

EDAD (días)	P. Tracto Dig. Total (%PV)	P. Estómago (%PV)	P. Intestino D. (%PV)	P. Ciego (%PV)
0	7.07 <sup>d</sup>	1.10 <sup>d</sup>	2.85 <sup>c</sup>	0.68 <sup>e</sup>
7	14.4 <sup>c</sup>	2.36 <sup>bd</sup>	4.61 <sup>b</sup>	3.28 <sup>d</sup>
14	24.5 <sup>ab</sup>	6.92 <sup>a</sup>	6.26 <sup>ab</sup>	5.20 <sup>bd</sup>
21	24.2 <sup>ab</sup>	4.39 <sup>c</sup>	5.25 <sup>ab</sup>	8.72 <sup>c</sup>
28	29.0 <sup>a</sup>	7.22 <sup>a</sup>	5.08 <sup>ab</sup>	11.49 <sup>a</sup>
35	24.4 <sup>ab</sup>	4.54 <sup>c</sup>	6.48 <sup>a</sup>	7.71 <sup>bc</sup>
42	22.9 <sup>b</sup>	3.46 <sup>bc</sup>	4.99 <sup>ab</sup>	8.34 <sup>c</sup>
EEM	1.92	0.65	0.57	0.82
P valor	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

\*EEM= Error medio estándar.

Los pesos relativos de los principales órganos digestivos con contenido tuvieron una variación importante de 0 a 42 días de edad ( $P < 0.001$ ). Los pesos relativos del aparato digestivo de 0 a 28 días incrementó (29.0% PV) y los posteriores días no mostraron cambios notables. El peso del estómago se comporta similar los 14 primeros días (6.92%), luego hay una ligera disminución con respecto al peso vivo en el día 21 y a partir del día 28 se estabilizó. El intestino delgado no presentó cambios significativos; mientras que el peso del ciego aumentó hasta los 28 días (11.49%) y se normalizó hasta el día 42.



**Figura 8.** Crecimiento del tracto digestivo total y principales órganos.

## **5. DISCUSIÓN**

### **5.1. ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DE ALFA-AMILASA**

En las investigaciones de Corring *et al.* (1972) y Gutiérrez (2002), que realizaron en conejos, observaron que la amilasa pancreática está presente al segundo día de vida pero es ligeramente más alta luego del destete (21 y 25 días respectivamente). Por su parte Dojana *et al.* (1998), menciona que la amilasa está activa en el páncreas a los 15 días y aumenta durante el crecimiento. Blas (1986) observa que la actividad de la amilasa pancreática se llegaba a duplicar cuando se suministraba un pienso rico en almidón (=30%).

Los resultados de los autores anteriores no concuerdan con esta investigación, ya que la actividad enzimática de alfa-amilasa disminuyó luego del destete (0,041 mU/mg de proteína), esto debido al estrés que sufrieron los animales en esta etapa, luego de 21 a 35 días aumentó considerablemente (0.025 mU/mg a 0.219 mU/mg de proteína). Estos datos son comparables con los de Gutiérrez (2002), quien obtuvo a los 35 días niveles de 832 UI/mg de proteína en conejos es inferior a 1 UI/ mg de proteína, esto es debido a que en esta especie la capacidad de digerir almidón es reducida.

### **5.2. CRECIMIENTO ALOMÉTRICO DE LOS ÓRGANOS DIGESTIVOS**

Jaramillo (2017) menciona en su investigación que cuyes menores a 3 meses de edad tuvieron los siguientes pesos relativos (con contenido), del estómago 2.01%PV y ciego 5.52%. Gutiérrez *et al.* (2002), en su trabajo en conejos destetados a los 21 días alcanzó pesos para el tracto digestivo de 23.99%, estómago 5.91% y ciego 8.54%. Souza *et al.* (2012), muestra en su investigación que existe una correlación positiva entre el peso relativo del estómago y edad del lechón. El intestino crece los primeros 10 días, luego de esto hay cambios marcados en cuanto a volumen, longitud y peso. En los 2 o 3 primeros días postdestete se observa una disminución del peso

de órganos digestivos. Gallois *et al.* (2005), da a conocer que del día 28 al 49 el peso del estómago, intestino delgado y ciego fueron menores respecto al peso corporal.

En esta investigación los pesos relativos (postdestete) del tracto digestivo fueron de 24.2%; 4.39% para estómago, 5.25% en intestinos delgados y 8.72% del ciego, lo que concuerdan con los obtenidos por Gutiérrez *et al.* (2002), Souza *et al.* (2012) y Gallois *et al.* (2005), quienes obtuvieron pesos similares tanto en conejos como en lechones luego del destete. Los autores manifiestan que el peso del tracto digestivo y el ciego referidos al peso vivo aumenta con la edad en lactantes y por efecto del destete. Lebas y Laplace (1972) manifiestan que el destete y el consumo de pienso juegan un papel muy importante en el crecimiento del aparato digestivo.



## 6. CONCLUSIONES

- La actividad enzimática de alfa-amilasa pancreática disminuyó luego del destete, debido a que el animal sufre un cambio brusco de alimentación de leche a un balanceado, que luego se normaliza y conforme el crecimiento y la dieta aumenta.
- La capacidad enzimática de alfa-amilasa es reducida en cuyes con valores inferiores a 1 U/mg, en comparación con otras especies.
- Los principales órganos digestivos (estómago, intestino delgado y ciego) muestran un mayor desarrollo hasta el destete (15 días); mientras que luego de éste tienden a decrecer con respecto al peso vivo, esto puede deberse al estrés que sufren en esta etapa.

## **7. RECOMENDACIONES**

- Realizar más estudios referentes a actividad enzimática en cuyes, ya que es un trabajo de gran importancia para la realización de balanceados que ayuden a mejorar la nutrición de esta especie, sobre todo en los primeros días de vida.
- Investigar la actividad enzimática de la alfa-amilasa pancreática a nivel del lumen intestinal, ya que es aquí donde la esta enzima se encuentra activa.
- Llevar un correcto manejo de los animales (destete, alimentación y sanidad) para evitar alteraciones de los resultados.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Amorós, J. J. P. (2001). Nutrición, peridestete y destete precoz. En *Xxvi symposium de cunicultura de asescu* (pp. 69–82).
- Arce, N. (2017). Estudio histológico de las vellosidades intestinales de cuyes (*Cavia porcellus*) criollos y mejorados según el sistema de alimentación.
- Bayo, E. (2008). Anatomía del Aparato digestivo. Capítulo 6: El páncreas. (Mailxmail.com).
- Budras, K., McCarthy, P., y Horowitz, A. (2007). *Pelvic diaphragm, ischiorectal fossa; associated arteries, veins and nerves in: Budras kd, editor. Anatomy of the dog. Hannover. Germany: Schlutersche Verlagsgesellschaft mbH & Co KG.*
- Calderón, G. E., y Cazares, R. R. (2011). *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* (B.S. thesis).
- Campín, J., Gutiérrez, I., Espinosa, A., Carabaño, R., Rebollar, P. G., y de Blas Beorlegui, C. (2002). Efectos de la fuente de proteína sobre los parámetros digestivos, parámetros histológicos y digestibilidad ileal y fecal en gazapos destetados precozmente. En *Xxvii simposium de cunicultura: Reus, 29, 30 y 31 de mayo de 2002* (pp. 117–128).
- Carabaño, R., Piquer, J., Menoyo, D., Badiola, I., y cols. (2010). The digestive system of the rabbit. *Nutrition of the Rabbit*, 1–18.
- Carballo, L., y Ángel, M. (2015). *Evaluación del crecimiento y engorde mediante la implantación de tres dosis de zeranol (0.5 mg, 1mg, 1.5 mg) en cuyes peruanos mejorados, Guaranda, provincia Bolívar* (B.S. thesis). Universidad Estatal de Bolívar. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Escuela....

- Castro, H. (2002). Sistemas de crianza de cuyes a nivel familiar-comercial en el sector rural. *Institute Brigham Young University Provo. Utah, US*, 14.
- Chauca, L., Muscari Greco, J., y Higaonna Oshiro, R. (2011). Factores que afectan el tamaño de camada y peso de cuyes de una línea sintética (p 0.63-0310) en la costa central.
- Corring, T., Lebas, F., Courtot, D., Gueugneau, A.-M., Sardi, G., y Baudet, J.-J. (1972). Controle del evolution del equipement enzymatique du pancreas exocrine dulapin de la naissance a 6 semaines. En *Annales de biologie animale biochimie biophysique* (Vol. 12, pp. 221–231).
- De Blas, J. C., García, J., & Carabaño, R. (2002). Avances en nutrición de conejos. *Simposium de Cunicultura*, 27, 83-91.
- Debray, L., Le Huerou-Luron, I., Gidenne, T., y Fortun-Lamothe, L. (2003). Digestive tract development in rabbit according to the dietary energetic source: correlation between whole tract digestion, pancreatic and intestinal enzymatic activities. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 135(3), 443–455.
- De Zaldívar, L. C. (1997). *Producción de cuyes (Cavia porcellus)* (Vol. 138). Food & Agriculture Org.
- Dojana, N., Costache, M., y Dinischiotu, A. (1998). The activity of some digestive enzymes in domestic rabbits before and after weaning. *Animal Science*, 66(2), 501–507.
- Escallón, A. (2012). Insuficiencia pancreática exocrina en caninos domésticos de Bogotá.
- Evans, G. O. (2009). *Animal clinical chemistry: a practical handbook for toxicologists and biomedical researchers*. CRC Press.

- Franco, B., Sierra, A., y cols. (2006). Gastroenterología y hepatología. En *Fundamentos de medicina*. Corporación para Investigaciones Biológicas.
- Gallois, M., Gidenne, T., Fortun-Lamothe, L., Le Huerou-Luron, I., y Lalles, J.-P. (2005). An early stimulation of solid feed intake slightly influences the morphological gut maturation in the rabbit. *Reproduction Nutrition Development*, 45(1), 109–122.
- Ghoshal, N., y Bal, H. (1989). Comparative morphology of the stomach of some laboratory mammals. *Laboratory animals*, 23(1), 21–29.
- Gutiérrez, I. (2001). *Diseño de piensos para alimentación de gazapos destetados precozmente* (Tesis Doctoral no publicada). Agrónomos.
- Gutiérrez, I., Espinosa, A., García, J., Carabaño, R., y De Blas, J. (2002). Effect of levels of starch, fiber, and lactose on digestion and growth performance of earlyweaned rabbits. *Journal of Animal Science*, 80(4), 1029–1037.
- Gutiérrez, J. (2011). Determinación de la velocidad de reacción en presencia o ausencia de una enzima. Prácticas Biofuel.
- Hispano, J. (2015). Enzimas digestivas. Anatomía digestiva. (Blogger.com).
- Jaramillo, A. (2017). *Determinación de características morfofisiológicas del tracto digestivo del cuy (Cavia porcellus)* (B.S. thesis). Loja.
- Leandro, M. (2012). Caracterización de la actividad de las enzimas hidrolíticas localizadas en la región cecal de cuyes (cavia porcellus).
- López, B. G. (2018). Efecto de la suplementación oral de una mezcla probiótica en cuyes (*Cavia porcellus*) de engorde desafiados con salmonella typhimurium sobre la morfología intestinal.
- McDonald, P.; Edwards, R.; Greenhalgh, J. & Morgan, C. (1995). Nutrición animal. Sexta edición. Zaragoza, España.

- Marounek, M., Vovk, S., y Skrivanova, V. (1995). Distribution of activity of hydrolytic enzymes in the digestive tract of rabbits. *British Journal of Nutrition*, 73(3), 463–469.
- Moreta, L. (2016). *Evaluación de diferentes niveles (2, 4 y 6%) de semilla de plukenetia vo lubilis (Sacha inchi), en cuyes en la etapa de gestación-lactancia* (B.S. thesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Ordoñez, R. (1998). *Efecto de dos niveles de proteína y fibra cruda en el alimento de cuyes (Cavia porcellus) en lactación y crecimiento* (Inf. Tec.). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Perú). Facultad de Zootecnia...
- Pocock, G., y Richards, C. D. (2005). *Fisiología humana: la base de la medicina*. Elsevier Espana.
- Rico, E., y Rivas, C. (2003). Manual sobre el manejo de cuyes. *Utah, US. Proyecto MEJOCUY. Benson Agriculture and Food Institute Provo*, 31.
- Ruckebusch, Y., Phaneuf, L.-P., y Dunlop, R. (1991). *Physiology of small and large animals*.
- Sakaguchi, E. (2003). Digestive strategies of small hindgut fermenters. *Animal Science Journal*, 74(5), 327–337.
- Sánchez-Macías, D., Castro, N., Rivero, M. A., Arguello, A., y Morales-de la Nuez, A. (2016). Proposal for standard methods and procedure for guinea pig carcass evaluation, jointing and tissue separation. *Journal of applied animal research*, 44(1), 65–70.
- Sandoval, H. F. (2013). *Evaluación de diferentes tipos de dietas en cobayos en crecimiento* (B.S. thesis).
- Souza, T. C. R. d., Mariscal, G., Escobar, K., Aguilera, A., y Magne, A. (2012). Cambios nutrimentales en el lechón y desarrollo morfofisiológico de su aparato digestivo. *Veterinaria México*, 43(2), 155–173.

- Steiner, J. M. (2008). *Small animal gastroenterology*. Schlutersche.
- Suckow, M. A., Stevens, K. A., y Wilson, R. P. (2012). *The laboratory rabbit, guinea pig, hamster, and other rodents*. Academic Press.
- Swenson, M. J., y Reece, W. O. (1999). *Fisiología de los animales domésticos*. Limusa.
- Taco, Z. (2016). Alimentación de cuyes en crecimiento con bloques nutricionales elaborados con ruminaza.
- Vallecilla, C. (2014). Fisiología digestiva de monogástricos. *Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia*.
- Vílchez, C. (2007). Avances en alimentación y sanidad de cuyes. (SlidePlayer).

## Anexo A: Fotografías del Trabajo de Campo



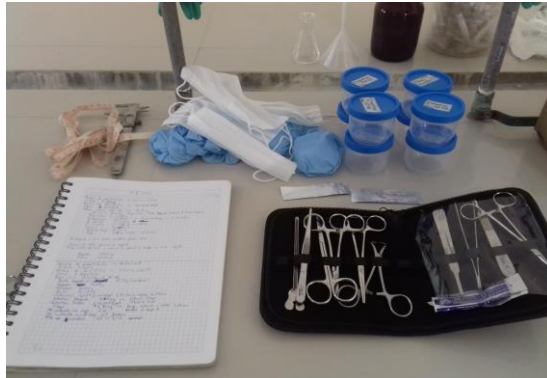
**Figura 9.** Jaulas adecuadas para los cuyes.



**Figura 10.** Hembras gestantes.



## Anexo B: Fotografías del Trabajo de Laboratorio



**Figura 11.** Materiales.



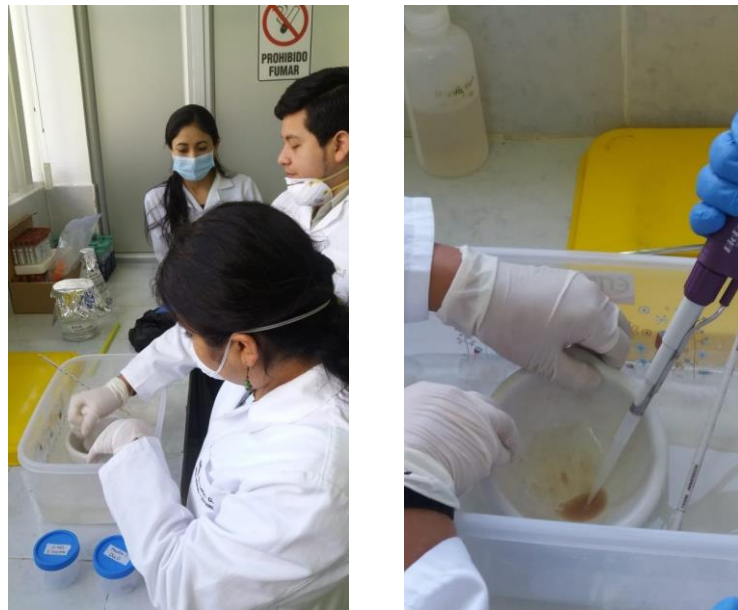
**Figura 12.** Peso vivo de animales.



**Figura 13.** Medidas de órganos digestivos.



**Figura 14.** Pesaje de órganos digestivos.



**Figura 15.** Homogenización de la muestra.

## Anexo C: Análisis estadístico

Información del modelo	
Conjunto de datos	WORK.IMPORT2
Variable dependiente	ACTIVIDAD
Estructura de covarianza	Simetría compuestas
Efecto de sujeto	ANIMAL
Método de estimación	REML
Método de varianza del residual	Perfil
Método SE de efectos fijos	Basado en el modelo
Método de grados de libertad	Between-Within

Test de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	Pr > F
EDAD	4	4	0.94	0.5234

Medias de mínimos cuadrados						
Efecto	EDAD	Estimación	Error estándar	DF	t valor	Pr >  t
EDAD	14	0.04082	0.09314	4	0.44	0.6838
EDAD	21	0.02455	0.09314	4	0.26	0.8051
EDAD	29	0.1062	0.09314	4	1.14	0.3180
EDAD	33	0.2193	0.09314	4	2.35	0.0781
EDAD	40	0.1239	0.09314	4	1.33	0.2542

Diferencias de medias de mínimos cuadrados							
Efecto	EDAD	EDAD	Estimación	Error estándar	DF	t valor	Pr >  t
EDAD	14	21	0.01627	0.1130	4	0.14	0.8925
EDAD	14	29	-0.06533	0.1130	4	-0.58	0.5942
EDAD	14	33	-0.1785	0.1130	4	-1.58	0.1894
EDAD	14	40	-0.08310	0.1130	4	-0.74	0.5029
EDAD	21	29	-0.08160	0.1130	4	-0.72	0.5102
EDAD	21	33	-0.1948	0.1130	4	-1.72	0.1599
EDAD	21	40	-0.09937	0.1130	4	-0.88	0.4289
EDAD	29	33	-0.1132	0.1130	4	-1.00	0.3733
EDAD	29	40	-0.01777	0.1130	4	-0.16	0.8827
EDAD	33	40	0.09541	0.1130	4	0.84	0.4461

**Figura 16.** Análisis estadístico de actividad enzimática.