



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales

Comportamiento productivo y morfofisiología
gastrointestinal en conejos alimentados con diferentes
niveles de microalga *Scenedesmus* sp.

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado
de

Maestro en Salud y Producción Animal Sustentable

Presenta

MVZ. Salvador Helgueros Ávila

Dirigido por:

Dr. José Guadalupe Gómez Soto

Querétaro, Qro. México 2021.



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ciencias Naturales

Maestría en Salud y Producción Animal Sustentable

Comportamiento productivo y morfofisiología gastrointestinal en conejos alimentados con diferentes niveles de microalga *Scenedesmus* sp.

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestro en Salud y Producción Animal Sustentable

Presenta

MVZ. Salvador Helgueros Ávila

Dirigido por:

Dr. José Guadalupe Gómez Soto

Dr. José Guadalupe Gómez Soto

Presidente

Dra. Tércia Cesária Reis de Souza

Secretario

Dr. Konisgmar Escobar García

Vocal

MSPAS. Paola Jazmín Aranda Vargas

Vocal

MSPAS. José Pablo Morales Anguiano

Vocal

Centro Universitario, Querétaro, Qro. México 2021.

RESUMEN

Se caracterizó químicamente la microalga *Scenedesmus* sp. y se evaluó el comportamiento productivo y la morfofisiología gastrointestinal de conejos en engorda alimentados con dicha microalga. El experimento se realizó en el Área Cunícola de la Universidad Autónoma de Querétaro. Se utilizó un total de 30 conejos raza Nueva Zelanda destetados a los 35 días de edad, los cuales fueron divididos en tres grupos, 10 por cada dieta. Se elaboraron tres dietas experimentales que tuvieron en común ser isoproteicas (16 % de proteína cruda), isofibrosas (16 % de fibra detergente ácido) e isoenergéticas (2.4 Mcal/kg de energía digestible). Cada dieta tuvo un porcentaje diferente de inclusión de la microalga *Scenedesmus* sp. (0, 5 y 10 %). A los conejos alimentados con las dietas experimentales les fueron evaluados parámetros productivos como consumo diario de alimento, ganancia diaria de peso, eficiencia alimenticia y peso vivo, así como las características de la canal (peso, rendimiento y pH) y morfofisiología gastrointestinal. La microalga *Scenedesmus* sp. es un alimento proteico (40.31 % de proteína cruda) la cual suele sustituir principalmente a la pasta de soya en dietas de conejo. En las condiciones experimentales la inclusión de la microalga *Scenedesmus* sp. al 5 % y 10 % en dietas para conejos en engorda no tuvo efecto ($P > 0.05$) en la ganancia diaria de peso, eficiencia alimenticia y peso vivo, así como en las características de canal evaluadas con respecto a la dieta control (0 %). No obstante, el consumo diario de alimento aumentó ($P < 0.05$) al incluir 10 % de microalga. El pH de los contenidos gastrointestinales no fue afectado por los niveles de inclusión de la microalga ($P > 0.05$). De igual manera la altura de las vellosidades no fueron alteradas ($P > 0.05$) por la inclusión de la microalga. La profundidad de las criptas disminuyó ($P < 0.05$) al incrementar la inclusión de la microalga. Independientemente del nivel de inclusión de *Scenedesmus* sp. en el alimento el comportamiento productivo y morfofisiología gastrointestinal en conejos de engorda fueron adecuados a la edad de los animales.

PALABRAS CLAVE: *Scenedesmus*, conejo, microalga, nutrición, engorda.

ABSTRACT

The microalga *Scenedesmus* sp. was chemically characterized and the productive behavior and gastrointestinal morphophysiology of fattening rabbits fed with this microalga was evaluated. The experiment was carried out in the Rabbit Area of the Universidad Autónoma de Querétaro. A total of 30 New Zealand breed rabbits weaned at 35 days of age were used, which were divided into three groups, 10 for each diet. Three experimental diets were developed that had in common being isoproteic (16% crude protein), isofibrous (16% acid detergent fiber) and isoenergetic (2.4 Mcal / kg of digestible energy). Each diet had a different inclusion percentage of the microalgae *Scenedesmus* sp. (0, 5 and 10%). The rabbits fed the experimental diets were evaluated for productive parameters such as daily feed intake, daily weight gain, feed efficiency and live weight, as well as the characteristics of the carcass (weight, yield and pH) and gastrointestinal morphophysiology. The microalgae *Scenedesmus* sp. It is a protein food (40.31% of crude protein) which usually replaces mainly soybean paste in rabbit diets. Under the experimental conditions, the inclusion of the microalgae *Scenedesmus* sp. 5% and 10% in fattening rabbit diets had no effect ($P > 0.05$) on daily weight gain, feed efficiency and live weight, as well as on the carcass characteristics evaluated with respect to the control diet (0%). However, daily food consumption increased ($P < 0.05$) when including 10% microalgae. The pH of the gastrointestinal contents was not affected by the inclusion levels of the microalgae ($P > 0.05$). Similarly, the height of the villi was not altered ($P > 0.05$) by the inclusion of the microalgae. Crypt depth decreased ($P < 0.05$) as microalgae inclusion increased. Regardless of the inclusion level of *Scenedesmus* sp. in feed, the productive behavior and gastrointestinal morphophysiology in fattening rabbits were appropriate to the age of the animals.

KEYWORDS: *Scenedesmus*, rabbit, microalgae, nutrition, fattening.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermanos por su amor, confianza, paciencia y por su apoyo incondicional y sé que siempre podré contar con todos ellos.

A CONACYT por el apoyo financiero que nos da a los estudiantes y nos permite estudiar la maestría.

A la Universidad Autónoma de Querétaro, mi alma *mater*, que me brindó sus recursos para realizar los procesos educativos y experimentales.

A mi comité tutorial el Dr. José Guadalupe Gómez Soto, la Dra. Tércia Cesária Reis de Souza, el Dr. Konisgmar Escobar García, la MSPAS. Paola Jazmín Aranda Vargas y el MSPAS. José Pablo Morales Anguiano que me guiaron y exigieron lo mejor de mí para esforzarme más y realizar un mejor trabajo.

Al Dr. Juan Fernando García Trejo de la Facultad de Ingeniería del Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro por el aporte de la microalga.

A los trabajadores del Campus Amazcala que me apoyaron en mi estancia al realizar el experimento, sobre todo al MVZ. Miguel Ángel Flores por su ayuda en el manejo de los conejos.

Al Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Naturales que permitió la realización de los análisis químicos en especial a la Lic. Aurora Jauregui y la C. Leticia Castillo, por el apoyo en las diferentes actividades de laboratorio.

A los estudiantes de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Luisa Mondragón, Dante Escobedo, María Robles y Berenice Navarrete por su ayuda y acompañamiento en el proceso del experimento.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	viii
I.-INTRODUCCIÓN.....	1
II.- ANTECEDENTES.....	2
2.1 Cunicultura en el Mundo y México.....	2
2.1.1 Cunicultura en el mundo.....	2
2.1.2 Cunicultura en México.....	4
2.2 Anatomía y fisiología gastrointestinal del conejo.....	7
2.2.1 Generalidades.....	7
2.2.2 Actividad enzimática.....	12
2.2.3 Cecotrofia.....	14
2.3 Nutrición y alimentación del conejo.....	15
2.3.1 Requerimientos nutricionales.....	15
2.3.1 Ingredientes convencionales.....	22
2.4 Microalgas.....	23
2.4.1 Generalidades.....	23
2.4.2 Cultivo de microalgas.....	24
2.4.2.1 Medio ambiente.....	24
2.4.3.2 Cinética de crecimiento.....	25
2.4.3.3 Métodos de recolección de microalgas.....	25
2.4.4 Aspectos nutricionales.....	26
2.4.5 Microalgas para alimentación animal.....	30
III.-JUSTIFICACIÓN.....	32
IV.-HIPÓTESIS.....	33
V.-OBJETIVOS.....	34
5.1 Objetivo general.....	34

5.2 Objetivos específicos	34
VI.- METODOLOGÍA.....	35
6.1 Análisis químicos	35
6.2 Dietas experimentales	36
6.3 Manejo y procedimientos efectuados con los conejos	37
6.3.1 Sincronización y monta de hembras	37
6.3.2 Manejo de gazapos.....	37
6.4 Prueba de comportamiento productivo	37
6.5 Proceso de matanza	38
6.6 Evaluación de canal.....	39
6.7 Evaluación de órganos digestivos.....	40
6.8 Evaluación histológica	40
6.9 Análisis estadístico	41
VII.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
7.1 Composición química de la microalga <i>Scenedesmus</i> sp.	42
7.2 Comportamiento productivo	44
7.2.1 Características de la canal.....	48
7.3 Morfofisiología gastrointestinal.....	50
7.3.1 Características de los órganos gastrointestinales.....	50
7.3.2 Morfometría de vellosidades y criptas intestinales	52
VIII.-CONCLUSIONES.....	55
IX.-BIBLIOGRAFÍA.....	56

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	página
1. Producción mundial de carne en toneladas por especie en 2017.....	2
2. Características de los sistemas de producción cunícola en México	6
3. pH estomacal con respecto a la edad en conejos.....	8
4. Concentración de la microbiota en conejos en diferentes etapas.....	14
5. Requerimiento energético para conejos en engorda.	16
6. Requerimiento de proteína y aminoácidos para conejos en engorda.	18
7. Requerimientos de fracciones de fibra para conejos en engorda.	19
8. Requerimiento de grasa para conejos en engorda.	20
9. Requerimientos de vitaminas para conejos en engorda.	21
10. Requerimiento de minerales para conejos en engorda.....	22
11. Perfil de aminoácidos de la microalga <i>Scenedesmus</i> sp. y la pasta de soya. .	28
12. Ingredientes y composición química de las dietas experimentales.....	36
13. Composición química de la microalga <i>Scenedesmus</i> sp. y la pasta de soya en base húmeda.	42
14. Comportamiento productivo por semana y dieta experimental	45
15. Evaluación de peso, pH y rendimiento de canal caliente y fría.	48
16. Morfofisiología gastrointestinal.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	página
1. Producción de carne de conejo en toneladas por continente en el 2017	3
2. Número de cabezas de conejos en el periodo 2007 a 2017 a nivel mundial	3
3. Número de cabezas por municipio del estado de Querétaro en 2007	5
4. Sistema digestivo del conejo.....	7
5. Manejo de animales y alimento.....	38
6. Evaluación de las características de la canal.....	40
7. Evaluación de órganos digestivos.....	40
8. Morfometría de vellosidades y criptas intestinales.....	52
9. Relación altura de vellosidad y profundidad de cripta.....	53

Dirección General de Bibliotecas UAG

ABREVIATURAS Y SIGLAS

- (AGV's) Ácidos Grasos Volátiles
- (AV/PC) Altura de vellosidad/Profundidad de cripta
- (EA) Eficiencia Alimenticia
- (ED) Energía Digestible
- (FC) Fibra Cruda
- (FD) Fibra Dietética
- (FDA) Fibra Detergente Ácido
- (FDN) Fibra Detergente Neutro
- (g) Gramos
- (h) Horas
- (kcal) Kilocaloría
- (kg) Kilogramos
- (Mcal) Mega caloría
- (MS) Materia Seca
- (NNP) Nitrógeno no Proteico
- (PC) Proteína Cruda
- (PD) Proteína Digestible
- (POU) Proteína de Origen Unicelular
- (T) Toneladas

I.-INTRODUCCIÓN

La cunicultura es un área de la zootecnia que tiene el propósito de criar al conejo doméstico, ya sea para la producción de carne, pelo, piel y pie de cría, así como para animales de laboratorio, mascotas, etc. (Martínez, 2004). Actualmente la seguridad alimentaria y el valor nutritivo de los alimentos han cobrado gran importancia. En este contexto, la carne de conejo es valorada por sus propiedades nutricionales, así como su fácil y rápida producción (Hernández, 2008). Se estima que para el año 2050 el número de personas incrementará un 34 % con respecto a la población del 2009, lo cual provocará un aumento a nivel global la demanda de proteínas de cualquier origen. Esto aplicará tanto para las proteínas utilizadas para el consumo humano, como para los alimentos proteicos destinados al sector pecuario (Viñas, 2012). Actualmente, por ejemplo, la pasta de soya es uno de los insumos más utilizados en la alimentación de conejos en engorda y el sector pecuario en general, ya que esta contribuye con dos tercios de la producción mundial total de los piensos proteicos (Oil World, 2015). El depender principalmente de una sola fuente de proteína, como la pasta de soya, hace vulnerable al sector ganadero a distorsiones del comercio, disponibilidad y volatilidad de precios (De Visser *et al.*, 2014). Debido a esto y a que la alimentación en las unidades pecuarias tiene un papel relevante por su relación con los costos, donde representa un 70 % de estos, y por el efecto que tiene sobre el rendimiento productivo de los animales, se vuelve necesario investigar fuentes proteicas alternativas que no compitan de forma directa con la alimentación humana, sean de producción rápida y sustentables. Una de las materias primas alternativas que se podrían emplear es la microalga *Scenedesmus* sp., que poseen una tasa de crecimiento rápido y altos niveles de proteína. Por lo anterior, tienen una aplicación potencial en la industria de alimentos balanceados para animales (Quevedo *et al.*, 2008). El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el comportamiento productivo en la etapa de engorda y la morfofisiología gastrointestinal en conejos de raza Nueva Zelanda alimentados con dietas con niveles crecientes de inclusión (0, 5 y 10 %) de *Scenedesmus* sp.

II.- ANTECEDENTES

2.1 Cunicultura en el Mundo y México

2.1.1 Cunicultura en el mundo

La demanda de alimentos es un problema complejo que aqueja a la mayor parte de los países del mundo, por lo que el humano ha ocupado la producción pecuaria como fuente de alimento. Una alternativa es la producción de animales de talla pequeña, como lo es la cunicultura, actividad encausada a la cría de conejos para el aprovechamiento de su piel, pelaje y carne (Martínez, 2004).

Durante el año 2017 el conejo aportó el 0.5 % de la producción mundial de carne, mientras que otras especies como el cerdo, res y pollo aportaron 37.4 %, 20.5 % y 33.7 %, respectivamente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Producción mundial de carne en toneladas por especie en 2017 (FAO, 2019).

Especie	Toneladas/Carne	%
Porcino	120,824,137	37.4
Pollo	109,056,178	33.7
Bovina	66,250,350	20.5
Ovina	9,498,356	2.9
Pavo	5,948,197	1.8
Caprina	5,853,335	1.8
Pato	4,460,227	1.4
Conejo	1,482,441	0.5
Total	323,373,221.00	100

El mayor productor del mundo de carne de conejo en el año 2017 fue el continente asiático, seguido por Europa. En los últimos lugares se encuentran África y América (Fig.1) (FAO, 2019).

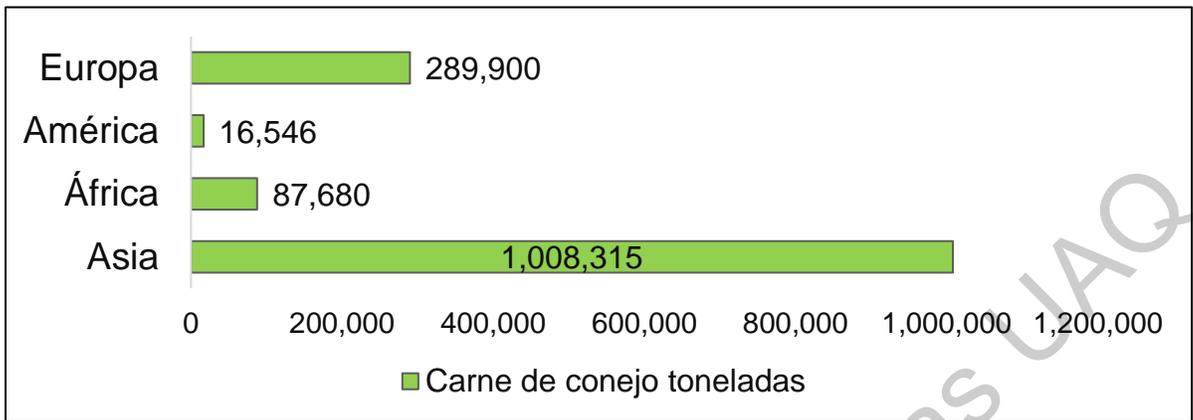


Figura 1. Producción de carne de conejo en toneladas por continente en el 2017 (FAO, 2019).

Se tienen registros sobre el inventario mundial de conejos (FAO, 2019) desde el año 2007, a partir del cual hay un incremento hasta el año 2017, en el que se registraron un total de 308,945,000 cabezas (Fig. 2).

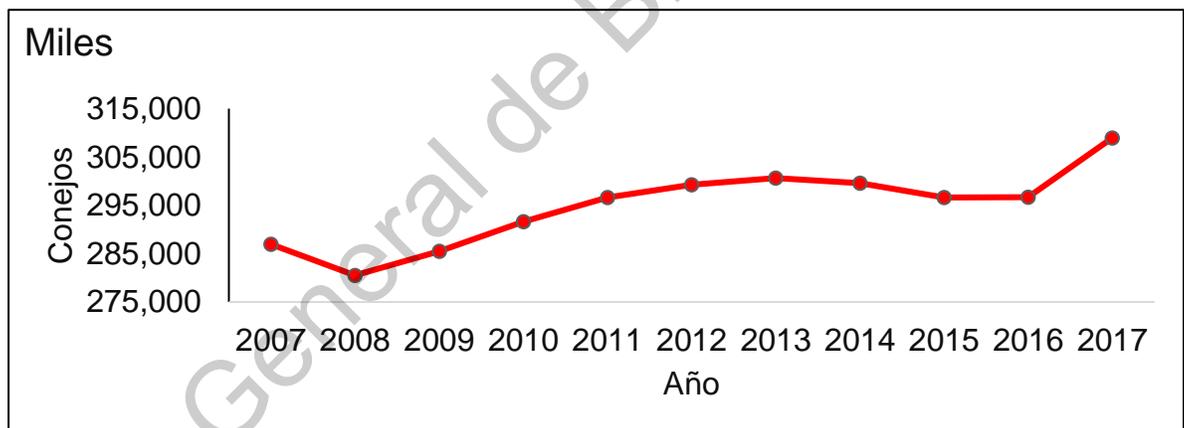


Figura 2. Número de cabezas de conejos en el periodo 2007 a 2017 a nivel mundial (FAO, 2019).

El continente asiático posee el mayor número de cabezas, registrando 263,082 animales (FAO, 2019). A pesar de que Asia tiene un superior número de cabezas y producción de carne, esta región no es la que más consume carne de conejo, siendo los países europeos los que tienen el mayor consumo. Mundialmente se tiene un consumo *per cápita* promedio de 1.56 kg al año (Lebas *et al.*, 1996).

Armada (2016) informa que el consumo *per cápita* en México está entre los 30 y 134 g.

A pesar que la cría y el consumo del conejo son inferiores a otros sistemas de producción pecuaria, la cunicultura ha mostrado ser una actividad redituable para pequeños y medianos productores, debido a que tiene como características un fácil manejo de los animales, una rápida capacidad para recuperar la inversión y se necesita poco espacio para su producción (Olivares *et al.*, 2009).

2.1.2 Cunicultura en México

En México el consumo de conejo se tiene registrado desde la época prehispánica, con el conejo silvestre que existía en la zona, perteneciente al género *Sylvilagus* spp. Posteriormente se empezó a consumir el género *Oryctolagus* que fue introducido por los españoles durante los siglos XVI y XVII (Martínez, 2004).

En 1970 se observó un crecimiento en el sector cunícola debido al apoyo dado por el Programa Nacional de Fomento a la Cunicultura, ya por 1981 existían 1,378,210 cabezas en el país. Las razas más utilizadas fueron la Nueva Zelanda Blanco, Chinchilla y Criollo (Lebas *et al.*, 1996). En 1988 llegó a México la fiebre hemorrágica viral, lo que implicó en la despoblación de granjas infectadas y la matanza de conejos, por esto el país tiene un letargo productivo y un rechazo social hacia la carne de conejo (Martínez, 2004).

Hasta el año 2007 se tienen registradas un total de 22,535 unidades pecuarias que cuentan con conejos, con un total de 500,349 cabezas (INEGI, 2007) y una producción actual de 4,250 T de carne (FAO, 2019).

Los estados en donde se tiene una mayor productividad cunícola son: Hidalgo, Puebla, Estado de México y Guanajuato. En el estado de Querétaro hay 281 unidades de producción registradas con un total de 8,149 conejos. Los municipios con mayor número de cabezas son San Juan del Río, Tolimán y El Marqués (Fig. 3) (INEGI, 2007).

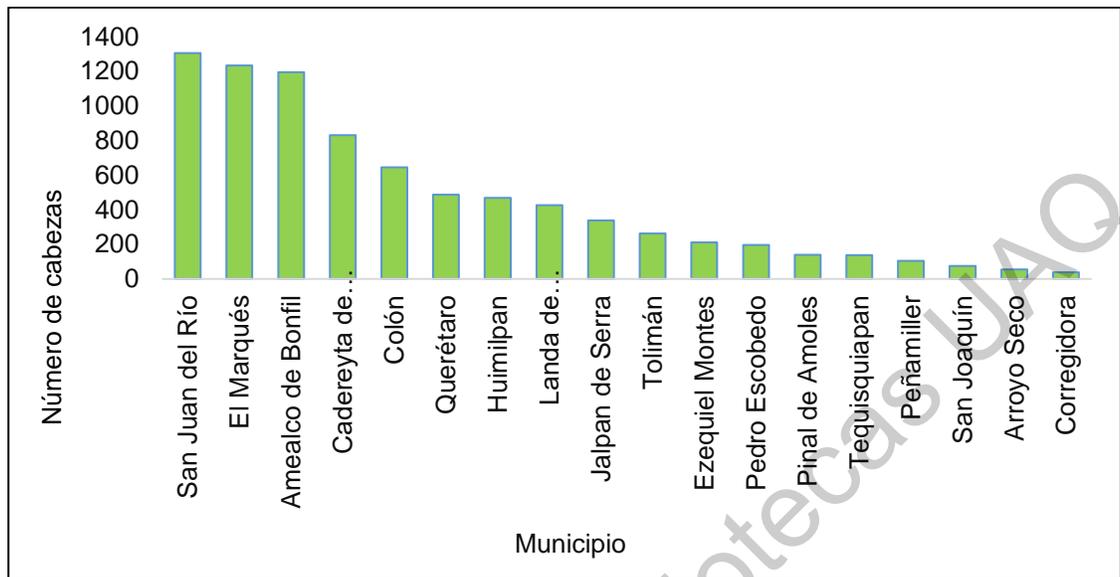


Figura 3. Número de cabezas por municipio del estado de Querétaro en 2007 (INEGI 2007).

En la actualidad los sistemas de producción cunícola en México en su mayor parte son de traspatio o semi intensivo y en su minoría intensivos. Las características de las instalaciones se observan en el Cuadro 2. Las unidades de traspatio presentan un ambiente natural y las unidades intensivas un ambiente controlado, la reproducción es realizada por monta natural en la gran mayoría de los sistemas de producción. La alimentación se basa en alimento balanceado o comercial y desperdicios de cocina en las unidades de traspatio, mientras que en los sistemas intensivos se utiliza alimento comercial diferenciado por etapa productiva. En lo que respecta al manejo sanitario, solo se utiliza la desparasitación externa e interna en unidades de producción intensivas (Mendoza, 2001).

Cuadro 2. Características de los sistemas de producción cunícola en México (Mendoza, 2001).

Aspectos	Sistema de producción		
	Traspatio	Semi intensivo	Intensivo
Tipo de cubrición	Monta natural	Monta natural	Monta natural/inseminación artificial
Monta	Posdestete	15 días posparto	3 - 9 días posparto
Destete	A los 35 días postparto	A los 35 días postparto	A los 30 días postparto
Instalaciones	Ambiente natural	Ambiente Natural	Ambiente controlado
Alimentación	Mixta: alimento balanceado, desperdicios de cocina	Alimento comercial único	Alimento comercial diferenciado por etapa productiva
Manejo Sanitario	No se realizan desparasitaciones	Desparasitaciones internas y externas	Desparasitaciones internas y externas
Identificaciones	Animales sin identificación	Tatuaje y con tarjeta de control	Tatuaje y con tarjeta de control
Uso de registros	Sin uso de registro	Registros productivos	Registros productivos
Destino de la producción	Principalmente autoconsumo	Venta de animal vivo y en canal	Venta de animal vivo y en canal
Producción	30/gazapos/hembra/año	45/gazapos/hembra/año	55/gazapos/hembra/año
Mortalidad en engorda	> 10 %	< 10 % - > 5 %	< 5 %

2.2 Anatomía y fisiología gastrointestinal del conejo

2.2.1 Generalidades

El sistema digestivo del conejo (Fig. 4) se diferencia de otras especies por las funciones que tienen el ciego y colon, así como por realizar la cecotrofia, que es la ingestión de heces blandas de origen cecal (cecotrofos). Esto hace que la digestión microbiana en el ciego sea más importante para los procesos de digestión y la optimización de los nutrientes (De Blas y Wiseman, 2010).

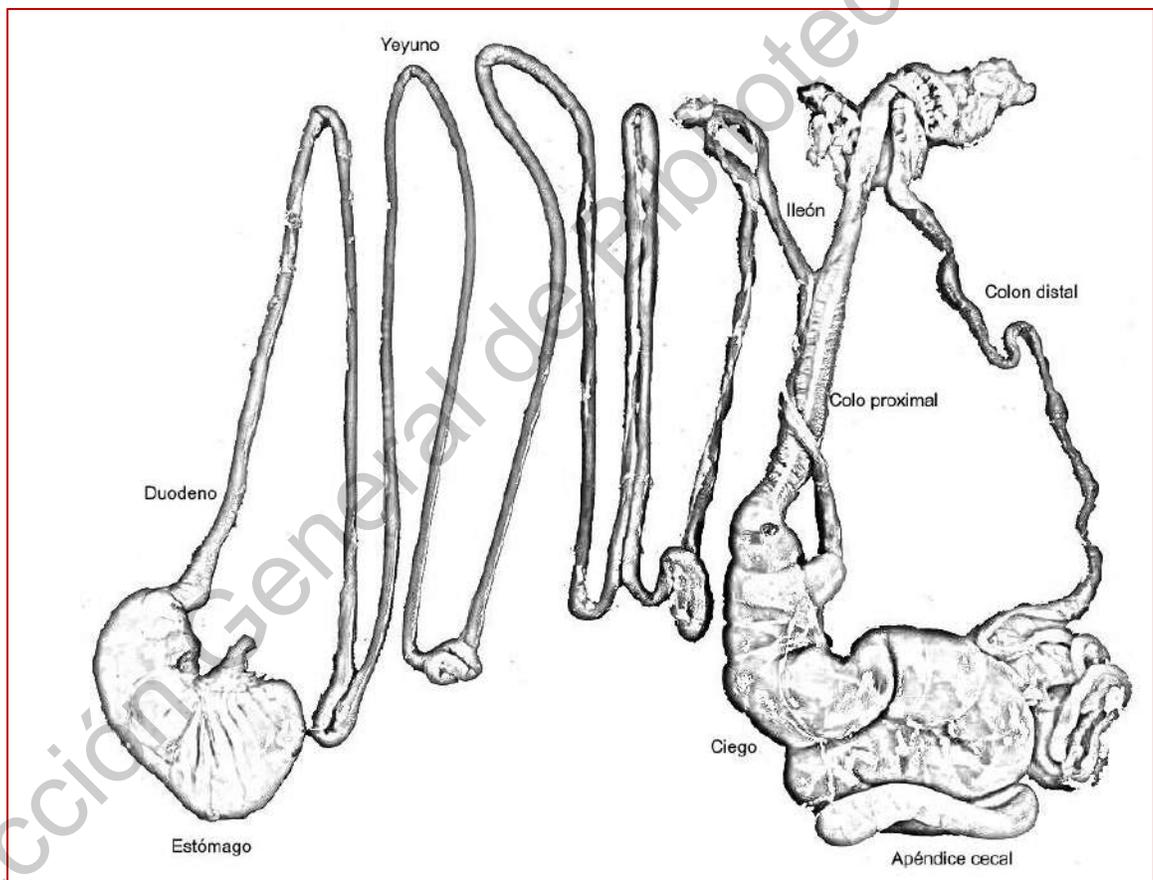


Figura 4. Sistema digestivo del conejo

El proceso digestivo comienza con la ingesta del alimento. El conejo utiliza como órganos prensiles los bellos y los dientes incisivos, realiza 120 movimientos masticatorios por minuto para procesar el alimento, mientras que los cecotrofos los deglute sin masticar (Martínez, 2004).

La fórmula dentaria del conejo es: incisivos 2/1, colmillos 0/0, premolares 3/2 y molares 3/3, con un total de 28 dientes. Los incisivos son estructuras de crecimiento constante, crecen de 10 a 12.5 cm al año, esto debe tomarse en cuenta al elaborar la dieta ya que debe tener un tamaño y una dureza adecuada para que el conejo pueda roer y estimular el desgaste (Carabaño, 1997).

El primer compartimiento gastrointestinal es el estómago, cuenta con una capa muscular muy débil, por lo cual la motricidad del estómago es reducida y está influenciada por el número de ingestas, el tipo de alimento y la presencia o no de cecotrofos (De Blas *et al.*, 2002). La capacidad del estómago ocupa aproximadamente el 34 % del volumen total de los órganos digestivos (Portsmouth, 1977).

El estómago del conejo nunca se encuentra vacío, pues aún sin alimento este ingiere sus cecotrofos, los cuales se almacenan en la región fúndica (Cheeke, 1987). Por lo tanto, los cecotrofos permanecen un mayor tiempo en estómago permitiendo que en el interior se sigan desarrollando fermentaciones bacterianas con producción de ácido láctico y ácidos grasos volátiles (Domínguez *et al.*, 2008). El estómago se encuentra en secreción continua y su pH se acidifica con el paso de la edad (Cuadro 3) (Gutiérrez *et al.*, 2002).

Cuadro 3. pH estomacal con respecto a la edad en conejos (De Blas, 1991).

Edad en días	pH Gástrico
1 - 7	5
7 - 14	5 - 5.6
15 - 28	4 - 6.5
29 - 35	3 - 5
36 - 42	2 - 5
43 - 49	1 - 3

Se estima que el tiempo de retención a nivel estomacal fluctúa entre 3 y 4 h para los alimentos y de 6 a 7 h para los cecotrofos mezclados con el alimento. En este periodo de tiempo el ácido clorhídrico (HCl) actúa sobre el pepsinógeno, para activarlo como pepsina, y esta digiere las proteínas, reduciéndolas a peptonas para posteriormente seguir su paso al intestino delgado (Pérez de Roza, 2014).

El estómago se conecta con el intestino delgado, que mide aproximadamente tres metros de largo. Es el principal sitio de digestión química, ya que es donde llega la secreción de la bilis y las enzimas digestivas provenientes del hígado y el páncreas, respectivamente (Portsmouth, 1977).

El páncreas del conejo es pequeño y difuso, dicho órgano es fundamental para la secreción de las enzimas utilizadas en la digestión. El páncreas produce la tripsina, la quimotripsina y las carboxipeptidasas, las cuales son liberadas en la luz intestinal (Carabaño, 1997). Por otro lado, el parénquima hepático, mediante los conductos biliares de la vesícula biliar, excreta la bilis en el intestino delgado, dicha sustancia contiene los ácidos biliares, como el ácido cólico y el quenodesoxicólico, los cuales ayudan en la digestión del material graso y las vitaminas liposolubles, por medio de la emulsificación (Cheeke, 1987).

El intestino delgado está constituido por tres segmentos: duodeno, yeyuno e íleon. El duodeno es el segmento con más longitud y cuenta con una gran capacidad de movimiento, con esta acción mezcla el contenido proveniente del estómago con las sales biliares y con el jugo pancreático, con lo cual modifica el pH, alcanzando un pH neutral en intestino delgado (Nicodemus *et al.*, 2002). También en el intestino delgado se secretan enzimas por medio del borde de cepillo de las células epiteliales, las cuales son: aminopeptidasa, dipeptidasa, nucleasas, nucleotidasas, isomaltasa, maltasa, lactasa y sacarasa (Chavarría, 2020).

La mayor parte de la digestión de carbohidratos y proteínas tiene lugar en el duodeno y el yeyuno, y los productos de esta digestión se absorben a través de las células del borde de cepillo del yeyuno y del íleon (Gutiérrez *et al.*, 2002). Esto

incluye la absorción de los productos biológicos obtenidos de la fermentación de los cecotrofos, como aminoácidos, ácidos grasos volátiles, vitaminas y proteínas microbianas digeridas. La destrucción de los microorganismos dentro de los cecotrofos también libera enzimas microbianas, especialmente la amilasa, que mejora los propios procesos digestivos del conejo (Cheeke, 1987). Por otra parte, también actúa la lisozima bacteriana, la cual facilita la digestión de la proteína microbiana de los cecotrofos (Camara y Prieur, 1984). Por otro lado, la digestión de los lípidos se da en el duodeno con la ayuda de la bilis. La secreción de micelas de sales biliares emulsionan a los lípidos, aumentando su superficie, lo que permite la unión de la colipasa, la cual facilita la hidrólisis de los lípidos por medio de la lipasa pancreática (Carabaño, 1997).

La motilidad intestinal es importante para la digestión y absorción de los nutrientes, tal proceso se compone de dos movimientos. La segmentación, que mezcla el contenido intestinal (alimentos, cecotrofos y secreciones) por medio de la constricción de las paredes intestinales. Por otra parte, está el peristaltismo, que consiste en la contracción en forma de anillo a lo largo del intestino, el cual mueve el contenido intestinal hacia el intestino grueso (Cheeke, 1987). Dichos movimientos son controlados por la motilina, un péptido secretado por las células enterocromafines del duodeno y el yeyuno, provocando las contracciones del músculo liso (Ito, 1990).

El íleon desemboca en el intestino grueso a través de la válvula ileocecal, la cual tiene como función dirigir selectivamente el curso del alimento y cecotrofos de acuerdo al tamaño de partícula, las de tamaño pequeño (<0.5 mm) se dirigen al ciego, mientras que las de tamaño grande (>0.5 mm) van hacia el colon proximal (Carabaño, 1997).

El ciego se caracteriza por tener una capa muscular débil y un contenido de materia seca (MS) de 200 g. El ciego realiza movimientos antiperistálticos para movilizar las partículas de menor tamaño hacia el fondo del ciego, por otra parte, realiza movimientos peristálticos para trasladar el contenido cecal fermentado hacia

el colon proximal. Los contenidos cecales son ligeramente ácidos con un pH alrededor de 5.4 a 6.8 (Gutiérrez *et al.*, 2002). La capacidad del ciego es de aproximadamente 50 % del volumen total del tracto digestivo (Portsmouth, 1977).

El colon se divide en dos partes: el colon proximal que tiene una longitud aproximadamente de 35 cm de largo, y el colon distal con una longitud de 80 - 100 cm de largo. El colon proximal cuenta con tres segmentos: el primer segmento triplemente haustrado; el segundo haustrado simple; y el tercero sin haustros, que está densamente enervado, y actúa como un marcapasos para el colon durante la fase de la formación de heces duras (Carabaño, 1997).

La dieta de conejos es alta en alimentos fibrosos, a pesar de que estos no producen enzimas que transformen esos compuestos en nutrientes absorbibles (De Blas y Mateos, 1998). Sin embargo, en el ciego se encuentra la microbiota, que provee enzimas que permiten la fermentación de polisacáridos insolubles para su aprovechamiento. Los subproductos de la fermentación son los ácidos grasos volátiles (AGV's), estos se absorben a través de las paredes cecales y el conejo las utiliza como fuentes de energía (Domínguez *et al.*, 2008). La microbiota del ciego también fermenta el amoníaco, la urea, las proteínas y las enzimas provenientes del intestino delgado. Los productos de este metabolismo son las estructuras de proteínas y enzimas de la propia microbiota, que se vuelen a ingerir como cecotrofos (De Blas y Gidenne, 1998). Así mismo, el apéndice del ciego participa en la secreción de bicarbonato para compensar la acidez de los AGV's. Por otra parte también hay secreción de agua para formar una pasta cecal semifluida (Harkness y Wagner, 1995).

Al final del intestino grueso se encuentra el recto, el cual no tiene ningún papel significativo en la fisiología digestiva (Pérez de Rozas, 2014). En la región anal se encuentran las glándulas anales, las cuales impregnan de una secreción olorosa a las heces duras, también sirven para marcar el territorio por medio de feromonas. Estas glándulas también conocidas como odoríferas, se deben retirar de la canal, ya que pueden alterar el sabor de la carne (Salgado, 2016)

La morfología y función del sistema digestivo tiene cambios con el transcurso de la edad de los conejos, los diferentes segmentos crecen a ritmos diferentes, hasta alcanzar su madurez. En los conejos recién nacidos, el estómago y el intestino delgado son los principales componentes del tracto digestivo (Sabatakou *et al.*, 1999).

2.2.2 Actividad enzimática

El desarrollo temprano del estómago y el intestino delgado es importante para asegurar la supervivencia de los gazapos, ya que alrededor de los 18 días de vida el conejo lactante empieza a comer alimentos sólidos y disminuir su ingesta de leche (De Blas *et al.*, 2008).

Durante el período de lactancia, en el estómago las glándulas de las mucosas son capaces de producir HCl, moco y las enzimas: pepsina, quimosina y lipasa gástrica, las cuales representan la mayor parte de la actividad digestiva. Al cumplir los tres meses de edad la actividad de la quimosina y la lipasa gástrica disminuye hasta que no son detectables (Carabaño, 1997). La actividad de la lactasa aumenta hasta cumplir los 25 días de vida, mientras que la sacarasa y la maltasa alcanzan su máxima función en alrededor de los 28 a 32 días (Gutiérrez *et al.*, 2002).

Respecto al ciego y el colon estos se desarrollan más rápido que el resto del tracto digestivo. En el periodo de tres a siete semanas de vida el ciego es llenado por contenido digerido y microbiota. El pH del ciego también se ve afectado por la edad, disminuye a 6.8 a los 15 días y a 5.6 a los 50 días (Padilha *et al.*, 1995).

La actividad enzimática en el ciego incrementa marcadamente con la edad y es debido a la colonización de microorganismos, que utilizan sus celulasas, pectinasas, xilanasas y ureasas, que junto con la cecotrofia ayudan en el aprovechamiento digestivo de las fuentes de fibra generando energía adicional, aminoácidos y vitaminas (Pascual, 2001).

Los géneros principales de la población microbiana son *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus* spp. (Carrizo, 2002). La composición de la microbiota no permanece constante durante toda la vida del conejo y está fuertemente influenciada por el momento del destete (Cuadro 4) (Pere, 1992).

Como resultado de la actividad fermentativa de la microbiota, se producen los AGV's, los cuales se crean en una relación de: 60 - 80 % de acetato, de 8 - 20 % de butirato y de 3 - 10 % de propionato (Gutiérrez *et al.*, 2002). Que la mayor proporción de AGV's sea de acetato, se debe a que se utiliza como principal sustrato la fibra. Por el contrario, la baja concentración de propionato, se relaciona con la poca cantidad almidón y azúcares que llegan al ciego para la fermentación (Gecel, 1986). En el periodo de 15 - 25 días de edad la concentración de acetato aumenta. Y hay un cambio entre la proporción del propionato y butirato entre los 15 - 29 días de edad (Padilha *et al.*, 1995). El hígado es el principal órgano que metaboliza los AGV's, absorbe propionato y butirato, mientras que el acetato está disponible para el metabolismo del tejido extrahepático, como los colonocitos del intestino grueso. Se estima que el conejo obtiene hasta 40 % de sus requisitos de energía de mantenimiento de los AGV's producidos por la fermentación en el intestino grueso (Marty y Vernay, 1984).

Cuadro 4. Concentración de la microbiota en conejos en diferentes etapas (Pere, 1992).

Microorganismo	Concentración de microbiota expresada en log. 10 unidades formadoras de colonia por gramo		
	Posdestete	Mitad de la engorda	Final de la engorda
<i>Escherichia coli</i>	3.1	2.1	2.2
<i>Staphylococcus aureus</i>	1.7	2.4	2.6
<i>Streptococcus</i> spp.	5.7	2.4	2.6
Levaduras	5.1	1.7	1.7
Lactobacilos	4.3	6.8	6.8
<i>Bacteroides</i> spp.	8.4	10.5	8.7
<i>Bifidobacterium</i>	8.1	9.2	7.2
Anaerobios totales	9.3	10.8	7.1
Aerobios totales	9.1	10.5	10.5

2.2.3 Cecotrofia

Los cecotrofos consisten en pequeños gránulos de 5 mm de diámetro provenientes del ciego. Los conejos los reconocen y los toman directamente del ano para consumirlos sin masticación (Gidenne y Poncet, 1985).

Cuando la alimentación del conejo es *ad libitum*, normalmente la cecotrofia se inicia por la mañana entre las 4 y las 6, teniendo una duración de entre 7 y 9 h. Durante esta etapa hay ausencia de excreción de heces y el consumo de alimento baja. Por otra parte, el consumo de alimento y la excreción de heces duras se producen durante la oscuridad (Orengo y Gidenne, 2007). Cuando la alimentación es restringida, el conejo realiza la cecotrofia entre 3 y 5 horas después de ofrecer el alimento (Gecel, 1986).

La cecotrofia no se produce por un desequilibrio nutricional, sino que representa una estrategia digestiva especializada para el aprovechamiento de los productos fermentados a partir de alimentos fibrosos. El consumo de cecotrofos comienza cuando los conejos destetados empiezan a consumir alimentos sólidos. La producción de cecotrofos aumenta linealmente con la edad (Gidenne y Lebas, 1987).

Los cecotrofos se forman en el colon proximal a partir del contenido del ciego. Este proceso se diferencia al de las heces duras por cambios en la actividad peristáltica y secretoria del segmento ciego - colon (García *et al.*, 2005).

En la formación de heces duras, el ciego aumenta su actividad peristáltica para movilizar su contenido al colon proximal. Una vez que el contenido se encuentra en el colon proximal, los movimientos peristálticos lo dividen en dos fases, una líquida y otra sólida, estas llegan al *fusus coli*, el cual realiza fuertes movimientos antiperistálticos para regresar la fase líquida al ciego. Junto al incremento de la motilidad intestinal hay un aumento de la absorción de agua para la formación de heces duras. Por otro lado, la formación de cecotrofos se caracteriza por una disminución marcada de las contracciones a nivel ciego y colon, lo que bloquea el mecanismo de separación del contenido, a su vez hay un aumento en la actividad secretora de moco para la formación de los cecotrofos, así como una marcada disminución en la absorción de agua (Gecel, 1986).

En lo que se refiere a suministro de nutrientes de los cecotrofos, estos varían con las características nutritivas de la dieta. Los cecotrofos proveen del 15 – 22 % de la proteína requerida, además contiene una alta concentración de aminoácidos esenciales como la lisina, aminoácidos azufrados y treonina que representan del 10 - 23 % de la ingesta total (Belenguer *et al.*, 2005). El contenido de la proteína microbiana en los cecotrofos varía con la dieta, entre el 30 – 68 %. La actividad microbiana es también responsable del alto contenido de vitaminas K y B presente en los cecotrofos (García *et al.*, 2005).

2.3 Nutrición y alimentación del conejo

2.3.1 Requerimientos nutricionales

En conejos en engorda de alrededor de 1.6 kg de peso vivo, su consumo diario de alimento es de 110 g, para conejos con pesos alrededor de 2.25 kg su consumo es de 130 g diarios (De Blas y Wiseman, 2010).

Las necesidades nutricionales se definen como las cantidades de nutrientes que deben estar presentes en la dieta para que el animal pueda desarrollarse y producir normalmente de acuerdo a su estado fisiológico. Los requerimientos pueden variar de acuerdo a factores como la genética, tipo de sistema de producción, el medio ambiente y el estado de salud del animal (Fernández, 1970).

Energía

Los requerimientos de energía se muestran en el Cuadro 5. El conejo en engorda necesita 2500 un consumo de 2500 kcal de energía digestible (ED) y una energía metabolizable (EM) de 2340 kcal para mantener su curva de crecimiento, este debe alcanzar.

Cuadro 5. Requerimiento energético para conejos en engorda.

Nutriente (Kcal)	NRC (1977)	Lebas (1989)	INRA (1984)	De Blas y Mateos (1998)
Energía Digestible	2500	2500	2500	2436.23
Energía Metabolizable	-	2380	-	2340.69

Proteína y aminoácidos

En el Cuadro 6 se muestra los requerimientos de proteína y aminoácidos para conejos en engorda. Los requerimientos de proteína cruda (PC) varían según el estado fisiológico del animal, sin embargo, van de desde el 12 - 18 % en todas las etapas. Para conejos en engorda la PC necesaria es del 15 - 16.5 % (NRC, 1977; INRA, 1984; De Blas y Mateos, 1998) y una proteína digestible (PD) del 10.7 % (De Blas y Mateos, 1998).

Cuando se alimentan los gazapos del destete hasta la matanza con dietas de 14 % de proteína, no se pone en peligro el rendimiento del crecimiento, si la relación entre PD/ED está alrededor de 9.5 y el suministro de aminoácidos es correcta. Con este nivel de proteína, es posible reducir aproximadamente un 38 % de la excreción

de nitrógeno en el periodo de engorde, y también reduce la mortalidad (García-Palomares *et al.*, 2006)

Los requerimientos de PC y de aminoácidos son relativamente elevados en conejos jóvenes, por la síntesis de tejido corporal y a la alta necesidad de maduración intestinal, así como el mantenimiento de la funcionalidad de la mucosa. Estos procesos requieren el uso de niveles más altos de proteína de alrededor de 16 - 18 % en el período post destete de los 21 a los 35 días de vida (Trocino *et al.*, 2000). Después de esa edad, el contenido de proteínas puede reducirse de 14 a 16 %, dependiendo del balance de aminoácidos esenciales (Carabaño *et al.*, 2009). Exceder el requerimiento de nitrógeno contribuye a varios problemas como: la contaminación ambiental (Toledo *et al.*, 2014), aumento en el costo de las dietas y enfermedades gastrointestinales como la enteropatía asociada al incremento del nitrógeno ileal (De Blas *et al.*, 2007).

La microbiota cecal es capaz de utilizar nitrógeno no proteico, como la urea, y en combinación con la cecotrofia ayuda a mejorar la digestión y la retención del nitrógeno. Sin embargo, estudios afirman que este nitrógeno extra no puede compensar los niveles bajos de proteínas en las dietas o el uso de fuentes de proteínas de baja calidad (aminoácidos no balanceados) para satisfacer los requisitos de crecimiento (Carabaño *et al.*, 2009).

Para la síntesis de proteína, se necesita cumplir con los requerimientos de aminoácidos, de los cuales algunos solo se pueden obtener por medio del alimento, a estos se les denominan aminoácidos esenciales. Los aminoácidos esenciales en conejos son lisina, aminoácidos azufrados (metionina y cisteína) y treonina (García *et al.*, 2006). Si uno de estos es deficiente en la dieta, el animal no podrá sintetizar más proteínas, por lo tanto, el resto de aminoácidos ingeridos no podrán ser aprovechados para la síntesis proteica. Los aminoácidos no utilizados sufren una desaminación en el hígado, lo cual tiene como resultado la formación de urea, que pasa al torrente sanguíneo lo cual aumenta el nitrógeno ureico plasmático, para ser excretado en la orina (Brown y Cline, 1974).

Cuadro 6. Requerimiento de proteína y aminoácidos para conejos en engorda.

Nutriente (%)	NRC (1977)	Lebas (1989)	INRA (1984)	De Blas y Mateos (1998)
Proteína	-	-	-	-
Proteína Cruda	16	16.5	16	15
Proteína Digestible	-	11.5	-	10.4
Aminoácidos				
Aminoácidos azufrados (AAS)	-	0.6	0.6	0.52
AAS digestibles	-	-	-	0.4
Lisina	0.65	0.7	0.65	0.75
Lisina digestible	-	-	-	0.59
Arginina	0.6	0.9	0.6	-
Histidina	0.32	0.35	0.3	-
Leucina	1.12	0.13	1.1	-
Isoleucina	0.62	0.6	0.6	-
Fenilalanina + Tirosina	1.12	1.2	1.1	-
Treonina	0.62	0.55	0.6	0.62
Treonina digestible	-	-	-	0.43
Triptófano	0.22	0.13	0.2	-
Valina	0.72	0.7	0.7	-

Fibra

La fibra es una entidad heterogénea formada por varios componentes que afectan la composición de la microbiota, la salud intestinal y el rendimiento productivo de los conejos.

Cuando el nivel de fibra dietética (FD) es muy elevado, el animal no puede incrementar su ingesta lo suficiente para cubrir sus necesidades energéticas, lo que lleva a un menor crecimiento (Gidenne *et al.*, 2000). El papel principal de la FD en la dieta, es la de favorecer el libre tránsito del alimento a través del tubo digestivo, principalmente por su fracción indigestible (Samoggia, 1986). Niveles bajos de FD generan menor velocidad de tránsito y más tiempo de permanencia en el ciego (Carabaño, 1997). Al mismo tiempo, la FD ayuda en la proliferación de la microbiota cecal en el conejo, lo cual contribuye a la prevención de patologías digestivas (Gidenne *et al.*, 2000).

Los requerimientos de fracciones de fibra se observan en el Cuadro 7. La cantidad de fibra cruda (FC) promedio que deben contener los alimentos para conejos, oscila entre el 12 - 15 %. Las tasas de crecimiento máximas se alcanzan con las dietas que contienen alrededor del 18 - 19% de fibra detergente ácido (FDA). Por encima de este nivel de fibra, conejos de engorde no son capaces de mantener la ingesta de ED, dietas altas en fibra con un 35 % de fibra detergente neutro (FDN) en MS disminuirá la tasa de conversión y ganancia diaria promedio en comparación con dietas con los valores óptimos (Feugier *et al.*, 2006).

Cuadro 7. Requerimientos de fracciones de fibra para conejos en engorda.

Nutriente (%)	Gidenne (2000)	De Blas y Mateos (1989)
Fibra Cruda	-	15.5
FDN	31	34
FDA	19	19
LDA	5.5	5

La inclusión de niveles moderados de 12% de fibra soluble en las dietas después del destete, han demostrado que mejora la respuesta inmune y reduce el deterioro de la mucosa tras el destete, la proliferación de patógenos en el intestino y la mortalidad en la engorda (Gómez-Conde *et al.*, 2007).

Grasa

La grasa provee gran cantidad de energía (9.0 kcal) respecto a otras materias, su aporte energético es tres veces mayor a la de otros alimentos, debido a esto es utilizado de gran forma en dietas energéticas.

El uso de grasa en la alimentación de conejos es limitado por varias razones: se alimenta a la mayoría con pellets, el rendimiento por el aumento de energía no incrementa como en otros sistemas de producción animal y podría no ser redituable su uso (Maertens, 1998). El uso de grasa total en la dieta esta entre 2 - 5 % promedio (Cuadro 8).

Los conejos tienen una preferencia por consumir *pellet* que por las dietas en harina, por lo cual es importante cuidar la calidad del *pellet*, la adición de grasa en el *pellet* tiene un efecto negativo sobre su calidad. Con un 4 % de grasa o aceite, los pellets tienden a romperse, formando partículas más pequeñas, lo dificulta usarlos en sistemas de alimentación automáticos o semiautomáticos. De otra manera, agregar del 2 – 3 % de grasa se considera el máximo nivel para conservar la calidad del pellet (Maertens 1998).

Cuadro 8. Requerimiento de grasa para conejos en engorda.

Nutriente (%)	NRC (1977)	Lebas (1989)
Grasa	2	5

Vitaminas

En el conejo la síntesis de vitaminas hidrosolubles es dada por la microbiota del sistema digestivo, una parte de estas vitaminas es aprovechada directamente a través de la absorción intestinal, la otra porción de vitaminas queda dentro de la bacteria que posterior a su destrucción y ser ingerida junto con los cecotrofos, será aprovechada en el intestino delgado, de esta forma el animal adulto obtiene lo necesario del complejo B y vitamina C para el mantenimiento y una normal producción (Brenes *et al.*, 1978). Las vitaminas se suplementan en bajas cantidades (Cuadro 9). Una deficiencia en la dieta produce trastornos serios y en algunos casos la muerte.

Cuadro 9. Requerimientos de vitaminas para conejos en engorda.

Nutriente (mg/kg)	Lebas (2004)	Maertens y Luzi (2004)
Vitamina A (mIU)	6	10
Colina	200	100
Vitamina B1 (Tiamina)	2	2
Vitamina B2 (Riboflavina)	6	2
Vitamina B3 (Niacina)	50	50
Vitamina B5 (Ác. Pantoténico)	20	20
Vitamina B6 (Piridoxina)	2	2
Vitamina B7 (Biotina)	-	-
Vitamina B9 (Ác. Fólico)	5	5
Vitamina B12 (Cianocobalamina)	0.01	0.01
Vitamina C	0	0
Vitamina D (mIU)	1	1
Vitamina E	30	50
Vitamina K	1	2

Minerales

Los minerales tienen diversas funciones en el organismo animal, la presencia de minerales como calcio (Ca), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), sodio (Na), zinc (Zn), hierro (Fe) y cobre (Cu) en la dieta son importantes para un desarrollo adecuado. Según su requerimiento en la dieta los minerales se pueden clasificar en dos grupos los macrominerales y los microminerales. Los primeros tienen una necesidad dietética mayor por lo cual se ofrecen en gramos por día, mientras que los microminerales se ofrecen en miligramos por día (De Blass y Wiseman, 2010). Las cantidades que requiere el conejo se observan en el Cuadro 10.

Cuadro 10.Requerimiento de minerales para conejos en engorda.

Nutriente	Lebas (2004)	Maertens y Luzi (2004)
Macrominerales (g/kg)		
Calcio	7.5	8
Fósforo	4.3	5
Potasio	<15	8
Sodio	2.2	2.5
Cloro	2.8	3
Microminerales (mg/kg)		
Cobre	6	10
Yodo	-	0.2
Hierro	50	-
Manganeso	5	8.5
Zinc	25	25
Cobalto	0.1	0.1
Selenio	0.15	-

2.3.1 Ingredientes convencionales

La alimentación en conejos se basa en muchas ocasiones en el uso de alfalfa como fuente de proteína y fibra, el heno de alfalfa es de alta palatabilidad para los conejos. Los niveles de inclusión recomendados están en el rango del 30 - 40 % (De Blas *et al.*, 2010).

El maíz es el cereal más utilizado como fuente de energía para la etapa de engorda en conejos, puede incluirse de manera segura del 20 - 22 % sin ningún efecto negativo en el crecimiento (Lebas, 2004).

En conejos, la harina de soya es un ingrediente de referencia. Generalmente su nivel de inclusión va del 15 - 20 % en las dietas (Lebas, 2004). Al igual que con otras especies, se han hecho muchos estudios para encontrar fuentes alternativas proteicas para disminuir los costos de alimentación. En conejos se ha remplazado harina de soya en su totalidad por harina de semilla de algodón (Dávila *et al.*, 2007).

Se necesita el estudio de ingredientes proteicos alternativos, para la alimentación de conejos y otras especies pecuarias. Las microalgas han destacado debido a su crecimiento extremadamente rápido y alta cantidad de proteína, por lo

cual tienen un potencial para mejorar la seguridad alimentaria y ser utilizadas como ingredientes en las dietas para animales de producción (Efroymsen *et al.*, 2017).

2.4 Microalgas

2.4.1 Generalidades

Las microalgas generalmente son organismos eucariontes y su tamaño varía de 5 a 100 μm aproximadamente (Becker, 2013). Se encuentran en aguas dulces y salinas, tanto en hábitats bentónicos como litorales (Hasan y Chakrabarti, 2009).

Las microalgas se pueden encontrar aisladas o en colonias de agregados celulares, tienen formas esféricas elípticas, cilíndricas o en espiral. Se cultivan para la producción de biomasa completa y sustancias valiosas como nutraceuticos, carotenoides, ficocianina y ácidos grasos poliinsaturados, que se utilizan en la industria de alimentos y piensos sobre todo en acuicultura (Rani *et al.*, 2018)

El cultivo de microalgas inició en Japón en 1960 con el cultivo de *Chlorella*, seguido por la espirulina en México y Estados Unidos de América en 1970, desde entonces el cultivo de microalgas ha crecido enormemente. La inmensa diversidad química de las microalgas proporciona numerosas aplicaciones en la industria alimentaria animal (Ravishankar *et al.*, 2012).

Scenedesmus sp. es una microalga que crece en agua dulce, pertenece a la división Chlorophyta, Clase Chlorophyceae, Orden Chlorococcales, familia Scenedesmaceae (Villasmil, 2004). Es idónea para el cultivo en reactores con aguas residuales debido a su capacidad de soportar elevadas concentraciones de nutrientes, así como temperaturas de hasta 35 °C (Fernández *et al.*, 2014).

2.4.2 Cultivo de microalgas

2.4.2.1 Medio ambiente

Para un correcto cultivo de microalgas los parámetros más importantes son: la temperatura, pH, luz, fotoperiodo, aireación, agitación, salinidad y los micro y macronutrientes (Barsanti y Gualtieri, 2006).

La temperatura disocia las moléculas de carbono para su disponibilidad en el proceso de la fotosíntesis, en general se estima que el rango apropiado para el desarrollo se encuentra entre 28 y 35 °C (Hernández y Labbé, 2014).

De acuerdo a Borowitzka (1997), la luz sirve como fuente de energía para la activación de las reacciones foto sintetizadoras en las algas, la misma que se ve influenciada por la profundidad y la densidad del cultivo; es decir, a mayores profundidades y concentraciones celulares la intensidad de luz debe aumentar para lograr penetrar a través del cultivo.

Los intervalos entre el periodo de luz y oscuridad se conocen como fotoperiodo, el cual es importante dado que estimula los procesos fisiológicos de las microalgas como son: división celular, capacidad fotosintética, absorción de nutrientes y bioluminiscencia (Abalde y Cid, 1995).

El pH del medio de cultivo determina la solubilidad del dióxido de carbono, de los minerales e influye directamente en el metabolismo de las microalgas, el rango de pH para las especies más cultivadas está entre 7 y 9, siendo el rango óptimo de 8.2 a 8.7 (Olivares, 2010).

La aireación y agitación son importantes para dispersión efectiva de los nutrientes, mejora la disponibilidad de la luz para las células y aporta dióxido de carbono, ayudando de esta manera a estabilizar el pH (Andersen y Kawachi, 2005).

La salinidad es el contenido de las sales minerales disueltas en un cuerpo de agua, cuya concentración puede afectar el crecimiento de las microalgas en función

de su actividad osmótica, por ello, para un cultivo de microalgas se requiere 0.37 % de salinidad (Fábregas *et al.*, 1986).

2.4.3.2 Cinética de crecimiento

El crecimiento de las microalgas se caracteriza por presentar distintas fases: la primera es la fase lag o de adaptación, en la que no hay incremento en el número de células e incluso puede disminuir con respecto al inoculo inicial. La segunda fase llamada log o exponencial, en el que las microalgas adaptadas al medio de cultivo comienzan a multiplicarse aumentando el número de forma exponencial. La tercera fase es la de la declinación relativa del crecimiento, que se caracteriza por una disminución de nutrientes y cambios de pH como consecuencia del incremento de la población, provocando la disminución de la tasa de la división celular. La cuarta fase conocida como estacionaria, se caracteriza por la ausencia de la división celular, ya que el número de células se mantiene constante por cierto periodo de tiempo, debido al balance entre la natalidad y la mortalidad que presenta la población en el cultivo, esta fase puede durar semanas e incluso meses, aunque lo más normal es que comiencen a morir las microalgas, dando inicio a la fase de muerte (Huancollo, 2018).

2.4.3.3 Métodos de recolección de microalgas

Para la recolección de la biomasa de las microalgas se pueden realizar varios métodos de cosecha. Las microalgas se encuentran diluidas, por lo cual, es necesario concentrarlas para poder recogerlas y procesarlas con mayor facilidad

Según Huancollo (2018) los métodos de recolección más utilizados son:

Centrifugación: es un método rápido y de gran consumo de energía eléctrica. Por otra parte, es eficiente en la concentración y el producto recogido presenta una buena calidad.

Filtración por gravedad: es un método sencillo y económico, presenta algunas desventajas como poca eficiencia, su uso está limitado solamente a formadoras de colonias y depende del tamaño de la microalga.

Sedimentación: algunas algas sedimentan cuando se detiene la agitación del cultivo, lo cual permite recogerlas luego de retirar el sobrenadante.

La segunda parte de la cosecha consiste en el secado de la biomasa, que garantiza ampliar la viabilidad del producto final requerido. Existen distintos métodos de secado: al sol, con vapor, con vacío, liofilización, etc. La elección del secado depende de la escala del cultivo y el producto final deseado.

Las microalgas pueden variar en su composición química, estas diferencias son debido al medio ambiente del cultivo, la etapa de crecimiento en la que se realizó la cosecha y el proceso de secado utilizado (Brown *et al.*, 1997).

2.4.4 Aspectos nutricionales

Las microalgas se consideran alimentos funcionales, pueden superar el contenido nutricional de los alimentos tradicionales y también afectan positivamente la salud de animales y humanos. Generalmente poseen cantidades apreciables de carbohidratos, lípidos, vitaminas, minerales, ácidos grasos poliinsaturados (omega – 3 y omega – 6) y antioxidantes (carotenos). Algunas tienen, incluso, un contenido aminoacídico superior al presentado por alimentos convencionales como la pasta de soya (Quevedo *et al.*, 2008).

Proteína

Las proteínas que componen a las microalgas se categorizan como proteínas de origen unicelular (POU). El término POU, es utilizado para englobar microorganismos como levaduras, microhongos, microalgas y bacterias. Una desventaja de estas proteínas es la alta proporción de ácidos nucleicos. Por lo tanto, se requiere que tengan un contenido bajo. Las microalgas llegan a contener hasta un 4 % de ácidos nucleicos (Luna, 2007). El nitrógeno no asociado a aminoácidos

se conoce como nitrógeno no proteico (NNP). Las microalgas pueden contener altas cantidades de NNP como nitrógeno inorgánicos y ácidos nucleicos (Lourenço *et al.*, 2004).

En general las microalgas son valiosas fuentes de proteína, algunos géneros como *Scenedesmus* y *Arthrospira* pueden llegar a contener hasta el 60 % PC en MS. Algunas cepas de *Chlorella* llegan a contener entre el 30 – 50 % de PC. La proteína de estas microalgas puede llegar a tener mayor valor nutricional que algunos cereales y leguminosas comúnmente utilizados, no obstante no llegan a ser superiores a las fuentes de origen animal (Burja y Radianingtyas, 2008). La variación del contenido de proteína se debe a la susceptibilidad que tienen las microalgas al ambiente en el cual son cultivadas (Becker, 2013).

Las microalgas tienen la capacidad de sintetizar los 20 aminoácidos, por lo que son fuentes poco convencionales de aminoácidos esenciales (Andersen, 2013). La composición de aminoácidos es bastante similar entre especies, y relativamente no se ve afectada por factores intrínsecos y extrínsecos, los aminoácidos que se producen en mayor concentración son el ácido aspártico y el ácido glutámico, mientras que la cisteína, la metionina, el triptófano y la histidina se producen en las concentraciones más bajas (Becker, 2013).

Scenedesmus posee niveles altos de aminoácidos esenciales (lisina y treonina), además, un elevado contenido proteico, entre el 25 - 65 %, lo que la convierte en una atractiva fuente de proteína (Méndez, 2003). Los niveles de lisina y cisteína de la microalga son superiores respecto a los de la soya (Cuadro 11), lo cual indica que las microalgas podrían emplearse para remplazar parte del alimento que se destina a la producción animal.

Cuadro 11. Perfil de aminoácidos de la microalga *Scenedesmus* sp. y la pasta de soya (Quevedo *et al.*, 2008).

Aminoácidos (mg/g)	<i>Scenedesmus</i> sp.	Soya
Leucina	123	170
Lisina	230	160
Fenilalanina	100	110
Tirosina	74	80
Metionina	43	30
Cistina	243	30
Treonina	84	85
Valina	61	130
Isoleucina	42	150

Lípidos

Los lípidos en las microalgas cumplen varias funciones, tales como el almacenamiento de energía, son componentes estructurales de las membranas celulares y son importantes moléculas de señalización (Domínguez, 2013).

Los triglicéridos son los lípidos que se almacenan como energía, estos se producen en mayor medida cuando las microalgas no cuentan con el espacio suficiente para multiplicarse, acompañado con variaciones en la temperatura, la distribución de la luz y deficiencias nutricionales. Por esto los triglicéridos funcionan como la reserva de energía para el crecimiento de las microalgas, después de someterse a condiciones de estrés, dichas situaciones también intervienen en la proporción de ácidos grasos insaturados y saturados (Rontani *et al.*, 2006). Por otro lado, se encuentra los lípidos polares los cuales realizan funciones colectoras de luz y antioxidante, a los cuales se les conoce como pigmentos (Domínguez, 2013).

En general el perfil de lípidos varía según al grupo taxonómico al que pertenecen, así como por el ambiente en el que son cultivadas. Las *Prymnesiophytes* y las *Cryptomonads* son relativamente ricas en omega - 3, mientras que los *Nannochloropsis* spp y las *Diatomeas* tienen los porcentajes más altos en omega – 6 (Becker, 2013). Otras especies como *Dunaliella* spp. y *Chlorella*

spp. contienen pocos ácidos grasos insaturados, por lo cual no se recomiendan para el consumo (Brown *et al.*, 1989).

Carbohidratos

Las microalgas pueden llegar a contener en su interior polisacáridos en forma de gránulos de almidón como productos de reserva de energía, también se han hallado segregados en el medio del cultivo. Algunas especies de microalgas presentan los polisacáridos parecidos a la subunidad amilopectina del almidón, la cual se caracteriza por uniones de glucosas por enlaces α (1 - 4) y ramificaciones α (1 - 6) (Galarza, 2019). Por otro lado se encuentran los polisacáridos unidos mediante un enlace β , como lo son el paramilón y la crisolaminarina, los cuales se denominan β glucanos, este grupo de carbohidratos son los que se encuentran en mayor medida en las microalgas (Espinoza-Gallardo *et al.*, 2017).

La mayoría de las microalgas poseen una pared celulósica relativamente gruesa, lo que plantea un problema para digerir la biomasa de algas para las especies monogástricas. Por lo cual se puede optar por opciones como: concentrado de proteína, aislados hidrolizados y péptidos bioactivos de microalgas en los que se disminuye la cantidad de la pared celular y hace que la proteína de las microalgas sea biodisponible (Becker, 2013). Generalmente los polisacáridos de la pared celular componen más del 10 % de la biomasa. Estos polisacáridos se componen principalmente por los monosacáridos glucosa, galactosa, xilosa y manosa (Bernaerts *et al.*, 2018).

Vitaminas, minerales y pigmentos

Las microalgas por lo general producen una gran cantidad de vitaminas que pueden ser aprovechadas por las especies pecuarias. Se sabe que los niveles de ácido ascórbico (vitamina C) es mayor durante la fase de crecimiento, en donde tiene 15 veces más que las otras fases, esto no está relacionado con la especie de microalga (Brown *et al.*, 1999).

Las microalgas son una fuente importante de pigmentos, especialmente los carotenoides como el β -caroteno, la luteína y la astaxantina. La luteína es el carotenoide más abundante en las microalgas. La violaxantina y el β -caroteno se encuentran en la mayoría de las especies, aunque a niveles más bajos que los de la luteína. Los factores más importantes que afectan el contenido de luteína en las microalgas son la temperatura, la irradiación, el pH, la disponibilidad y la fuente de nitrógeno, la salinidad y la presencia de sustancias oxidantes (Becker, 2013).

Las microalgas pueden contener cantidades sustanciales de minerales. La espirulina, por ejemplo, es una rica fuente de potasio, y también contiene calcio, cromo, cobre, hierro, magnesio, manganeso, fósforo, selenio, sodio y zinc (Garofalo, 2011).

2.4.5 Microalgas para alimentación animal

El registro del uso de microalgas en la alimentación animal se tiene desde 1950, donde en varios experimentos se demostró su gran aporte nutricional en cerdos, vacas, ovejas, pollos y principalmente en acuicultura (Becker, 2004). En 2003 el uso de microalgas sobresalió en las estadísticas de la FAO con una producción de 16,483 T en China y aumentó bruscamente a 97,104 T en 2010. Las cualidades nutraceuticas de las microalgas y su calidad nutrimental han dado pie a su uso cada vez más como un ingrediente dietético, como un suplemento de proteínas y vitaminas para la acuicultura (Muller-Feuga, 2013).

En los sistemas de monocultivo intensivo de acuicultura, las microalgas se usan para alimentar directa o indirectamente las etapas larvianas de bivalvos, camarones y algunos peces. Las especies más utilizadas de algas para este propósito incluyen *Chaetoceros*, *Thalassiosira*, *Tetraselmis*, *Isochrysis*, *Nannochloropsis*, *Pavlova* y *Skeletonema*. (Becker, 2013). Cuando son utilizadas en rumiantes, las microalgas son aprovechadas directamente por la microbiota, mientras que en monogástricos es preferible procesar la biomasa antes de incorporarlas en la dieta (Becker, 2004).

Se ha incorporado hasta 10 % de *Arthrospira plantensis* en dietas para corderos de engorda y se estableció que puede utilizarse como promotor del crecimiento (Kulpys *et al.*, 2009). Ya que el uso de microalgas disminuye el consumo de alimento debido a su palatabilidad (Díaz *et al.*, 2017), en cerdos se ha utilizado la misma variedad incorporada al 2 %, lo cual no tuvo efectos significativos sobre su crecimiento, aunque se han encontrado beneficios para el desarrollo intestinal al utilizar *Chorella* (Furbeyre *et al.*, 2017). En pollos de engorde, *Arthrospira* spp. se utiliza en diferentes niveles como ingrediente funcional, lo cual demuestra ser un ingrediente que no afecta los parámetros productivos (Toyomizu *et al.*, 2001).

Hay pocos informes de la utilización de microalga en la alimentación de conejos. En Italia, se realizó un estudio con conejos en crecimiento alimentados con dietas que contenían hasta un 15 % de espirulina *Arthrospira platensis* deshidratada, utilizado como sustituto de la harina de soya y la alfalfa, los animales no mostraron diferencias en la tasa de crecimiento, la eficiencia alimenticia, el rendimiento de la canal, y en la composición química de la carne, con la excepción del contenido de lípidos, que fue mayor para las dietas que contenían espirulina (Peiretti *et al.*, 2011). Otros estudios mencionan que al disminuir pasta de soya y al adicionar 12 % de la microalga *Scenedesmus acutus* con un 54 % de proteína cruda y 12 % de lípidos, tuvo como resultado una disminución en la ingesta y la ganancia de peso (Battaglini *et al.*, 1979). Otra alga que se utilizó en conejos es *Arthrospira plantensis*, la cual puede usarse sin problemas adversos, porque la baja digestibilidad de esta microalga fue equilibrada por un aumento del consumo del alimento (Peiretty y Meineri, 2008).

III.-JUSTIFICACIÓN

Dadas las condiciones de producción actual de alimentos comerciales para alimentar conejos y el costo de los mismos, es necesario evaluar materias primas alternativas proteicas que puedan emplearse para lograr un crecimiento y parámetros productivos adecuados durante la engorda, siendo la microalga *Scenedesmus* sp. una de estas posibles opciones proteicas, debido a sus características nutricionales y de producción.

Dirección General de Bibliotecas UAO

IV.-HIPÓTESIS.

El nivel de inclusión de microalga *Scenedesmus* sp. (0 %, 5 % y 10 %) en la dieta de conejos en etapa de engorda no afecta los parámetros productivos (consumo diario de alimento, ganancia diaria de peso, eficiencia alimenticia y peso vivo) y características de la canal, así como la morfofisiología gastrointestinal (peso relativo de órganos digestivo, pH de contenidos gastrointestinales y morfología de vellosidades).

Dirección General de Bibliotecas UFG

V.-OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento productivo en la etapa de engorda y la morfología gastrointestinal en conejos raza Nueva Zelanda alimentados con dietas con niveles crecientes de inclusión (0 %, 5 % y 10 %) de *Scenedesmus* sp.

5.2 Objetivos específicos

- ❖ Caracterizar químicamente el contenido de materia seca, proteína cruda, proteína verdadera, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, lignina, extracto etéreo, cenizas, energía bruta, calcio, fósforo y sodio de la microalga *Scenedesmus* sp.
- ❖ Determinar los parámetros productivos por semana en conejos durante la quinta y onceava semana de vida en la que fueron alimentados con las dietas experimentales: consumo diario de alimento, ganancia diaria de peso, eficiencia alimentaria y peso vivo.
- ❖ Evaluar en conejos de 77 días de edad las características de la canal caliente y fría (peso, pH y rendimiento), el peso relativo del estómago, el intestino delgado y el intestino grueso; el pH de los contenidos del estómago, el segmento yeyuno - íleon y el segmento colon – recto y la morfología de las vellosidades y las criptas intestinales en duodeno, yeyuno y ciego.

VI.- METODOLOGÍA

El protocolo experimental fue aprobado por el Comité de Bioética de la Facultad de Ciencias Naturales (06FCN2019). El experimento se realizó en la Área Cunicola de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro (ARCUN-UAQ), el cual se encuentra dentro de la posta zootécnica de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, ubicada en Amazcala, municipio de El Marqués, Querétaro, México, a una distancia de 26 km de la capital del estado de Querétaro, con coordenadas 20° 42' 41.23" N y 100° 15' 28.21" y una elevación de 1930 msnm. Este lugar presenta un clima seco templado con una precipitación media anual de 450 mm.

La microalga *Scenedesmus* sp. fue aportada por el Dr. Juan Fernando García Trejo de la Facultad de Ingeniería del Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro.

6.1 Análisis químicos

En el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Autónoma de Querétaro se realizaron los análisis químicos a los ingredientes base (microalga, alfalfa, rastrojo de maíz, pasta de soya y maíz) requeridos para elaborar las dietas experimentales. Las técnicas se realizaron por triplicado y fueron: materia seca (MS), proteína cruda (PC), cenizas y extracto etéreo (EE) de acuerdo con los métodos 925.45, 976.05, 923.03 y 920.35 del AOAC (2000), respectivamente; además de energía bruta mediante calorimetría (Bateman, 1970), así como fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) de acuerdo a Van Soest et al. (1991). En el Laboratorio de Suelos y Nutrición Vegetal de la Fundación Produce Querétaro, en la microalga se determinó proteína verdadera por precipitación de proteínas, calcio (Ca) con permanganato de potasio de acuerdo a la NMX-Y-021-SCFI-2003 (DOF, 2003), fósforo (P) total por espectrofotometría molibdato vanadato de acuerdo a la NMX-Y-100-SCFI-2004 (DOF, 2004) y sodio (Na) de acuerdo al método *flame photometer* Jenway PFP7 protocolo P05-012A

6.2 Dietas experimentales

Se formularon tres dietas experimentales con el programa Nutrion, que cumplieron las siguientes características: dietas isoprotéicas con un 16 % de PC, isoenergéticas en ED con 2.4 Mcal/kg e isofibrosas con 16 % de FDA. Dos dietas contenían microalga *Scenedesmus* sp en dos diferentes niveles: 5 y 10 %, además de otra dieta control con 0 % (Cuadro 12). Las dietas se elaboraron en el Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro y se peletizaron con una peletizadora desarrollada por el ARCUN-UAQ.

Cuadro 12. Ingredientes y composición química de las dietas experimentales.

Ingrediente (g)	Control	5 %	10 %
Maíz amarillo	274	263	250
Alfalfa	462.4	454.7	452.8
Pasta de soya	125	95	60
Rastrojo de maíz	70	70	70
Melaza	50	50	50
<i>Scenedesmus</i> sp.	-	50	100
Fosfato 21/17	10.2	7.0	3.8
Sal	3.4	3.2	3.2
Aceite vegetal	-	2.0	5.0
Vitaminas	0.6	0.6	0.6
Minerales	1.0	1.0	1.0
Metionina 99 %	1.2	1.3	1.4
Secuestrante micotoxina	2.0	2.0	2.0
Salinomicina 12 %	0.19	0.19	0.19
Composición química calculada (%)			
Energía digestible (Mcal/kg)	2.4	2.4	2.4
Proteína cruda	16	16	16
Extracto etéreo	2.3	2.5	2.9
Fibra detergente ácido	16	16	16
Fibra detergente neutro	30	30	30
Fosforo	0.50	0.50	0.50
Calcio	0.96	1.13	1.32
Sodio	0.20	0.20	0.20
Lisina	0.77	1.04	1.29
Metionina + Cisteína	0.60	0.60	0.60

6.3 Manejo y procedimientos efectuados con los conejos

En todo momento en que se manipularon los conejos se procuró la seguridad del animal y de quien lo manipuló. Para esto, se siguieron los lineamientos de la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, donde indica que la manipulación y sujeción del conejo deben ser llevadas a cabo con seguridad, firmeza y gentileza, lo cual consistió en colocar una mano debajo de los miembros posteriores para soportar el peso del animal y con la otra mano se debe sujetar la piel a nivel del cuello para mantener firme al animal.

6.3.1 Sincronización y monta de hembras

Se sincronizaron dos grupos de 10 conejas Nueva Zelanda, en días consecutivos. A cada coneja se le aplicó una inyección intramuscular de 40 UI de gonadotropina coriónica equina en las 48 horas previas a la monta natural. Para llevar a cabo las montas naturales se emplearon cinco sementales de la raza Nueva Zelanda, cada uno de los cuáles montó a dos conejas en los días de monta.

6.3.2 Manejo de gazapos

Al día 30 posterior de la monta, las conejas parieron. Posteriormente, se homogenizaron las camadas, asignando ocho gazapos por hembra, los cuales estuvieron en lactancia durante 35 días. A los 27 días de edad los conejos se tatuaron según la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, identificándoseles con un número único en la oreja, para esto se empleó una tatuadora manual y tinta negra. Por último, se determinó el peso vivo inicial de los gazapos utilizando una báscula digital (Santul SF – 400, 5 kg).

6.4 Prueba de comportamiento productivo

A los 35 días de edad, 30 gazapos recién destetados se distribuyeron de forma aleatoria a las tres dietas experimentales. Cada conejo se alojó en una jaula

de engorda, siendo un total de 10 conejos por cada dieta. La unidad experimental fue el conejo.

Se utilizaron jaulas tipo americanas de acero galvanizado destinadas para la engorda, que se encontraban a un metro del nivel del suelo, lo que permitió controlar la humedad a nivel del piso de la jaula. Las dimensiones de las jaulas de engorda utilizadas fueron: 0.88 m x 0.6 m x 0.4 m (largo x ancho x alto), lo que representó un área de piso de 0.528 m² por conejo, lo cual cumplió con las recomendaciones de espacio para alojar a esta especie (Xiccato *et al.*, 1999). El agua que llegó a las jaulas se purificó por un sistema de filtros y luz UV y se proporcionó a través de bebederos de chupón a libre acceso. Cada jaula contó con un comedero tipo tolva de acero galvanizado

La prueba de comportamiento tuvo una duración de seis semanas. Diariamente se pesó el alimento ofrecido y semanalmente el alimento rechazado con báscula digital (Torrey L-PCR, 40 kg), para poder calcular el consumo diario de alimento (CDA) por semana. De igual forma los conejos se pesaron semanalmente para obtener el peso vivo (PV) y con la diferencia entre los PV de las semanas se calculó la ganancia diaria de peso (GDP) por semana (Fig. 5) y por último se calculó la eficiencia alimenticia (EA) por semana.



Figura 5. Manejo de animales y alimento.

a) Pesaje del alimento ofrecido a los conejos. b) Recolección del alimento rechazado. c) Pesaje semanal de los conejos en la etapa de engorda.

6.5 Proceso de matanza

Al día 41 de la engorda, por la noche, se retiró el alimento de los comederos, con la intención de guardar el ayuno mínimo requerido de acuerdo la Norma Oficial

Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014 (DOF, 2015). Al día 42 de la engorda, los animales se trasladaron en jaulas al área de matanza del ARCUN-UAQ para el proceso de matanza, el cual siguió el siguiente protocolo: para el aturdimiento, se tomaron a los conejos de los miembros locomotores pélvicos y con la mano libre se sujetó del área del cuello y se desarticuló la articulación atlanto-occipital de acuerdo a la norma NOM-062-ZOO-1999 (DOF, 2001). Una vez aturdido el conejo se colocó en ganchos de acero inoxidable, sujetándolo de los miembros locomotores pélvicos a nivel del corvejón y boca abajo, y se mataron por desangrado, ya que se cortaron las venas yugulares y las arterias carótidas de acuerdo con los lineamientos de la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014 (DOF, 2015).

6.6 Evaluación de canal

Después de efectuar la matanza de los animales, se procedió a desollarlos, a cortarles la cabeza y a realizar las evisceraciones verde y roja, para obtener las 30 canales calientes. Cada canal caliente se lavó y se secó con trapos limpios para determinar su peso, utilizando una báscula digital (Torrey L-PCR, 40 kg). A continuación se procedió a medir el pH mediante el uso de un potenciómetro para carne (HI 99163) en los siguientes músculos: *biceps brachii*, *longissimus dorsi* y *biceps femoris*. Posteriormente se guardaron en refrigeración a 4 °C durante 24 h. Pasado el tiempo de refrigeración, a las canales frías se les realizó el mismo procedimiento anterior: determinación de peso y los valores de pH. Por último, se determinó el rendimiento en canal caliente y en canal fría (Fig. 6).



Figura 6. Evaluación de las características de la canal.

a) Secado. **b)** Medición del pH en músculo. **c)** Pesaje.

6.7 Evaluación de órganos digestivos

De los 30 conejos se seleccionaron 18 (seis por dieta) y sus órganos digestivos (el estómago, el intestino delgado y el intestino grueso) se colocaron en charolas de plástico para ser diseccionados. Posteriormente, se vaciaron los órganos y se pesaron vacíos utilizando una báscula Precisa BJ 6100D para determinar el peso relativo (peso del órgano / peso vivo del conejo x 100). A los contenidos se les midió el pH mediante el uso de un potenciómetro PH211 (Fig. 7).



Figura 7. Evaluación de órganos digestivos.

a) Disección de órganos digestivos. **b)** Medición del pH de los contenidos. **c)** Pesaje de órganos vacíos.

6.8 Evaluación histológica

Para realizar la evaluación de la morfología de las vellosidades y criptas intestinales, se utilizaron los 18 conejos mencionados en el apartado 6.7. A los cuales se les tomaron muestras histológicas de 2 cm² de los siguientes órganos digestivos: duodeno, yeyuno y ciego. Las muestras se lavaron con solución salina, a continuación se colocaron dentro de frascos con formol al 10 % en una relación de órgano: formol de 1:10 para su conservación y fijación. Luego, los tejidos fueron deshidratados, aclarados y parafinizados. Posteriormente, los tejidos se colocaron

en bloques de parafina, de los cuales se obtuvieron cortes con un grosor de 5 μm . Por último los cortes se tiñeron con hematoxilina y eosina (Santos Vidal, 2017).

Los cortes se inspeccionaron con un microscopio óptico (Vert. A1, Zeiss®). Para tener una evaluación significativa se analizaron 10 vellosidades y 10 criptas de cada sección intestinal (Nabuurs *et al.*, 1993) utilizando el software AxioVision 4.9 (Zeiss®).

6.9 Análisis estadístico

Los resultados se analizaron en el paquete estadístico SAS. Las variables obtenidas del comportamiento productivo, tales como CDA, GDP, EA y PV se analizaron utilizando un diseño experimental completamente aleatorizado y un arreglo de medidas repetidas en el tiempo. Por otro lado, las variables relacionadas a las características de la canal caliente y canal fría, peso de los órganos digestivos, pH de los contenidos intestinales y la morfometría intestinal se analizaron con un diseño experimental completamente aleatorizado. Las medidas se compararon utilizando la prueba de Tukey (Steel y Torrie 1980). Considerando una significancia de $p < 0,05$ para establecer diferencia estadística.

VII.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

7.1 Composición química de la microalga *Scenedesmus* sp.

Los resultados de los análisis químicos se presentan en el Cuadro 13, en el cual se observa la composición química de la microalga *Scenedesmus* sp. y de la pasta de soya. Los nutrimentos de la microalga se encuentran distribuidos de la siguiente manera: en mayor cantidad se encontró la proteína cruda (PC), el segundo nutrimento que destacó fueron las cenizas, de las cuales 24.92 % fue Ca, 9.28 % fue P y 1.25 % fue Na; el tercero fue la fracción de fibra y, por último, el nutrimento con menor proporción fue la grasa. Con respecto a la pasta de soya los nutrimentos se encontraron de mayor a menor en el siguiente orden: proteína, fibra, minerales y grasa.

Cuadro 13. Composición química de la microalga *Scenedesmus* sp. y la pasta de soya en base húmeda.

Composición (%)	<i>Scenedesmus</i> sp.	Pasta de soya
Humedad	5.75	11.32
Materia Seca	94.25	88.68
Proteína Cruda	40.31	41.59
Proteína Verdadera	29.94	-
FDN	17.04	12.38
FDA	6.39	5.91
Lignina	4.48	0.55
Extracto Etéreo	3.50	0.90
Cenizas	19.94	6.53
Ca	4.97	0.29
P	1.85	0.64
Na	0.25	0.02
Energía bruta (kcal/k)	4175.17	4027.30

Quevedo *et al.* (2008) evaluaron el crecimiento de *Scenedesmus* sp. en diferentes medios de cultivo, reportando valores entre el 24.9 % y el 35 % de PC, otros autores como Andrade *et al.* (2009) y Huancollo (2018) han encontrado diferentes niveles de minerales, 28.13 % y 11.43 % respectivamente. Castelo y Guadalupe (2018) mencionan que las variaciones en la composición química de las

microalgas se deben a las diferencias genéticas, así como las condiciones de cultivo y la etapa de crecimiento en el que se realiza la cosecha.

De acuerdo a los resultados de los análisis químicos la harina de microalga se considera que pertenece al grupo cinco: alimentos proteicos, que conforme a la NRC (1977), se caracterizan por contener más del 20 % de proteína cruda y menos del 35 % de FDN.

Al comparar la harina de microalga *Scenedesmus* sp. con la pasta de soya (Cuadro 13), la mayor diferencia es el contenido de minerales, pues la harina de microalga tiene un elevado nivel de Ca, ya que en su proceso de cultivo se utiliza carbonato de calcio para su estabilización. También se pueden observar diferencias en la lignina. La microalga contiene 12 veces más lignina que la pasta de soya, debido a esto y que la mayoría de las microalgas poseen una pared celular relativamente gruesa, se puede plantear un problema para digerir la biomasa de las microalgas para las especies no rumiantes, por lo cual son necesarios tratamientos para romper la pared celular y hacer que la proteína de algas sea accesible (Barreto, 2018), sin embargo se debe considerar que el conejo fermenta a nivel cecal y realiza también la cecotofia, lo cual podría ser una ventaja para el aprovechamiento de estas materias primas.

Respecto a la proteína de las microalgas se utiliza el término proteína de origen unicelular (POU) y generalmente deben contener del 35 % - 60 % de PC (Sapunar, 2019). En el caso de *Scenedesmus* sp. posee niveles de proteína entre el 25 % y 65 % lo que la convierte en una atractiva fuente de proteína (Huancollo, 2018). El valor de PC se sobreestima, ya que el método Kjeldahl determina el nitrógeno total, aunque este no provenga de proteínas. En el caso de las microalgas se considera que hasta un 10 % de la PC es nitrógeno no proteico (NNP) (Matos, 2017), esto coincide con los valores obtenidos de PC (40.31 %) y proteína verdadera (29.94 %), donde la diferencia es de 10.37 %, dicha diferencia se asocia a NNP proveniente de ácidos nucleicos, los cuales las microalgas llegan a contener en un 4 % por ser POU (Luna, 2007).

7.2 Comportamiento productivo

Los conejos iniciaron la prueba de comportamiento con un peso de 680 ± 107 g. En el Cuadro 14 se muestran los resultados de las variables consumo diario de alimento (CDA), ganancia diaria de peso (GDP), eficiencia alimentaria (EA) y peso vivo (PV).

Consumo diario de alimento. El CDA fue diferente entre las primeras semanas ($P < 0.05$), aumentando hasta alcanzar su pico máximo de 139 g/d en la semana cinco, siendo similar con la sexta ($P > 0.05$). Esta relación positiva que hay entre el CDA y el crecimiento del conejo, es un efecto normal y es debido a que el animal va cambiando su consumo para ajustarlo a sus requerimientos nutricionales, por lo cual hay un mayor consumo por unidad de peso metabólico (Forbes, 1986). Pérez-Martínez *et al.* (2018) y Herrera-Soto *et al.* (2018) han reportado valores equivalentes de CDA, 111 y 113 g, respectivamente, en conejos Nueva Zelanda, utilizando dietas con 2.3 -2.5 Mcal/kg de ED y 16 % de PC, siendo similares a las del presente experimento.

En relación al efecto de las dietas, no se observó diferencia ($P > 0.05$) entre la dieta control (0 %) y la dieta que contiene 5 % de *Scenedesmus* sp., teniendo un consumo promedio de 109 g/d. Por otro lado, los conejos que consumieron la dieta 10 % de *Scenedesmus* sp., incrementaron el consumo en 5 g/d respecto a los animales de las otras dos dietas a partir de la semana cuatro ($P < 0.05$). Este efecto no es deseable en términos productivos, ya que los conejos están consumiendo mayor cantidad de alimento y obteniendo las misma GPD que los conejos alimentados con las otras dos dietas, haciendo deficiente el sistema de producción llegando a aumentar los costos.

Peiretti *et al.* (2009) utilizaron *spirulina plantesis* al 10 % en dietas para conejos en engorda y observaron un aumento en el CDA asociado a una baja digestibilidad de la dieta. Por lo que el aumento del CDA en el presente trabajo se puede relacionar con la proporción de lignina en la microalga que disminuye su digestibilidad.

Cuadro 14. Comportamiento productivo por semana y dieta experimental

Variable	Semana (S)						Dieta (D)			P			EEM
	1	2	3	4	5	6	0 %	5 %	10 %	S	D	S*D	
CDA (g)	58 ^e	85 ^d	116 ^c	130 ^b	139 ^a	136 ^a	110 ^b	108 ^b	114 ^a	<0.05	<0.05	NS	0.8
GDP (g)	20 ^c	38 ^b	40 ^{ab}	41 ^a	32 ^b	34 ^b	34	34	34	<0.05	NS	NS	0.5
EA	0.348 ^a	0.441 ^a	0.355 ^a	0.314 ^b	0.240 ^c	0.242 ^c	0.320	0.333	0.316	<0.05	NS	NS	0.01
PV (kg)	0.8 ^f	1.1 ^e	1.4 ^d	1.6 ^c	1.8 ^b	2.1 ^a	2.0	2.1	2.1	<0.05	NS	NS	0.008

Consumo diario de alimento (CDA), ganancia diaria de peso (GDP), eficiencia alimentaria (EA), peso vivo (PV), semana (S), dieta (D). ^{abcdef} Medias con diferente letra de la misma fila son estadísticamente diferentes. No significativo (NS). Error estándar de la media (EEM).

Ganancia diaria de peso (Cuadro 14). En la primera semana se observó la menor GDP ($P < 0.05$). Para la segunda semana el peso se duplicó y fue aumentando ligeramente hasta la cuarta semana, la cual registró la mayor GDP con 41 g/d, a pesar de esto, no mostró diferencia con las semanas dos y tres ($P > 0.05$), por lo que la ganancia se mantuvo en este periodo. Las semanas cinco y seis obtuvieron valores similares ($P > 0.05$), ganando 7.5 g/d menos en promedio que la cuarta semana. Estos resultados indican que la curva de crecimiento no se mantuvo, dado que a partir de los 65 días edad empezó a disminuir la GDP, este efecto no es deseado en los sistemas de producción, lo que se espera es que la curva de crecimiento se mantenga. No obstante, este efecto también se puede observar en otros trabajos de investigación como el de Herrera-Soto *et al.* (2018), donde utilizaron dietas con 2.5 Mcal/kg de ED, 16 % FDA y 16 % de PC, y el experimento de Pérez-Martínez *et al.* (2018) con dietas a base de forraje con 16 % de PC y 2.3 Mcal/kg. Ambos trabajos inician sus engordas con dietas similares y con conejos de 69 días de edad aproximadamente, sus GDP no van en aumento. Esto podría indicar que los requerimientos nutricionales cambian al superar los 65 días de edad, lo que marcaría una etapa productiva diferente.

A pesar que los conejos alimentados con las dietas que incluían 10 % de microalga consumieron más alimento, la GDP no fue diferente para las tres dietas ($P > 0.05$) y reportaron un valor promedio de 34 g/d. Se esperaría que el grupo de conejos con un mayor CDA tuvieran una mayor GDP, esto no se ve reflejado en los resultados, lo cual puede estar explicado por una baja digestibilidad por parte de la microalga utilizada en este experimento. Peiretti *et al.* (2009) menciona que los conejos aumentan su CDA para equilibrar el consumo de los nutrientes requeridos y con esto mantener su GDP.

Los resultados de GDP de este experimento son inferiores a lo reportado por Juárez *et al.* (2017) que obtuvieron una ganancia media de peso de 44.9 g/d en el periodo de 28 a 63 días de edad, un periodo más corto y con animales más jóvenes a los utilizados en este trabajo. Pinzón y Rubio (2017) mencionan que el promedio

de la GDP para conejos en engorda de seis semanas y con 17.5 % de PC en las dietas, es de 33.5 g/d, datos aproximados a los obtenidos por las diferentes dietas experimentales utilizadas en este trabajo.

Eficiencia alimenticia (Cuadro 14). El parámetro EA fue similar ($P>0.05$) durante las primeras tres semanas, obteniendo los mejores valores, en donde los conejos aumentaron 0.4 g de PV por cada gramo consumido. Por otra parte, la EA disminuyó 0.1 en la cuarta semana y esto volvió a suceder para la quinta, la cual junto a la sexta obtuvieron el menor valor siendo iguales ($P>0.05$).

Las EA observada en los conejos alimentados con las dos dietas con microalga no fueron diferentes comparadas a la de los conejos de la dieta control ($P>0.05$). Que los parámetros de EA sean similares, puede estar determinado por las dietas, al ser isofibrosas, ya que de acuerdo a Rochina (2016), la EA está relacionada por la digestibilidad de la fibra, ya que esta depende del contenido de lignina, teniendo una mayor eficiencia cuando los alimentos son pobres en este elemento y poseen un alto contenido de celulosa y hemicelulosa. Los valores obtenidos por las dietas se encuentran entre los valores normales y no se alejan a lo reportado por Delgado y Díaz (2019), quienes evaluaron dietas a base de forraje con un nivel de PC de 16.41 %, teniendo como resultados valores de entre 0.16 y 0.36 de EA.

Peso vivo (Cuadro 14). El PV aumentó cada semana, siendo diferente entre ellas ($P>0.05$), el mayor incremento se dio en las semanas dos y tres, con una ganancia de 400 g, en el resto de las semanas hubo un aumento de entre 200 y 300 g. Se alcanzó un PV final de 2.0 kg en promedio, por lo que los conejos aumentaron 1.3 kg de PV. Las dietas que incluían microalga obtuvieron un PV final ligeramente mayor a la dieta control, pero no hubo diferencia entre ellas ($P>0.05$). Que la inclusión de la microalga no altere el parámetro de PV, indica que hay un aprovechamiento igual de los nutrimentos en las tres dietas. Ramos (2019) al utilizar dietas con diferentes niveles de FDN y 16 % de PC, en conejos de engorda Nueva Zelanda, reportó pesos finales más bajos a los del presente experimento, teniendo

un peso final promedio de 1.9 kg. Rochina (2016), utilizó harina de algarrobo en la alimentación de conejos Nueva Zelanda con 45 días de edad, y determinó que mediante la inclusión del 20 %, se alcanzó un peso final de 2.9 kg, valor que supera al obtenido en la presente investigación, esto puede ser determinado por las diferencias genéticas.

7.2.1 Características de la canal

Los resultados de las características de las canales calientes y frías se observan en el Cuadro 15. Las dietas con 5 y 10 % de inclusión de microalga no mostraron diferencias ($P>0.05$) en ninguna de las características evaluadas con respecto a la dieta control. Las canales calientes muestran los siguientes valores en promedio: peso de 1.04 kg, rendimiento de canal de 50.1 % y un valor general de pH de 7.1. En canal fría los valores disminuyeron de la siguiente manera: el peso y rendimiento de canal perdieron 10 g y 0.4 % respectivamente y su pH desciende hasta seis.

Cuadro 15. Evaluación de peso, pH y rendimiento de canal caliente y fría.

Variable	0 %	5 %	10 %	P	EEM
Canal caliente					
Peso (kg)	1.04	1.01	1.06	NS	0.02
RC (%)	50.5	49.5	50.4	NS	0.38
pH BF	7.0	7.0	7.0	NS	0.04
pH BB	7.4	7.1	7.2	NS	0.10
pH LD	7.3	7.2	7.2	NS	0.02
Canal fría					
Peso (kg)	1.03	1.00	1.05	NS	0.02
RC (%)	50.1	49.1	49.8	NS	0.34
pH BF	6.0	6.0	6.0	NS	0.05
pH BB	6.1	6.1	6.2	NS	0.07
pH LD	5.9	5.9	5.9	NS	0.04

Rendimiento de canal (RC), *biceps femoris* (BF), *biceps brachii* (BB), *longissimus dorsi* (LD). No Significativo (NS), Error Estándar de la Media (EEM).

Herrera-Soto *et al.* (2018) en el estudio sobre comparación de parámetros productivos y calidad de canal de diferentes razas de conejos, registraron un peso de canal fría de 1.02 kg en conejos Nueva Zelanda. Por otro lado, Zambrano (2015), en el trabajo sobre el comportamiento productivo de conejos californianos, registró un peso de 1.5 kg al incluir 10 % de harina de leucaena. Esta variación puede estar determinada por la calidad del alimento y la genética utilizada en cada investigación. Los resultados del presente trabajo se aproximan más a lo reportado por el experimento de Herrera-Soto *et al.* (2018), que fue realizado en México, con conejos Nueva Zelanda matados a los 91 días de edad y con dietas al 16 % de PC. Los resultados de este trabajo se encuentra cercanos al valor inferior, lo cual puede estar asociado a factores nutricionales y genéticos.

Hernández y Palacios (2015) reportaron un rendimiento de canal en conejos Nueva Zelanda con un valor de 45.17 %, valor inferior a los obtenidos en este experimento. Ramos (2019) alcanzó rendimientos de 50.35 % con conejos en ambientes y dietas similares. Martínez (2004) menciona que en México el rendimiento de canal se encuentra entre el 50 - 60 %.

El pH de la canal es un indicador de calidad, para evaluarlo se deben considerar dos tipos de músculos, glucolíticos y oxidativos; los cuales en conejos deben tener un pH inferior a 5.6 y 6.4 respectivamente, para considerar una buena calidad de canal (Delmas y Ouhayou, 1990).

Los promedios de los pH, según el tipo de músculo se presentaron de la siguiente forma: *longissimus dorsi* (músculo glucolítico) fueron superior al parámetro, considerándose de baja calidad, mientras que *biceps femoris* y *biceps brachii* (músculos oxidativos) fueron inferiores, siendo de buena calidad. Así mismo, si se considera el pH general de las canales, que es menor a 6.1, no entraría en la categoría de carne oscura, firme y seca, teniendo una buena calidad de canal de acuerdo a Onega (2003). Por otro lado, para tener una perspectiva completa sobre la calidad de la canal, se debe realizar la prueba de retención de agua, la cual no fue realizada en este trabajo.

Ramos (2019) obtuvo valores de 5.8 en promedio y Galeano (2020) de 5.2 de pH, inferiores a los resultados de este experimento, estas diferencias se pueden deber a dos factores que intervienen en el descenso del pH, que son el glucógeno disponible y las condiciones *antemortem* (Gondret y Bonneau, 1998). De esto dos factores el que puede variar más es el estrés relacionado con las condiciones antes de la matanza.

7.3 Morfofisiología gastrointestinal

7.3.1 Características de los órganos gastrointestinales

Los resultados obtenidos del análisis de la morfofisiología gastrointestinal se muestran en el Cuadro 16. En el peso relativo de los órganos digestivos vacíos, no hubo un efecto ($P>0.05$) por la dieta consumida entre ninguno de los segmentos pesados, obteniendo los siguientes valores en promedio: estómago 1.1 % del PV , intestino delgado 2.2 % del PV e intestino grueso 3.4 % del PV.

Dihigo *et al.* (2001), en el trabajo sobre estudios morfométricos del tracto gastrointestinal alimentados con piensos que contienen diferentes niveles de harina de caña de azúcar (0 %, 15 %, 30 %, 45 %) y PC del 16.45 %, reportaron pesos relativos sin diferencia estadística del estómago con un valor promedio de 1 % del PV. Ramos (2019) utilizó dietas a base de sorgo con varios porcentajes de fibra detergente neutro (28 %, 33 %, 38 %), sin tener un efecto en peso relativo del intestino delgado, con valor promedio de 3 %; sin embargo, en estómago e intestino grueso hubo un aumento cuando se utilizó la dieta al 38 % de FDN, registrando 1.5 % y 4.3% correspondientemente, valores superiores a los de este trabajo.

Los pesos inferiores obtenidos en este trabajo, pueden deberse a una menor función del órgano, debido a la disminución de la permanencia de la digesta. Esta disminución responde principalmente al aumento de la velocidad de tránsito (Gidenne 1992) o al incremento de la fibra insoluble y la voluminosidad (Dihigo *et al.*, 2001). En conejos la hemicelulosa y la pectina son altamente digeridas por la

microbiota (35 - 50 %), disminuyendo la porción de fibra insoluble, por lo cual se debe formular a nivel de FDA (Gidenne, 1997).

Cuadro 16. Morfofisiología gastrointestinal.

Variable	0 %	5 %	10 %	P	EEM
Peso relativo (% PV)					
Estómago	1.2	1.1	1.1	NS	0.62
Intestino delgado	2.3	2.1	2.3	NS	0.07
Intestino grueso	3.6	3.7	3.3	NS	0.14
pH contenido					
Estómago	1.3	1.4	1.4	NS	0.12
Yeyuno – Íleon	6.8	6.9	7.0	NS	0.05
Ciego	5.7	5.8	5.7	NS	0.04
Colon – Recto	6.2	6.2	6.0	NS	0.06

^{abc}Medias con diferente letra de la misma fila son estadísticamente diferentes. No Significativo (NS). Error Estándar de la Media (EEM).

Los pH de los contenidos gastrointestinales evaluados no fueron afectados ($P > 0.05$) por la dieta consumida. Esto es normal debido a que el pH se encuentra regulado por diferentes sistemas, en el estómago se controla principalmente, con la secreción de fluidos ricos en H^+ y HCO_3^- (Wenzl *et al.*, 1989). En el intestino delgado el pH es regulado por un mecanismo neuro hormonal mediado por somatostatina y colecistocinina, el cual controla la excreción de las glándulas anexas En el intestino grueso los AGV's son los que modifican el pH (Orloff *et al.*, 1992).

Los resultados generales son ligeramente más ácidos a los reportados por Ramos (2019) en estómago (1.4 - 1.6), yeyuno-íleon (7.3 - 7.5), ciego (5.9 - 6.5) y colon-recto (6.7). Pero no se encuentran fuera de los valores normales mencionados por diversos autores, en estómago el pH puede ir de 1 - 2 por la secreción del HCl, mientras que en el intestino delgado se acerca a la neutralidad, por la bilis y secreción de las glándulas de la mucosa duodenal (Lebas *et al.*, 1996). En conejos

sanos la fermentación y formación de AGV's determinan el pH cecal y del colon, teniendo un rango de 5.7 - 7.03 y 6.0 - 6.5, respectivamente (Gidenne, 1997).

7.3.2 Morfometría de vellosidades y criptas intestinales

Las medidas obtenidas de la altura de las vellosidades y profundidad de criptas intestinales se muestran en la Figura 8. La altura de vellosidades en duodeno y yeyuno no fueron afectadas ($P>0.05$) por la inclusión de microalga en las dietas, obteniendo una altura promedio en duodeno de 783 μm y en yeyuno de 751 μm . Por otro lado, en las criptas del duodeno se observan diferencias ($P<0.05$) por la inclusión de la microalga, teniendo mayor profundidad con la dieta control, disminuyendo 20 μm al incluir 5 % de microalga y 58 μm al utilizar 10 %. Sin embargo, las criptas de yeyuno y ciego mostraron profundidades similares ($P>0.05$) al incluir 5 % y 10 %, midiendo 16 μm menos en promedio que la dieta 0 %.

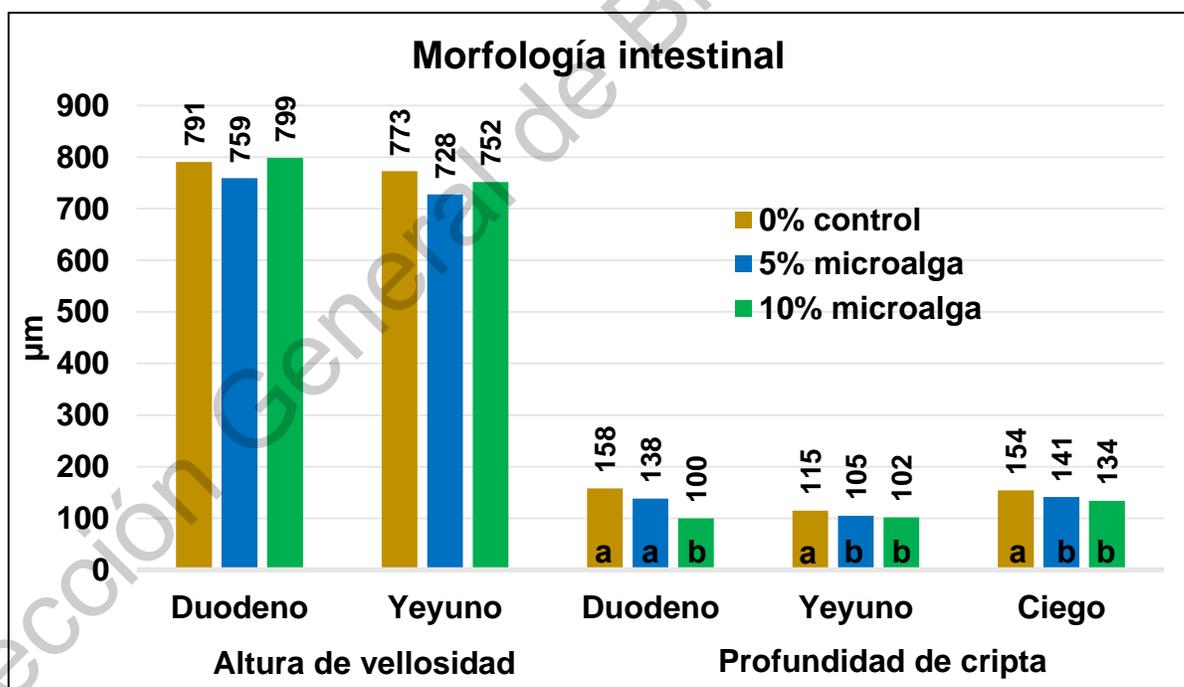


Figura 8. Morfometría de vellosidades y criptas intestinales.

^{abc}Medias con diferente letra de la misma sección son estadísticamente diferentes. Datos estadísticos: Altura de vellosidades del duodeno $P>0.05$, EEM 8.3. Altura de vellosidades del yeyuno $P>0.05$, EEM 14.2. Profundidad de criptas del duodeno $P<0.05$, EEM 1.2. Profundidad de criptas del yeyuno $P<0.05$, EEM 2. Profundidad de criptas del ciego $P<0.05$, EEM 2.4.

Chiou *et al.* (1994), utilizaron diferentes componentes de fibra dietética para observar su efecto en la morfología intestinal. Evaluaron cuatro dietas las cuales se diferenciaban entre ellas por incluir diferentes ingredientes al 12 %: celulosa, pectina, lignina y alfalfa. La altura de las vellosidades en duodeno y yeyuno al utilizar alfalfa obtuvieron un rango de entre 744 - 936 μm y 574 - 766 μm respectivamente, datos cercanos a los de este trabajo. Al no haber un efecto por la inclusión de la microalga, sugiere que las dietas no alteran la superficie de digestión y absorción de los alimentos. Por otra parte, reportó las siguientes medidas sobre la profundidad de criptas: en duodeno con un rango de 110 a 143 μm , yeyuno de 88 a 126 μm y ciego de 56 y 248 μm , valores similares a este trabajo.

La relación de la altura de la vellosidad y profundidad (AV/PC) de la cripta se observa en la Figura 9. En el duodeno el valor de la relación AV/PC aumentó al incrementar la inclusión de la microalga ($P < 0.05$). Por otro lado, en el yeyuno, numéricamente tiende a ser mayor la relación al incluir más porcentaje de la microalga, sin embargo no hubo diferencias ($P > 0.05$).

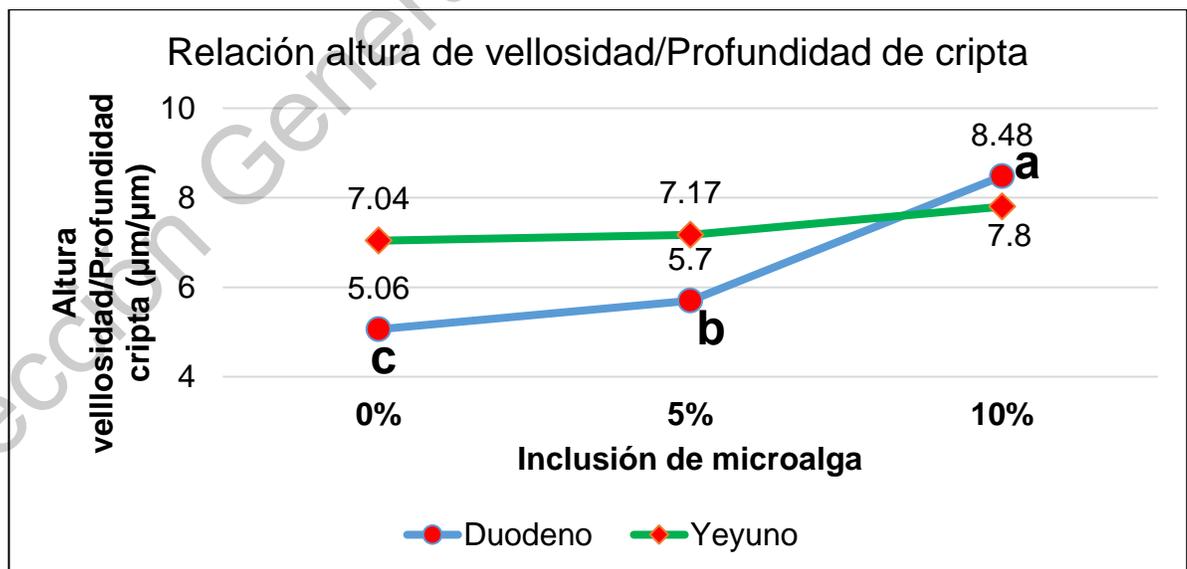


Figura 9. Relación altura de vellosidad y profundidad de cripta.

^{abc}Medias con diferente letra de la misma sección son estadísticamente diferentes. Datos estadísticos: Altura de vellosidades del duodeno $P > 0.05$, EEM 8.3. Altura de vellosidades del yeyuno $P > 0.05$, EEM 14.2. Profundidad de criptas del duodeno $P < 0.05$, EEM 1.2. Profundidad de criptas del yeyuno $P < 0.05$, EEM 2. Profundidad de criptas del ciego $P < 0.05$, EEM 2.4.

Que las criptas disminuyan de tamaño no es un aspecto negativo, dado que se ha informado que la relación de AV/PC de cripta, es un criterio útil para estimar la capacidad de digestión y absorción de nutrientes del intestino delgado (Montagne *et al.*, 2003). La máxima digestión y absorción se produce cuando esta proporción aumenta (Pluske *et al.*, 1996), así como se observa un balance favorable para la renovación celular (Puente *et al.*, 2019). García *et al.* (2005) en su trabajo sobre la enteropatía epizoótica en conejos, utilizaron tres niveles de fibra soluble (7, 9 y 12 %) y observaron los valores más altos (8 AV/PC) en los conejos alimentados con 12 % de fibra soluble. En el presente trabajo el aumento de la relación AV/PC puede estar dado por la composición de los carbohidratos de la microalga, los cuales son un sustrato adecuado para el crecimiento de la microbiota y para la producción de diversos productos de la fermentación (Yen *et al.*, 2013). Los cuales pueden ser aprovechados en el intestino delgado para mejorar la salud intestinal, siendo el ácido butírico el principal sustrato (Abad-Guamán *et al.*, 2017).

VIII.-CONCLUSIONES.

La microalga *Scenedesmus* sp. utilizada en este trabajo destaca por ser una fuente alta de proteína y minerales, de igual manera, contiene una cantidad considerable de FDN, de la cual resalta una elevada proporción de lignina.

En las condiciones experimentales se concluye que:

La inclusión de la microalga al 5 y 10%, no tuvo un efecto en las variables ganancia diaria de peso, eficiencia alimenticia y peso vivo. Sin embargo, el consumo diario de alimento fue estimulado al incluir 10 % de la microalga.

Las características de la canal (peso, rendimiento y pH) no fueron afectadas por los diferentes niveles de inclusión de la microalga, así como los pesos relativos de los órganos digestivos y los pH de los contenidos evaluados.

La altura de las vellosidades del duodeno y yeyuno no fue afectada por los diferentes niveles de inclusión de la microalga en las dietas. Por otro lado, la profundidad de las criptas del duodeno, yeyuno y ciego disminuyó al incrementar el porcentaje de inclusión de la microalga en el alimento, incrementando la relación de la altura de la vellosidad y profundidad.

Debido a su composición química, la microalga puede ser utilizada hasta el 10 % de inclusión como un ingrediente proteico alternativo, sin generar alteraciones negativas en el comportamiento productivo, y la morfofisiología gastrointestinal en conejos en engorda.

Recomendaciones

Se recomienda seguir investigando las microalgas con la finalidad de que sirvan para la alimentación de conejos y otras especies pecuarias.

Realizar pruebas de digestibilidad (MS, PC y FDN) en las dietas con inclusión microalgas.

Realizar análisis de la calidad de carne (Composición química, perfil de ácidos graso y de aminoácidos) en conejos alimentados con microalgas o ingredientes alternativos

IX.-BIBLIOGRAFÍA.

- Abad-Guamán, R., Delgado, R., Ocasio Vega, C., Nicodemus, N., Carabaño, R., y García, J. (2017). Fibra soluble y fermentable para mejorar salud intestinal en conejos. *Boletín de Cunicultura*, 186, 38 - 40.
- Abalde, J. y Cid, A. (1995). Microalgas: cultivo y aplicaciones. Coruña: Generalidades del cultivo de microalgas. Universidad de Coruña, 26, 45 - 50.
- Andersen, R. A. (2013). The microalgal cell. *Handbook of microalgal culture: applied phycology and biotechnology*. 2da ed. Wiley, Oxford, 1-20.
- Andersen, R. A. y Kawachi, M. (2005). Técnicas tradicionales de cultivo de microalgas. Elsevier Academia, 83 - 100.
- Andrade, C. E., Vera, A. L., Cárdenas, C. H., y Morales, E. D. (2009). Producción de biomasa de la microalga *Scenedesmus* sp. utilizando aguas residuales de pescadería. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 32(2), 126 -134.
- AOAC, B. A. M. (2000). Association of official analytical chemists. Official methods of analysis, 12.
- Armada, R. (2016). La explotación cunícola en México, una revisión a través del VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007.
- Aubret, J. M. y Duperra, J. (1992). Effect of cage density on the performance and health of the growing rabbit. *J Appl Rabbit Res*, 15, 656 - 660. NO ESTÁ EN EL TEXTO
- Barreto, P. R. (2018). Evaluación de microalgas para su uso en la elaboración de piensos para acuicultura. [Tesis de Maestría]. Universidad de Almería. España.
- Barsanti, L. y Gualtieri, P. (2006). Algas: Anatomía, bioquímica y biotecnología. 1ra ed.
- Bateman, J. V. (1970). Nutrición animal: manual de métodos analíticos (No. SF 95. B3718).
- Battaglini, M., Grandi, A., Paletti, C. y Pushparaj, B. (1979). Use of biomass of *Scenedesmus acutus* 8 M as an alternative protein concentrate in diets for growing rabbits. *Zoot. Nutr. Anim*, 5, 211 – 218.
- Becker, W. (2004). 18 microalgae in human and animal nutrition. In *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology*. Vol. 312. Wiley Online Library.
- Becker, W. (2013). Microalgae for aquaculture: nutritional aspects. *Handbook of Microalgal Culture. Appl. Phycol. Bio.*, 2, 671-691.
- Belenguer, A., Balcells, J., Guada, J.A., Decoux, M. y Milne, E. (2005) Protein recycling in growing rabbits: contribution of microbial lysine to amino acid metabolism. *Brit. J. Nutr.*, 94, 763 – 770.
- Bernaerts, T. M., Gheysen, L., Kyomugasho, C., Kermani, Z. J., Vandionant, S., Foubert, I. y Van Loey, A. M. (2018). Comparison of microalgal biomasses as

functional food ingredients: Focus on the composition of cell wall related polysaccharides. *Algal research*, 32, 150-161.

- Borowitzka M. (1997). *Biología en el cultivo de algas*. Obtenido de algas <https://sphinx.murdoch-dspace.ups.edu.ec/>. [Consultado: 07/06/2020].
- Brenes Payá, A., Brenes Payá, J., y Pontes, M. (1978). Requerimientos nutritivos del conejo. *Cunicultura*, 3(13), 0117-127.
- Brown, J. y Cline, T. (1974). Urea Excretion in the pig: and indicator of protein quality and amino acid requirements. *J. Nutr.*, 104, 542 - 545.
- Brown, M. R., Jeffrey, S. W., Volkman, J. K. y Dunstan, G. A. (1997). Nutritional properties of microalgae for mariculture. *Aquaculture*, 151 (1-4), 315 – 331.
- Brown, M. R., Jeffrey, S. W., y Garland, C. D. (1989). Nutritional aspects of microalgae used in mariculture; a literature review. Hobart, Tas., CSIRO Marine Laboratories.
- Brown, M. R., Mular, M., Miller, I., Farmer, C. y Trenerry, C. (1999). The vitamin content of microalgae used in aquaculture. *J. Appl. Phycol*, 11 (3), 247 – 255.
- Burja, A. M., y Radianingtyas, H. (2008). Nutraceuticals and functional foods from marine microbes: an introduction to a diverse group of natural products isolated from marine macroalgae, microalgae, bacteria, fungi, and cyanobacteria. In *Marine nutraceuticals and functional foods*, 367 - 403.
- Camara, V. M. y Prieur, D. J. (1984). Secretion of colonic isoenzyme of lysozyme in association with cecotrophy of rabbits. *Am. J. Physio*, 247, 9 - 23.
- Carabaño, R. (1997). The digestive system of the rabbit. En *Memorias del curso: Sistemas de Producción de Carne de Conejo*. Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza, España del 13 - 24 enero 1997. Citado por: Martínez C. M. A. (2004). *Cunicultura* 2da ed. Division Educación Continua UNAM. México.
- Carabaño, R., Villamide, M. J., García, J., Nicodemus, N., Llorente, A., Chamorro, S. y De Blas, J. C. (2009). New concepts and objectives for protein-amino acid nutrition in rabbits: a review. *World Rabbit Sci.*, 17(1), 1 - 14.
- Carrizo, J. (2002). Utilización de la fibra en alimentos para cunicultura. *Cunicultura*, 27, 255 - 260.
- Castelo, E., y Guadalupe, J. (2018). Efecto del consumo de nitrógeno de la microalga *Desmodesmus communis* sobre la composición bioquímica, productividad de la biomasa, comunidad bacteriana y longitud de los telómeros [Tesis de Maestría]. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC. México.
- Chavarría, P, J. E. (2020). Efecto de fórmula polihierbal inmunoestimulante sobre parámetros productivos en conejos (*Oryctolagus cuniculus*) en finalización. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Autónoma del Estado De México, México.
- Cheeke, P. R. (1987). *Rabbit feeding and nutrition*. U.S.A, Academic Press Inc.
- Chiou, P. W., Bi, Y., y Chang, L. (1994). Effect of different components of dietary fiber on the intestinal morphology of domestic rabbits. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 108(4), 629 - 638.

- Cury, K., Martínez, A., Aguas, Y., & Olivero, R. (2011). Caracterización de carne de conejo y producción de salchicha. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 3(2), 269 - 282.
- Dávila, N. F. P., Gomes, A. V. da C., Pessoa, M. F., Crespi, M. P. L. de, Coll, J. F. de C. (2007). Replacement of soybean meal by cottonseed meal as feed for growing rabbits. *Act. Sci. – Anim. Sci.*, 29 (3), 277 – 282.
- De Blas, C. (1991). Alimentación de los gazapos. *Cunicultura*, 89, 35 - 45.
- De Blas, C. y Wiseman, J. (2010). *Nutrition of Rabbit*. 2th Ed. CABI, England.
- De Blas, C., Astillero, R., Chamorro, S., Corujo, A., García-Alonso, J., García-Rebollar, P., García-Ruiz, I., Menoyo, D., Nicodemus, N., Romero C., Carabaño, R. (2007). Efectos de la nutrición y el manejo sobre el desarrollo de patologías digestivas de gazapos en un entorno de enteropatía epizoótica. XXIII Curso de especialización FEDNA, Madrid.
- De Blas, C., y Mateos, G. G. (1998). Feed formulation. Citado por: C. De Blas, y J. Wiseman, (Ed), *The Nutrition of the Rabbit*, 241 – 254, United Kingdom: CABI Publishing.
- De Blas, E. y Gidenne, T. (1998). Digestion of starch and sugars. Citado por: De Blas E., J. Wiseman, editors. *The nutrition of the rabbit*. Wallingford: CABI Publishing.
- De Blas, J.C., J. García, R. y Carabaño. (2002). Revisión a las principales peculiaridades sistema digestivo de los conejos, que son responsables, entre otras causas, de la complejidad de esta producción, *Avances en nutrición*. XXVII Symposium de Cunicultura de ASESCU.
- De Visser, C. L. M., Schreuder, R., y Stoddard, F. (2014). The EU's dependency on soya bean import for the animal feed industry and potential for EU produced alternatives. *Ocl*, 21(4), D407.
- Delgado, D. F. F., y Díaz, A. I. A. (2019). Evaluación de un alimento peletizado a base de forraje para conejos en fase de levante y ceba en la Granja Experimental Villa Marina. *Mundo Fesc*, 9(17), 78 - 84.
- Delmas, D., y Ouhayoun, J. (1990). Rabbit slaughtering techniques: 1. descriptive study of muscles. Francia. *Viandes et Produits Carnes*.
- Díaz, M.T., Pérez, C., Sánchez, C. I., Lauzurica, S., Cañeque, V. y González, C. (2017). Feeding microalgae increased omega 3 fatty acids of fat deposits and muscles in light lambs. *J. Food Compos. Anal*, 56, 115 - 123.
- Dihigo, L. E., Savón, L., y Sierra, F. (2001). Estudios morfométricos del tracto gastrointestinal y órganos internos de conejos alimentados con piensos que contienen harina de caña de azúcar. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 35(4), 361 - 365.
- Domínguez, H., G. Barrios, y. Pérez. (2008). *Fisiología digestiva y nutrición en la especie cunícola*. Centro de Estudios Biotecnológicos, Cuba.

- Domínguez, M. D. C. R. (2013). Evaluación del enriquecimiento en lípidos de valor energético en microalgas. [Tesis de Doctorado]. Universidad de Huelva. España.
- Efrogmson, R. A., Dale, V. H., y Langholtz, M. H. (2017). Socioeconomic indicators for sustainable design and commercial development of algal biofuel systems. *Gcb Bioenergy*, 9(6), 1005 - 1023.
- Espinoza-Gallardo, D., Contreras-Porcía, L., y Ehrenfeld, N. (2017). β -glucanos, su producción y propiedades en microalgas con énfasis en el género *Nannochloropsis* (Ochrophyta, Eustigmatales). *Revista de biología marina y oceanografía*, 52(1), 33 - 49.
- Fábregas, J., Herrero, C., Cabezas, B., Liaño, R., y Abalde, J. (1986). Respuesta de las microalgas marinas *Dunaliella tertiolecta* a la concentración de nutrientes y variaciones de salinidad en cultivos discontinuos. *El diario de plantas y su fisiología*, 125, 475 - 484.
- FAO. La organización de las Naciones unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). Base de Datos. Obtenido de: <http://www.fao.org> [Consultado: 13/08/2019].
- Fernández, I., Ación, F. G., Berenguel, M., Guzmán, J. L., Andrade, G. A. y Pagano, D. J. A. (2014) Lumped Parameter Chemical-Physical Model for Tubular Photobioreactors. *Chem. Eng. Sci.*, 112, 116 – 129.
- Fernández, M. B. (1970). Hay dinero en el conejo, 1ra ed. Síntesis, Barcelona España.
- Feugier A., Smit M. N., Fortun-Lamothe L. y Gidenne T. (2006). Fibre and protein requirements of early-weaned rabbits and the interaction with weaning age: effects on digestive health and growth performance. *Anim. Sci.*, 82, 493 - 500.
- Forbes, J. M. (1986) The voluntary food intake of farm animals. Butterworths. Londons 205 p.
- Furbeyre, H., Milgen, J., Mener, T., Gloaguen, M. y Labussière, E. (2017). Effects of dietary supplementation with freshwater microalgae on growth performance, nutrient digestibility and gut health in weaned piglets. *Anim.* 11, 183 - 192.
- Galarza, V. O. (2019). Carbohidratos y proteínas en microalgas: potenciales alimentos funcionales. *Brazilian Journal of Food Technology*, 22.
- Galeano, D. J. P. (2020). Comportamiento productivo, características de la canal y calidad de carne de conejos alimentados con dietas adicionadas con pasta de aguacate de desecho. [Tesis de Maestría] Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- Garcia, A. I., De Blas, J. C. y Carabaño, R. (2005). Comparison of different methods for nitrogen and amino acid evaluation in rabbit diets. *Anim. Sci.*, 80, 169 – 178.
- García, J., Gómez-Conde, M. S., Chamorro, S., Martín, N. N., de Blas Beorlegui, C., Carabaño, R., ... y Saíz, J. I. B. (2005). Resultados sobre las investigaciones en nutrición. *Boletín de cunicultura lagomorpha*, 139, 21 - 30.
- García-Palomares J., Carabaño R., García-Rebollar P., De Blas J. C., Corujo A. y García-Ruiz A. I. (2006). Effects of a dietary protein reduction and enzyme

supplementation on growth performance in the fattening period. *World Rabbit Sci.*, 14, 231 - 236.

- Garofalo, R. (2009). Algae and aquatic biomass for a sustainable production of 2nd generation biofuels. *AquaFUELS-Taxonomy, Biology and Biotechnology*, 6, 1-258.
- Gecel, P. (1986). Fisiología digestiva del conejo adulto. *Monografías de Medicina Veterinaria*, 8(2).
- Gidenne, T. (1992). Effect of fibre level, particle size and adaptation period on digestibility and rate of passage as measured at the ileum and in the faeces in the adult rabbit. *Br. J. Nutri.*, 67, 133 – 146.
- Gidenne, T. (1997). Caeco-colic digestion in the growing rabbit: impact of nutritional factors and related disturbances. *Livestock Production Science*, 51(1-3), 73 - 88.
- Gidenne, T. y Lebas, F. (1987) Estimation quantitative de la caecotrophie chez le lapin en croissance: variations en fonction de l'âge. *Ann. Zootech.*, 36, 225 – 236.
- Gidenne, T. y Poncet, C. (1985) Digestion chez le lapin en croissance, d'une ration à taux élevé de constituants pariétaux: étude méthodologique pour le calcul de digestibilité apparente, par segment digestif. *Ann. Zootech.*, 34, 429 – 446.
- Gidenne, T., Pinheiro, J., Falcao, L. y Cunha, C. (2000). A comprehensive approach of the rabbit digestion: consequences of a reduction in dietary fibre supply. *Livest. Prod. Sci.*, 64, 225 - 237.
- Gómez-Conde, M. S., García, J., Chamorro, S., Eiras, P., Rebollar, P. G., Pérez de Rozas, A. y Carabaño, R. (2007). Neutral detergent-soluble fiber improves gut barrier function in twenty-five-day-old weaned rabbits. *Journal of Animal Science*, 85(12), 3313 - 3321.
- Gondret, F., y Bonneau, M. (1998). Mise en place des caractéristiques du muscle chez le lapin et incidence sur la qualité de la viande. *Productions animales*, 11(5), 335 - 347.
- Gutiérrez, I., Espinosa, A., García, J., Carabaño, R. y De Blas, J.C. (2002). Effect of levels of starch, fiber, and lactose on digestion and growth performance of early-weaned rabbits. *J. Anim. Sci.*, 80. 1029 – 1037.
- Harkness, J. E. y Wagner J. E. (1995). *Biology and husbandry- the rabbit. The biology and medicine of rabbits and rodents (4th Ed.)*. Baltimore: William y Wilkins. 13.
- Hasan, M. R. y Chakrabarti, R. (2009). Use of algae and aquatic macrophytes as feed in small-scale aquaculture: A review. *FAO Fisheries and Aquaculture technical paper*, 531. FAO, Rome, Italy.
- Hernández A. y Labbé J. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de biología marina y oceanografía*, 49(2), 157 - 173.
- Hernández, J., Aquino, L. J. L., y Palacios, A. (2015). Rendimiento de la canal, color de la carne y evolución del pH muscular de conejos. *Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca*.

- Herrera-Soto, I. A., Zepeda-Bastida, A., Ayala-Martínez, M., y Soto-Simental, S. (2018). Comparación De Parámetros Productivos Y Calidad De La Canal De Diferentes Razas De Conejos. *Avances de la Investigación Sobre Producción Animal y Seguridad Alimentaria en México*, 497.
- Huancollo Chambi, E. Y. (2018). Evaluación de parámetros de cultivo y análisis de la composición nutricional de la microalga *Scenedesmus* sp. endémica del lago Titicaca en condiciones de laboratorio. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Nacional de San Agustín. Perú.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2007). Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007. México. Obtenido de: <https://www.inegi.org.mx/programas/caqf/2007/> [Consultado: 16/08/2019].
- INRA (1984) L'alimentation des animaux monogastriques: porc, lapin, volailles. Institut National de la Recherche Agronomique. Paris, 282.
- Ito, Z. (1990). Motilide as motilin receptor agonist: a new class of prokinetic agents originating from the macrolides. *Regul. Pept. Lett.*, 2(4),12 - 5.
- Juárez, J. D., Marco-Jiménez, F., y Vicente, J. S. (2017). Efectos transgeneracionales sobre las características de crecimiento de una línea paternal de conejos reconstituida a partir de embriones vitrificados. *XVII Jornadas sobre Producción Animal*, 347 - 349.
- Kulpys, J., Paulauskas, E., Pilipavicius, V. y Stankevicius, R. (2009). Influence of cyanobacteria *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* biomaxx additives towards the body condition of lactation cows and biochemical milk indexes. *Agron. Res.*, 7, 823 - 835.
- Lebas, F. (1989). Besoins nutritionnels des lapins. *Revue bibliographique et perspectives. Cuni Sci.*, 5(2), 1 - 28.
- Lebas, F. (2004). Reflections on rabbit nutrition with a special emphasis on feed ingredients utilization. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, September 7-10, 2004, Puebla, Mexico 2004*
- Lebas, F., Coudert, P., Rochambeau, H de. y Thébault, R.G. (1996). *El Conejo Cría y Patología*. Colección FAO: Producción y Sanidad Animal 19. Roma.
- Lourenço, S. O., Barbarino, E., Lavín, P. L., Lanfer Marquez, U. M., y Aida, E. (2004). Distribution of intracellular nitrogen in marine microalgae: calculation of new nitrogen-to-protein conversion factors. *European Journal of Phycology*, 39(1), 17 - 32.
- Luna, L. M. G. (2007). Microalgas: Aspectos ecológicos y biotecnológicos. *Revista cubana de química*, 19(2), 3 - 20.
- Maertens, L. (1998). Fats in rabbit nutrition: a review. *World Rabbit Sci.*, 6, 341 - 348.
- Maertens, L. y Luzi, F. (2004) I fabbisogni alimentary del coniglio da carne. *Coniglicoltura* 5, 20–25.

- Martínez, C. M. A. (2004). Cunicultura 2da ed. Division Educación Continua UNAM., México.
- Marty, J. y Vernay, M. (1984) Absorption and metabolism of the volatile fatty-acids in the hind-gut of the rabbit. *Brit. J. Nutr.*, 51, 265 – 277.
- Matos, A. P. (2017). The impact of microalgae in food science and technology. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94(11), 1333 - 1350.
- Méndez, M. (2003). Evaluación de la remoción de fósforo y nitrógeno de aguas residuales por el alga *Chlorella sp.* *Revista Clon*, 2, 42 - 46.
- Mendoza, A. M. B. (2001). “Situación de la cunicultura en México”. En: 1er ciclo de conferencias internacional sobre cunicultura empresarial del 7-8 de septiembre. UACH. Citado por: Olivares, P. R., Gómez C. M. A., Schwentesius, R. R., Carrera C. B. (2009). Alternativas a la producción y mercadeo para la carne de conejo en Tlaxcala, México *Región y Sociedad*, 46, 191-207.
- Montagne, L., Pluske, J.R., and Hampson, D.J. (2003). A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Anim. Feed Sci. Technol*, 108, 95 – 117.
- Muller-Feuga, A. (2013). Microalgae for aquaculture: the current global situation and future trends. *Handbook of Microalgal Cultures: Applied Phycology and Biotechnology*. 2nd ed. Wiley Blackwell, West Sussex, 615 - 627.
- Nabuurs, M. J. A., Hoogendoorn, A., Van Der Molen, E. J. y Van-Osta, L. M. (1993). Villus height and crypt depth in weaned and unweaned pigs, reared under various circumstances in the Netherlands. *Res Vet Sci.*, 55, 78 – 84.
- Nicodemus, N., García, J., Carabaño, R. y De Blas, J.C. (2002). Effect of inclusion of sunflower hulls in the diet on performance, disaccharidase activity in the small intestine and caecal traits of growing rabbits. *Anim.Sci.*, 75, 237 – 243.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014, Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. Obtenido de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5405210&yfecha=26/08/2015 [Consultado: 10/09/2019].
- NRC. National Research Council. 1977. Nutrient requirements of rabbits. National Academy of Science. Washington DC, USA.
- Oil World. (2015). Oil World Annual 2015. ISTA Mielke GmbH, Hamburg
- Olivares R. (2010). Producción de aceite para usos industriales a partir de la microalga *Scenedesmus Obliquus*. Universidad de el Salvador – Facultad de Ingeniería y Arquitectura – Escuela de Ingeniería Química, 13 - 23.
- Olivares, P. R., Gómez C. M. A., Schwentesius, R. R. y Carrera C. B. (2009). Alternativas a la producción y mercadeo para la carne de conejo en Tlaxcala, México, *El Colegio de Sonora*, 46, 191 - 207.

- Onega, M. (2003). Evaluación de la calidad de carnes frescas: aplicación de técnicas analíticas, instrumentales y sensoriales. Departamento de Nutrición y Bromatología III, Universidad Complutense de Madrid.
- Orenge, O. y Gidenne, T. (2007). Feeding behavior and caecotrophy in the young rabbit before weaning: An approach by analysing the digestive contents. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 102, 106 – 118.
- Orloff, S. L., Bunnett, N. W., Walsh, J. H., y Debas, H. T. (1992). Intestinal acid inhibits gastric acid secretion by neural and hormonal mechanisms in rats. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*, 262(1), G165-G170.
- Padilha, M. T. S., Licois, D., Gidenne, T., Carré, B. y Fonty, G. (1995). Relationships between microflora and caecal fermentation in rabbits before and after weaning. *Reproduction Nutrition Development*, 35, 375 – 386.
- Pascual, J. J. (2001). Early weaning of young rabbits: a review. *World Rabbit Sci.*, 9, 165 – 170.
- Peiretti, P. G. y Meineri, G. (2011). Effects of diets with increasing levels of *Spirulina platensis* on the carcass characteristics, meat quality and fatty acid composition of growing rabbits. *Lives. Sci.*, 140 (1 – 3), 218 – 224.
- Pere, C. (1992). La alimentación y la patología digestiva del conejo. *Cunicultura*, 98, 206.
Pérez de Rozas, R. G. A. M. (2014). Utilización de cepas de *Bacteroides* spp. Como probiótico en conejos. [Tesis de Doctorado]. Universidad Autónoma de Barcelona. España.
- Pérez-Martínez, K., García-Valencia, S., Soto-Simental, S., Zepeda-Bastida, A., y Ayala-Martínez, M. (2018). Parámetros productivos de conejos alimentados con diferentes partes de la planta *Tithonia tubaeformis*. *Abanico veterinario*, 8(2), 108 - 114.
- Pinzón, L., y Rubio Sánchez, C. (2017). Consumo residual en conejos: determinación y relación con variables productivas y de crecimiento. [Tesis de Licenciatura. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Colombia.
- Pluske, J. R., Williams, I. H., y Aherne, F. X. (1996). Maintenance of villous height and crypt depth in piglets by providing continuous nutrition after weaning. *Animal Science*, 62(01), 131 - 144.
- Portsmouth, J. I. (1977). The nutrition of the rabbits. *Nutrition and the Climatic Environment*. Butterworths, London, UK, pp. 93–111. Citado por: De Blas, C., Wiseman J. (2010). *Nutrition of Rabbit* 2th Ed. CABI, England.
- Puente, J., Carcelén, F., Ara, M., Bezada, S., Huamán, A., Santillán, G. y Asencios, A. (2019). Efecto de la suplementación con niveles crecientes de probióticos sobre la histomorfometría del intestino delgado del cuy (*Cavia porcellus*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(2), 624 - 633.

- Quevedo, C., Morales, S. P., y Acosta, A. (2008). Crecimiento de *Scenedesmus* sp en diferentes medios de cultivo para la producción de proteína microalgal. *Vitae*, 15(1), 25-31.
- Ramos, E. (2019). Evaluación del comportamiento productivo y de la presencia de kafirinas en cecotrofos y heces duras en conejos en engorda alimentados con sorgo y diferentes niveles de fibra detergente neutro. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Rani, K., Sandal, N., y Sahoo, P. K. (2018). A comprehensive review on chlorella-its composition, health benefits, market and regulatory scenario. *The Pharma Innovation Journal*, 7(7), 584-589.
- Ravishankar, G. A. ; Sarada, R.; Vidyashankar, S.; Venu Gopal, K.S. y Kumudha, A. (2012). Cultivation of micro-algae for lipids and hydrocarbons, and utilization of spent biomass for livestock feed and for bio-active constituents. In: Makkar, H.P.S, *Biofuel co-products as livestock feed - opportunities and challenges*, FAO, 423 – 446.
- Rochina, S (2016). Utilización de harina de *Prosopis pallida* (Algarrobo) en la alimentación de conejos neozelandés en la etapa de crecimiento y engorde. [Tesis de Licenciatura]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.
- Rontani, J. F., Prahl, F. G., y Volkman, J. K. (2006). Re-examination of the double bond positions in alkenones and derivatives: biosynthetic implications 1. *Journal of Phycology*, 42(4), 800 - 813.
- Sabatakou, O., Xylouri-Frangiadaki, E., Paraskevakou, E. y Papatonakis, K. (1999). Scanning electron microscopy of stomach and small intestine of rabbit during foetal and post natal life. *Journal of Submicroscopic Cytology and Pathology*, 31, 107 – 114.
- Salgado, I. (2016). Conejo *Oryctolagus cuniculus* (Linnaeus, 1758).
- Samoggia, G. (1986). La fibra en la alimentación del conejo. *Cunicultura*, 11(60), 51 - 53.
- Santos Vidal, S. (2017). Tinción Hematoxilina-Eosina.
- Sapunar Schneider, E. A. (2019). Análisis técnico económico de una planta de producción de proteína unicelular a partir de desechos de la industria Algal. [Tesis de Ingeniería]. Universidad de Chile. Chile.
- Secretaría de Economía. (2003). Norma Mexicana NMX-Y-021-SCFI-2003, Alimentos para animales-determinación de calcio en alimentos terminados e ingredientes para animales-método de prueba. Obtenido de http://caisatech.net/uploads/XXI_2_MXD_A016_NMX-Y-021-SCFI-2003_R0_12MAR2003.pdf [Consultado: 01/03/2020].
- Secretaría de Economía. (2004). Norma Mexicana NMX-Y-100-SCFI-2004, Alimentos para animales-determinación de fosforo en alimentos terminados e ingredientes para animales-método de prueba. Obtenido de https://caisatech.net/uploads/XXI_2_MXD_A016_NMX-Y-100-SCFI-2004_R0_22ABR2004.pdf [Consultado: 01/03/2020].

- SENASICA. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2001). Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. Obtenido de <http://publico.senasica.gob.mx/?doc=743> [Consultado: 10/09/2019].
- Steel, R. G., y Torrie, J. H. (1980). Principles and Procedures of Statistics McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, 481.
- Toledo, J., Furlan, A., Pozza, P., Piano, L., Carvalho, P., Peñuela-Sierra, L. y Huepa, L. (2014). Effect of the reduction of the crude protein content of diets supplemented with essential amino acids on the performance of piglets weighing 6-15 kg. *Live. Sci.*, 168, 94 - 101
- Toyomizu, M., Sato, K., Taroda, H., Kato, T., y Akiba, Y. (2001). Effects of dietary Spirulina on meat colour in muscle of broiler chickens. *British Poultry Science*, 42(2), 197 - 202.
- Trocino, A., Xiccato G., Sartori A. y Queaque P.I. (2000). Feeding plans at different protein levels: effects on growth performance, meat quality and nitrogen excretion in rabbits. In Proc.: 7th World Rabbit Congress, del 4-7 Julio, 2000, Valencia, España. 467 - 474.
- Van Soest, P. V., Robertson, J. B., y Lewis, B. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science*, 74(10), 3583 - 3597.
- Villasmil, T. (2004) Aislamiento, Identificación y cultivo de cianobacterias presentes en la Laguna Gato Negro, Municipio Maracaibo, Estado Zulia. La Universidad del Zulia. Maracaibo, República Bolivariana de Venezuela
- Viñas, J. M. S. (2012). Los retos de la agricultura para alimentar al mundo en 2050. *Tiempo de paz*, 106, 37 - 48.
- Wenzl, E. T. I. E. N. N. E., Sjaastad, M. D., Weintraub, W. H., y Machen, T. E. (1989). Intracellular pH regulation in IEC-6 cells, a cryptlike intestinal cell line. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*, 257(5), G732-G740.
- Xiccato, G., M. Verga, A. Trocino, V. Ferrante, P.I. Queaque, A. y Sartori. (1999). Influence de l'effectif et de la densité par gage sur les performances productives, la qualité bouchère et le comportement chez le lapin. Proc. 8èmes Journées de la Recherche Cunicole, 9-10 June, Paris, France. pp. 59
- Yen, H. W., Hu, I. C., Chen, C. Y., Ho, S. H., Lee, D. J., y Chang, J. S. (2013). Microalgae-based biorefinery—from biofuels to natural products. *Bioresource technology*, 135, 166 - 174.
- Zambrano, M. (2015). Comportamiento productivo de conejos californianos alimentados con dietas basadas en harina de follaje de dos leguminosas (*Leucaena leucocephala* y *Vigna unguiculata*) y dos amiláceas (*Manihot esculenta* y *Ipomoea batatas*). [Tesis de Maestría]. Universidad Tecnológica Equinoccial. Ecuador.