



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL**

**“ESTIMACIÓN DEL CRECIMIENTO DE LOS  
COMPONENTES CORPORALES EN CONEJOS NUEVA  
ZELANDA BLANCA BAJO CLIMAS TROPICALES EN  
MÉXICO”**

**REPOSITORIO**

Que presenta:

**Tomás Alexander Arbez Abnal**

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**Doctor en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable**

Director de tesis:

**Dr. José Roberto Sanginés García**

Conkal, Yucatán, México

Diciembre, 2023



**TecNM**



Conkal, Yucatán, México, a 14 de diciembre de 2023

El comité de tesis del candidato a grado: Tomás Alexander Arbez Abnal, constituido por los CC. Dr. José Roberto Sanginés García, Dr. Alfonso Juventino Chay Canul, Dr. Ángel Trinidad Piñeiro Vázquez, Dr. Edgar Aguilar Urquizo y Dr. Luis Eliezer Cruz Bacab habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **“ESTIMACIÓN DEL CRECIMIENTO DE LOS COMPONENTES CORPORALES EN CONEJOS NUEVA ZELANDA BLANCA BAJO CLIMAS TROPICALES EN MÉXICO”** que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.13.3, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

**ATENTAMENTE**

---

Dr. José Roberto Sanginés García

Director de Tesis

---

Dr. Ángel Trinidad Piñeiro Vázquez

Asesor de Tesis

---

Dr. Alfonso Juventino Chay Canul

Co-director de Tesis

---

Dr. Edgar Aguilar Urquizo

Asesor de Tesis

---

Dr. Luis Eliezer Cruz Bacab

Asesor de Tesis



Conkal, Yucatán, México a 14 de diciembre de 2023.

## **DECLARATORIA DE PROPIEDAD**

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mi estudio de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Conkal. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.

Tomás Alexander  
Arbez Abnal

---

Tomás Alexander Arbez Abnal

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|  |     |
|--|-----|
| ÍNDICE DE CONTENIDO .....  | I   |
| ÍNDICE DE CUADROS .....  | III |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....  | V   |
| RESUMEN .....  | VII |
| ABSTRACT .....   | X   |
| I CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL .....   | 1   |
| 1.1 Introducción .....   | 1   |
| 1.2. Antecedentes .....  | 2   |
| 1.2.1. Producción cunícola mundial .....   | 2   |
| 1.2.2. Producción cunícola en México .....   | 5   |
| 1.2.3. Fisiología del crecimiento y desarrollo animal .....  | 6   |
| 1.2.4. Zona de termo-neutralidad (ZTN).....  | 9   |
| 1.2.5. Evaluación del crecimiento alométrico en conejos .....  | 10  |
| 1.3. Hipótesis .....   | 12  |
| 1.4. Objetivos .....   | 13  |
| 1.4.1. Objetivo general .....  | 13  |
| 1.4.2. Objetivos específicos.....  | 13  |
| 1.5. Procedimiento experimental .....  | 14  |
| 1.6. Literatura citada .....   | 18  |
| II. CAPÍTULO 2. Development of prediction equations to estimate carcass tissue composition in growing New Zealand White rabbits by shoulder and neck dissection..... | 26  |
| 2.1. Abstract:.....  | 26  |
| III. CAPÍTULO 3. ¿PUEDEN LAS MEDIDAS OSTEOMÉTRICAS PREDECIR EL PESO VIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL EN CONEJOS NUEVA ZELANDA BLANCA EN CRECIMIENTO? † .....       | 28  |
| 3.1. RESUMEN .....   | 28  |
| IV. CAPÍTULO 4. RELACIÓN ENTRE EL PESO VIVO, CONDICIÓN CORPORAL Y LA DISTRIBUCIÓN DE GRASA CORPORAL EN CONEJOS CON DIFERENTE ESTADO FISIOLÓGICO .....                | 30  |
| 4.1. Resumen.....  | 30  |

|  |    |
|--|----|
| V. Capítulo 5. Efecto del índice temperatura-humedad (ITH) sobre los parámetros productivos del conejo Nueva Zelanda Blanca en región tropical de México ..... | 32 |
| 5.1. Resumen.....  | 32 |

## ÍNDICE DE CUADROS

| <b>Cuadro</b> |   | <b>Página</b> |
|---------------|---|---------------|
| <b>1.1</b>    | Desempeño productivo en conejos Nueva Zelanda Blanca en crecimiento bajo diferentes condiciones ambientales.  | <b>11</b>     |
| <b>2.1</b>    | Descriptive statistics of the data set obtained from growing New Zealand White rabbits (n = 80).  | <b>41</b>     |
| <b>2.2</b>    | Simple and multiple regression equations to predict the carcass tissue composition of growing NZW rabbits.  | <b>42</b>     |
| <b>2.3</b>    | Evaluation of proposed models using <i>k</i> -Fold cross-validation.  | <b>43</b>     |
| <b>3.1</b>    | Estadística descriptiva del conjunto de datos de conejos NBZ en crecimiento (n= 113).   | <b>51</b>     |
| <b>3.2</b>    | Coeficiente de correlaciones entre el peso vivo, características de la canal y mediciones óseas de conejos NBZ en crecimiento.  | <b>54</b>     |
| <b>3.3</b>    | Ecuaciones de regresión para predecir el peso vivo y las características de la canal a través de mediciones óseas de conejos NZB en crecimiento.  | <b>55</b>     |
| <b>4.1</b>    | Estadística descriptiva de conejos NZB en puberales y adultos.  | <b>71</b>     |
| <b>4.2</b>    | Correlación de Pearson entre peso vivo (PV), condición corporal (CC) y tejido graso en conejos de pubertad y adultos (n = 33).  | <b>73</b>     |
| <b>5.1</b>    | Agrupación de las horas del índice temperatura-humedad (ITH): día (24 hrs), mañana-noche (1800 a 0800 h) y tarde (1000 a 1600 h) durante todo el periodo experimental (final invierno a primavera). | <b>97</b>     |
| <b>5.2</b>    | Media general por semana del índice temperatura-humedad (ITH) y los rasgos productivos obtenidos de los cuatros lotes de conejos NZB criados a final de invierno a primavera.                       | <b>98</b>     |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>5.3</b> | Rangos de la media del índice temperatura-humedad (ITH) y rendimiento productivo por lote de conejos Nueva Zelanda Blanca criados a finales de invierno y primavera. | <b>99</b> |
|------------|--|-----------|

## ÍNDICE DE FIGURAS

| <b>Figura</b> |   | <b>Página</b> |
|---------------|---|---------------|
| <b>1.1</b>    | Distribución mundial de producción de la carne de conejo en el 2016 (FAOSTAT, 2016: adaptado por Cullere y Dalle Zotte, 2018).  | <b>3</b>      |
| <b>1.2</b>    | (a) Principales países exportadores; (b) importadores de carne de conejo en 2018 según los datos del Banco Mundial (Adaptado de Wu, 2022).  | <b>4</b>      |
| <b>2.1</b>    | Slaughter intervals of growing New Zealand White rabbit.  | <b>38</b>     |
| <b>2.2</b>    | Graphical analysis of the input and output variables. Scatterplots, distributions, and correlation coefficients of carcass fat weight (CFW), carcass meat weight (CMW), carcass bone weight (CBW), shoulder weight (SW), shoulder meat (SM), shoulder bone (SB), neck weight (NW), neck meat (NM) and neck bone (NB). | <b>39</b>     |
| <b>2.3</b>    | Graphical representation of the stepwise process to choose the best models to estimate the carcass fat weight of growing New Zealand White rabbits (n = 80).  | <b>40</b>     |
| <b>3.1</b>    | Distribución de promedios longitudinales de huesos de extremidades anteriores y posteriores con desviación estándar del conejo NZB sacrificados.  | <b>52</b>     |
| <b>3.2</b>    | Distribución de promedios diametrales de huesos de extremidades anteriores y posteriores con desviación estándar del conejo NZB sacrificados.   | <b>53</b>     |
| <b>4.1</b>    | Acumulación regional del tejido graso de conejos NZB en pubertad (119 d) y adultez (196 d).   | <b>72</b>     |
| <b>5.1</b>    | Horario del índice temperatura-humedad en conejos NZB durante todo el periodo experimental (final invierno a primavera).  | <b>96</b>     |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| <b>5.2</b> | Fluctuación por semana del índice temperatura-humedad (ITH): día (24 hrs), mañana-noche (1800 a 0800 h) y tarde (1000 a 1600 h) durante los meses del periodo experimental.  | <b>98</b>  |
| <b>5.3</b> | Relación del ITH-tarde y el crecimiento del conejo NZB (a): “lote 1°” n=21; (b): “lote 2°” n=14; (c): “lote 3°” n=29; y (d): “lote 4°” n=18 criados bajo ambientes tropicales en México correspondiente.                           | <b>101</b> |
| <b>5.4</b> | Relación de la ganancia de peso diaria (GDP) con el ITH-tarde en conejos NZB del (a): “lote 1°” n=21; (b): “lote 2°” n=14; (c): “lote 3°” n=29; y (d): “lote 4°” n=18 criados bajo ambientes tropicales en México.                 | <b>103</b> |
| <b>5.5</b> | Relación del consumo de alimento diario (Consumo) con el ITH-tarde por semana en conejos NZB del (a): “lote 1°” n=21; (b): “lote 2°” n=14; (c): “lote 3°” n=29; y (d): “lote 4°” n=18 criados bajo ambientes tropicales en México. | <b>104</b> |
| <b>5.6</b> | Relación de la conversión alimenticia (CA) con el ITH-tarde en conejos NZB del (a): “lote 1°” n=21; (b): “lote 2°” n=14; (c): “lote 3°” n=29; y (d): “lote 4°” n=18 criados bajo ambientes tropicales en México.                   | <b>106</b> |

## RESUMEN

El crecimiento constante de la población a nivel mundial induce un aumento acelerado en la demanda de alimentos; ante esto, la participación de la cunicultura podría ser más importante por sus características productivas. Por otra parte, el desarrollo de la cunicultura en las regiones tropicales de México, está limitado por la falta de información con respecto al rendimiento productivo, lo que afecta negativamente la implementación de estrategias para los sistemas de producción y comercialización. El objetivo fue evaluar el efecto de las condiciones ambientales sobre las características de crecimiento del conejo Nueva Zelanda Blanca (NZB); para esto el trabajo se dividió en cuatro experimentos, con los siguientes objetivos: (1) Estimar la composición tisular a partir de cortes comerciales del brazuelo y cuello en conejos NZB en crecimiento; (2). Evaluar y generar ecuaciones a partir de la relación entre la osteometría de las extremidades; (3) Determinar la relación existente entre el peso vivo (PV), condición corporal (CC) y la distribución del tejido graso; (4) Evaluar el impacto del índice temperatura-humedad (ITH) sobre la productividad de conejos NZB. Para alcanzar los diferentes objetivos, se adquirieron 170 conejos NZB (85 hembras y 85 machos) con una edad promedio de  $35 \pm 7$  d, distribuidos en cuatro lotes, en función de la fecha de adquisición, los cuales fueron alojados individualmente con libre acceso al agua y alimento. Para el primer objetivo (Capítulo 2), se utilizaron 80 conejos, sacrificados en diferentes edades (14, 17, 20, 24 y 28 semanas), ocho hembras y ocho machos para cada fecha; con los siguientes pesos:  $1861 \pm 263$  g;  $2243 \pm 152$  g;  $2487 \pm 209$  g;  $2759 \pm 390$  g y;  $2939 \pm 366$  g, respectivamente. Se registraron el peso corporal (PV), del cuello, pecho-costillas, lomo, brazuelo y pierna; así como los tejidos cárnicos y óseos disecados. Se determinaron los pesos de grasa de la canal (PGC), carne en canal (PC en C) y huesos de la canal (PHC). Las ecuaciones generadas tuvieron un  $r^2$  0.72 a 0.88 para el PC en C y PHC en esta fase se concluye que las características del brazuelo tienen buena correlación con la composición tisular de la canal. En el segundo experimento (Capítulo 3), se utilizaron 113 conejos de siete edades (9, 11, 14, 17, 20, 24 y 28 semanas). Los datos obtenidos fueron PV, características de la canal: peso de la canal caliente (PCC) y cortes anatómicos (parte delantera, intermedia y trasera) y osteometría longitud y diámetro del húmero (LH y DH), radio-cúbito (LR-C y DR-C), fémur (LF y DF) y tibia-peroné (LT-P y DT-P). Las correlaciones entre PV,

características de la canal y las longitudes de huesos fueron mayores ( $r= 0.90 - 0.95$ ;  $p= < 0.0001$ ) comparado con los diámetros ( $r= 0.38 - 0.72$ ;  $p= < 0.0001$ ). En las ecuaciones de regresión entre PV y LR-C y LF, la raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RCCME) varió entre 186.86 y 197.70 g. Mientras que la RCCME del PCC con LH, LR-C y DH, fue entre 130.4 y 138.58 g. Con respecto a los cortes anatómicos, el orden progresivo de parte trasera, intermedia y delantera utilizando LF y LH fue RCCME= 21.66 a 25.67. La LF y LH explicaron el 92 y 91 % de la variación del PV y PCC. La osteometría de las extremidades es confiable para el desarrollo de ecuaciones para estimar la masa corporal del conejo. En el tercer experimento (Capítulo 4), se utilizaron 33 conejos destetados de la raza NZB, de los cuales se sacrificaron a los 119 y 196 d, 16 y 17 individuos respectivamente. Los datos registrados *ante-mortem* fueron PV y condición corporal (CC); y *post-mortem* la grasa de cavidad abdominal y subcutánea clasificándose en peri-renal (GP), gastro-intestinal (GGI), dorso-escapular (GDE) e inguinal-hipodérmicas (GIH); y el total de grasa corporal (TGC). El peso a 119 d fue 2243 g, mientras que a 196 d fue 2939 g, con una ganancia promedio de 22.3 g para el periodo del destete a los 119 d y de 9 g entre esta edad y 196 d. La CC fue de 1.94 y 2.64, mientras que TGC fue 3.6 y 5.1 % para 119 y 196 d, respectivamente; únicamente el TGC presentó correlaciones elevadas en conejos NZB 119 y 196 d. Para cumplir el cuarto experimento (Capítulo 5), se evaluaron los datos de conejos NZB recién destetados a una edad  $35 \pm 7$  días, con un total de 82 conejos. Peso inicial  $369 \pm 111$  g. El experimento se realizó entre febrero y mayo del 2020. Los conejos ingresaron en cuatro fechas distintas. Se estimó el ITH en diferentes momentos del día, semana y mes y, se relacionó con el PV, GDP, consumo, y conversión alimenticia (CA); entre las 6 y 14 semanas de edad, por lote. Se observaron seis horas críticas de estrés calórico de 10:00 a 16:00 h, con ITH entre 25.9 y 32.6. El peso final fue 2 kg, con media de GDP 25 g, consumo 91 g y CA 3.9. El primer lote, experimentó un menor nivel de estrés calórico y tuvo mejores indicadores productivos durante su crecimiento; mientras que el cuarto lote, mostró el menor comportamiento productivo, dado que su periodo de crianza fue durante la más calurosa. En conclusión, diferentes niveles ITH (10:00 a 16:00 h) en la transición de los meses menos cálidos a los más cálidos del periodo experimental (febrero a mayo), generaron un incremento en el estrés calórico, lo que tuvo un impacto negativo en los parámetros productivos de los conejos NZB. Las características anatómicas del brazuelo y cuello

muestran buenas correlaciones con la composición de la canal de los conejos NZB, lo que permite predecir con precisión la composición del tejido de la canal en conejos de 14 a 28 semanas de edad. Además, la longitud del fémur y/o del húmero resulta útil para predecir el peso corporal y las características de la canal en conejos NZB de 9 a 28 semanas de edad. La relación entre el peso, la condición corporal y la distribución de grasa en distintas regiones anatómicas también presenta correlaciones significativas, especialmente en las áreas de las grasas dorso-escapular e inguinal-hipodérmicas.

## ABSTRACT

The constant growth of the world population is leading to an accelerated increase in food demand; in response, rabbit farming (cuniculture) could become more important due to its productive characteristics. However, the development of rabbit farming in the tropical regions of Mexico is hindered by a lack of information regarding productive performance, negatively impacting the implementation of strategies for production and marketing systems. The objective was to evaluate the effect of environmental conditions on the growth characteristics of New Zealand White (NZB) rabbits. The study was divided into four experiments with the following objectives: (1) Estimate tissue composition from commercial cuts of the shoulder and neck in growing NZB rabbits; (2) Evaluate and generate equations based on the relationship between limb osteometry; (3) Determine the relationship between live weight (LW), body condition (BC), and fat tissue distribution; (4) Evaluate the impact of the temperature-humidity index (THI) on the productivity of NZB rabbits. To achieve these objectives, 170 NZB rabbits (85 females and 85 males) with an average age of  $35 \pm 7$  days were acquired and distributed into four batches based on the acquisition date. They were individually housed with free access to water and food. For the first objective (Chapter 2), 80 rabbits were used, sacrificed at different ages (14, 17, 20, 24, and 28 weeks), eight females and eight males for each date, with the following weights:  $1861 \pm 263$  g;  $2243 \pm 152$  g;  $2487 \pm 209$  g;  $2759 \pm 390$  g; and  $2939 \pm 366$  g, respectively. Body weight (BW) of the neck, chest-ribs, loin, shoulder, and hind limb were recorded, as well as dissected meat and bone tissues. Weights of carcass fat (CFC), meat in carcass (MIC), and carcass bones (CB) were determined. The generated equations had an  $r^2$  of 0.72 to 0.88 for MIC and CB. In this phase, it is concluded that the characteristics of the shoulder have a good correlation with the tissue composition of the carcass. In the second experiment (Chapter 3), 113 rabbits of seven ages (9, 11, 14, 17, 20, 24, and 28 weeks) were used. The data obtained were BW, carcass characteristics: hot carcass weight (HCW), and anatomical cuts (front, middle, and rear) and osteometry (length and diameter of the humerus (LH and DH), radio-ulna (LR-U and DR-U), femur (LF and DF), and tibia-fibula (LT-F and DT-F)). Correlations between BW, carcass characteristics, and bone lengths were higher ( $r= 0.90 - 0.95$ ;  $p= < 0.0001$ ) compared to diameters ( $r= 0.38 - 0.72$ ;  $p= < 0.0001$ ). In regression equations between BW

and LR-U and LF, the root mean square error (RMSE) varied between 186.86 and 197.70 g. Meanwhile, the RMSE of HCW with LH, LR-U, and DH was between 130.4 and 138.58 g. Regarding anatomical cuts, the progressive order of rear, middle, and front using LF and LH was RMSE= 21.66 to 25.67. LF and LH explained 92 and 91% of the variation in BW and HCW. Limb osteometry is reliable for developing equations to estimate rabbit body mass. In the third experiment (Chapter 4), 33 weaned NZB rabbits were used, of which 16 and 17 individuals were sacrificed at 119 and 196 days, respectively. The pre-mortem data recorded were BW and body condition (BC); and post-mortem abdominal and subcutaneous fat, classified as peri-renal (PRA), gastro-intestinal (GIA), dorso-scapular (DSA), and inguinal-hypodermic (IHA); and total body fat (TBF). The weight at 119 days was 2243 g, while at 196 days it was 2939 g, with an average gain of 22.3 g for the weaning to 119 days period and 9 g between this age and 196 days. BC was 1.94 and 2.64, while TBF was 3.6 and 5.1% for 119 and 196 days, respectively; only TBF showed high correlations in NZB rabbits at 119 and 196 days. To carry out the fourth experiment (Chapter 5), the data of newly weaned NZB rabbits at an age of  $35 \pm 7$  days were evaluated, totaling 82 rabbits. Initial weight was  $369 \pm 111$  g. The experiment was conducted between February and May 2020. The rabbits entered on four different dates. The Temperature-Humidity Index (THI) was estimated at different times of the day, week, and month, and was correlated with live weight (LW), daily weight gain (DWG), consumption, and feed conversion (FCR) between 6 and 14 weeks of age, per batch. Six critical hours of heat stress were observed from 10:00 to 16:00 h, with THI ranging from 25.9 to 32.6. The final weight was 2 kg, with an average DWG of 25 g, consumption of 91 g, and FCR of 3.9. The first batch experienced a lower level of heat stress and had better productivity indicators during its growth, while the fourth batch showed the lowest productivity, as its breeding period was during the hottest months. In conclusion, different THI levels (10:00 to 16:00 h) during the transition the experiment (February to May) from cooler to warmer months led to an increase in heat stress, negatively impacting the productive parameters of NZB rabbits. The anatomical characteristics of the shoulder and neck show good correlations with the composition of the carcass of NZB rabbits, allowing for accurate prediction of the tissue composition of the carcass in rabbits from 14 to 28 weeks of age. Additionally, the length of the femur and/or humerus is useful for predicting body weight and carcass characteristics in NZB rabbits from 9 to 28 weeks of age.

The relationship between weight, body condition, and fat distribution in different anatomical regions also presents significant correlations, especially in the areas of dorsoscapular and inguinal-hypodermic fat.

# I CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

## 1.1 Introducción

La producción de carne de conejo es una alternativa económica tanto para sistemas intensivos como familiares o de traspatio. En los sistemas intensivos, las conejas pueden tener entre seis y diez partos por año, dependiendo del programa reproductivo, con seis a ocho crías destetadas. Por otra parte, en los sistemas familiares o de traspatio el número de partos por año es menor; así como, la cantidad de crías destetadas. La menor productividad se debe entre otras causas, a un manejo inadecuado de la nutrición y al potencial genético de los animales (Ortiz-Hernández y Rubio-Lozano, 2001)

Así, la explotación de conejos para carne es una actividad factible desde el punto de vista económico y productivo, por su rápido crecimiento, alojamiento en espacios reducidos, facilidad de manejo, docilidad y en ciertas circunstancias de alimentación no compite por materias primas relacionadas con la alimentación de otras especies zootécnicas y el ser humano (El-Sabrou, 2018; Cullere y Dalle Zotte, 2018). Esto, dadas sus características fisiológicas relacionadas con el consumo y procesamiento de los alimentos, lo que permite alimentarlos casi exclusivamente con follajes. Por otra parte, la carne del conejo tiene un elevado porcentaje de magrez y en consecuencia un menor contenido de colesterol, con respecto a la carne de otras especies animales (Dalle Zotte y Cullere, 2019). Además, se puede obtener un aprovechamiento integral del animal al momento de sacrificio y, sus excretas pueden ser utilizadas como abono en diversos cultivos.

Sin embargo, los conejos son muy sensibles al estrés por calor y, cuando el índice de temperatura y humedad (ITH) es superior a 28, los animales salen de su zona termo-neutral y se afecta de manera diversa el comportamiento productivo de los animales ((Marai *et al.*, 2005). Entre otros aspectos, se observa reducción en el consumo de alimento y la tasa de crecimiento; en las hembras reproductivas, disminuye la fertilidad y, se incrementa el número de abortos y muerte embrionaria y fetal (Attia *et al.*, 2009; El-Sabrou, 2018). En consecuencia, la crianza de conejos durante los meses más cálidos tanto en regiones tropicales como en las zonas templadas, disminuye su productividad.

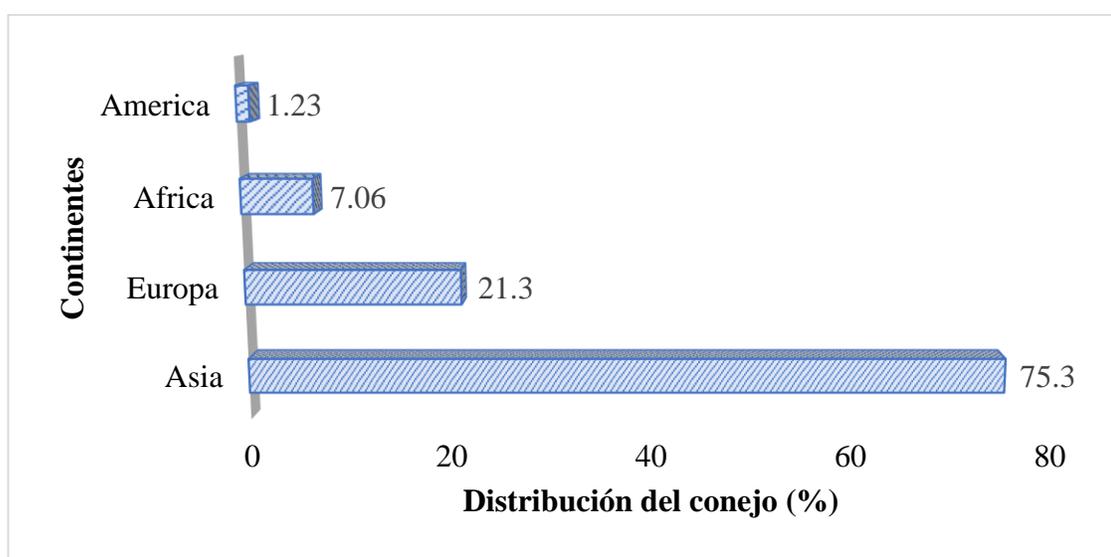
En México, las principales razas de conejos destinadas a la producción de carne son: la Nueva Zelanda Blanco (NZB) y California (Ortiz-Hernández y Rubio-Lozano, 2001; ARBA, 2019). Otras razas se utilizan con fines de investigación y para mascotas. Con respecto al consumo de carne de conejo a nivel global, es mayor en los países asiáticos y los del mediterráneo, mientras que en los países de América Latina su consumo *per-capita* es menor a 500 g al año. Ante esta situación, la mayor cantidad de información referente a los aspectos zootécnicos y sanitarios procede principalmente de los países europeos. Por lo que se requiere generar mayor cantidad de información técnica-científica relacionada con el crecimiento y el comportamiento productivo de los conejos NZB en las regiones tropicales con climas cálidos, con la finalidad de poder estimar los requerimientos nutricionales y optimizar su productividad.

## **1.2. Antecedentes**

### **1.2.1. Producción cunícola mundial**

La producción de carne para la alimentación de los seres humanos a partir de los animales domésticos, se limita a unas cuantas especies de rumiantes, no rumiantes y aves; la mayoría de estas especies es de origen europeo y los países asiáticos. Entre estas especies se encuentra el conejo (*Oryctolagus cuniculus*), considerada una especie de reciente domesticación, inicialmente se utilizó para la producción de carne, posteriormente se aprovechó su piel con propósitos textiles y artesanales; con el advenimiento de la investigación médica en el siglo XIX se ha utilizado como animal de laboratorio y dada su docilidad también se utiliza como mascota. Más allá de las utilidades secundarias, la carne de esta especie es considerada de excelente calidad cuando se compara con la carne de otras especies productivas, debido al gran valor nutricional que representa como menor cantidad de grasa saturada, calorías, sodio y gran aporte de aminoácidos esenciales (Delis-Hechavarria *et al.*, 2021). La cunicultura se remonta a épocas ancestrales; sin embargo, el proceso de intensificación es más reciente y se inició en los países del Mediterraneo europeo (Cullere y Dalle Zotte, 2018). En la actualidad, las razas más comunes para la producción de carne son: Nueva Zelanda, California, Chinchilla, Mariposa, Rex y Gigante de Flandes (BRC, 2016; ARBA, 2019).

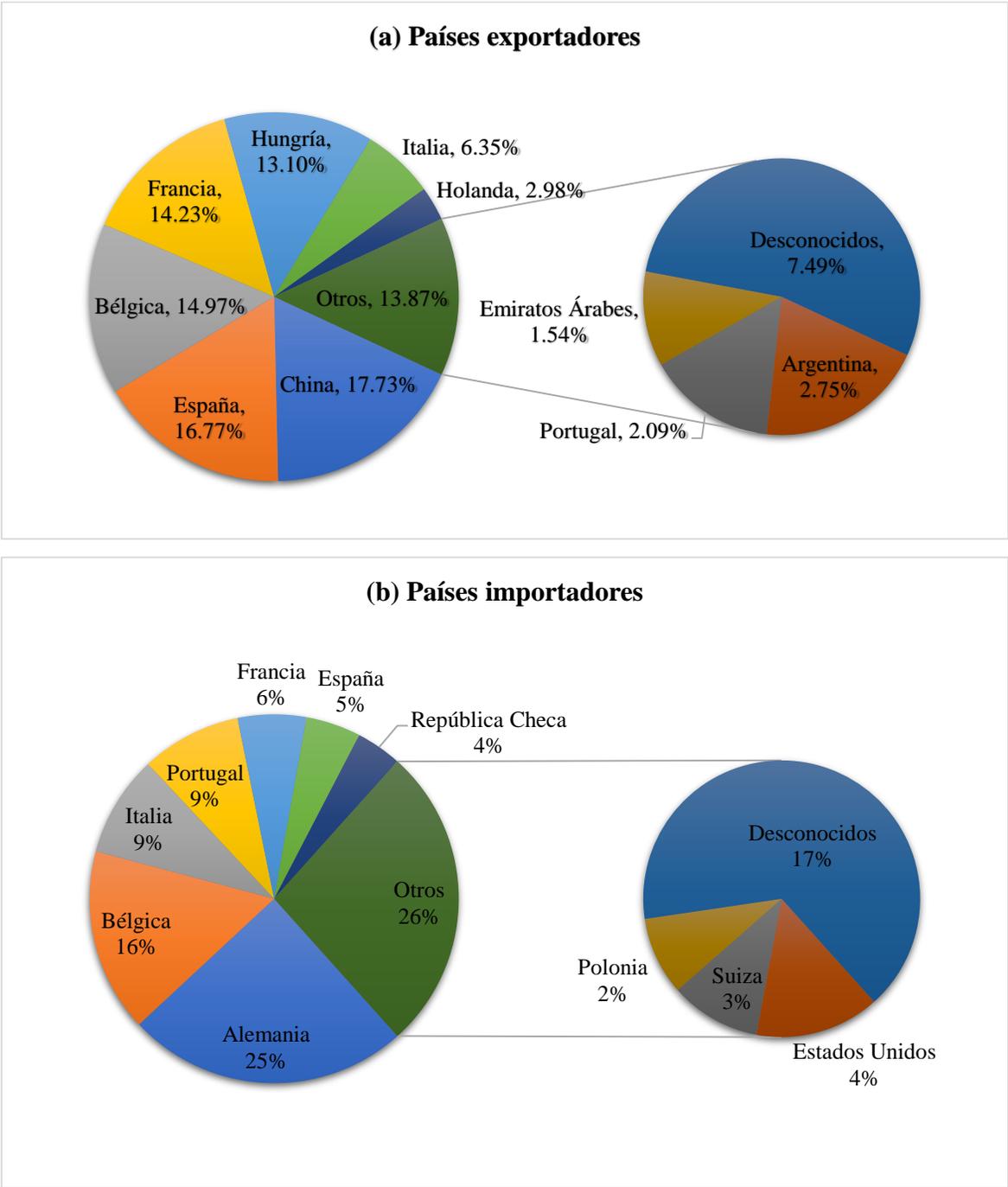
La mayor producción de carne de conejos durante gran parte el siglo XX, procedía de los países europeos del mediterráneo. No obstante, en las últimas tres décadas este panorama cambió y los países del continente Asiático son los principales productores (Wu, 2022); así, en 2016 los países asiáticos tenían casi tres cuartas partes de la distribución de conejos (Figura 1.1). Los países con mayor inventario cunícola son: China, Corea del Norte, Italia, España y Egipto (Dorning y Harris, 2017). Entre estos, en 2018 China, se destacó con la mayor producción de carne de conejos en el ámbito mundial con un total de 858,560 t; si bien, en España se observó el mayor consumo *per-cápita* con 1.109 kg (Wu, 2022).



**Figura 1.1.** Distribución mundial de producción de la carne de conejo en el 2016 (FAOSTAT, 2016: adaptado por Cullere y Dalle Zotte, 2018).

En el comercio mundial de la carne de conejo en 2018 (Banco Mundial), destacaron como exportadores principales China, España y Bélgica y, los principales importadores Alemania, Bélgica e Italia (Figura 1.2). Con respecto al continente americano, Estados Unidos fue el principal importador de carne de conejo adquiriendo alrededor de 1280 t y Argentina el principal exportador con 924 t (Wu, 2022). Con base en lo anterior, se presenta la oportunidad para los países de América Latina para cubrir el mercado EEUU, o bien, exportar al mercado europeo. Por otra parte, la crianza de conejos en estos países presenta serias amenazas como son las condiciones climatológicas y disponibilidad de tecnología

adecuada para la producción a gran escala. A pesar de lo anterior, la crianza de conejos es una alternativa para la seguridad alimentaria de la región (FAO, 2021).



**Figura 1.2.** (a) Principales países exportadores; (b) importadores de carne de conejo en 2018 según los datos del Banco Mundial (Adaptado de Wu, 2022).

### 1.2.2. Producción cunícola en México

México ocupa el séptimo lugar en producción y sexto como consumidor de carne a nivel mundial (Estévez-Moreno y Miranda-de la Lama, 2022). A raíz de esto, el consumo de carne de conejo en el país es alrededor de 140 g *per cápita*. Por ello, la producción de carne de conejo, en el año 2018 alcanzó las 18,000 t y el valor de la producción fue \$ 1,406 millones de pesos mexicanos (MXN), aportando el 0.24 % del PIB; aunque la exportación es incipiente. A pesar de esto, en el ámbito mundial, México ocupa el noveno lugar en producción de conejos (SENASICA, 2021). Ante este hecho, el país denota un potencial para el desarrollo productivo de la carne de conejo, situación que podría tener como objetivo promover un flujo mayor del producto al mercado interno y externo. La comercialización nacional está dirigida esencialmente a la venta directa de canal entera, seguido de cortes; y por último de subproductos procesados como embutidos percederos y dietas alimenticias destinadas a otras especies domésticas y silvestres en cautiverio (Cullere y Dalle Zotte, 2018; Szendrő *et al.*, 2020; Pérez-Olmos y Aguilar-Rivera, 2021). El valor del kilogramo de carne de conejo en el mercado nacional fluctúa entre \$ 70 y 80 MXN (Estévez-Moreno y Miranda-de la Lama, 2022).

La mayoría de las explotaciones cunícolas en el país son de tipo familiar o de traspatio, caracterizadas por una limitada disposición de tierras, mano de obra e inversión. En este tipo de explotaciones la alimentación es con forrajes nativos y subproductos del huerto con limitado uso de alimentos comerciales y, por otra parte, las instalaciones se construyen con materiales del entorno (Clavel *et al.*, 2004; Cruz-Bacab *et al.*, 2012; Daszkiewicz *et al.*, 2012). Los sistemas semi-intensivo e intensivo con particularidades de infraestructura bien diseñadas, alimentación balanceada y tecnología para potencializar la producción y rentabilidad (Papa *et al.*, 2013; El-Sabroun, 2018), representan la menor proporción de explotaciones, pero son más productivas. Por otra parte, en décadas recientes se están fomentando los sistemas de producción orgánico en donde se favorecen la engorda en pequeños corrales en lugar de jaulas, considerando con notoriedad el bienestar animal (Szendrő *et al.*, 2010; Dorning y Harris, 2017; Delis-Hechavarria *et al.*, 2021).

La producción cunícola se ubica principalmente en los estados del centro del país en donde el clima templado es predominante y más confortable para la crianza de conejos

(Ortiz-Hernández y Rubio-Lozano, 2001; Juárez-Silva *et al.*, 2019). No obstante, en las últimas décadas el sureste mexicano ha estado fomentando su crianza de forma relevante (Cruz-Bacab *et al.*, 2012), esto, promovido por el consumo de la carne en forma tradicional ancestral (Szendrő *et al.*, 2020; Estévez-Moreno y Miranda-de la Lama, 2022) y la continua llegada del turismo en la región (Pérez-Olmos y Aguilar-Rivera, 2021). Sin embargo, una limitante en la eficiencia productiva para estas regiones son el rol negativo de las condiciones ambientales calurosas que ejercen con mayor amplitud durante el año (Marai *et al.*, 2005; El-Sabrou, 2018).

La raza NZB es la más utilizada a nivel nacional (Ortiz-Hernández y Rubio-Lozano, 2001; Clavel *et al.*, 2004; Juárez-Silva *et al.*, 2019), por sus virtudes y cualidades que atraen al productor como son: la conformación anatómica que desarrollan a temprana edad (Kołodziejczyk *et al.*, 2016), etapa reproductiva (Sakthivel *et al.*, 2017), óptima habilidad materna, docilidad y fácil adaptación ambiental (Marai *et al.*, 2005; El Rahman, 2012; ARBA, 2019). No obstante, sus parámetros productivos son un poco inquietantes debido a la variación que demuestran en las diferentes explotaciones asentadas a nivel regional.

### **1.2.3. Fisiología del crecimiento y desarrollo animal**

Tanto el crecimiento como el desarrollo son procesos a nivel celular que requieren de la hiperplasia (aumento del número de las células) e hipertrofia (aumento en el tamaño de las células) de los tejidos estructurales y blandos; estos procesos implican el aumento en la talla y peso, así como la diferenciación celular; es importante considerar que los diversos órganos y tejidos presentan un crecimiento y desarrollo diferencial o alométrico en las diferentes etapas: embrional, fetal y postnatal (Von Bertalanffy 1938; Randriamandratondrakotonirina *et al.*, 2016). Huxley en 1932 propuso el concepto de crecimiento alométrico y determinó que se trata del aumento dimensional de las características o componentes corporales, los cuales muestran una desviación positiva o negativa, con respecto al valor de referencia del peso o tamaño del cuerpo en general (Gould, 1971; Lande, 1985). Asimismo, estos cambios a nivel morfológicos, fisiológicos e histológicos están marcados fuertemente por la genética (Cantier *et al.*, 1969; Papa *et al.*, 2013), sexo (Papa *et al.*, 2013; Kołodziejczyk *et al.*, 2016), condiciones ambientales, alimentación y actividades físicas (El-Sabrou, 2018).

Los órganos abdominales y torácicos tienen un patrón de crecimiento prematuro con respecto a las otras estructuras anatómicas (Pascual *et al.*, 2008; North *et al.*, 2018; Martínez-Bas *et al.*, 2018) e inician su proceso de crecimiento y desarrollo en la etapa fetal (proceso ontogénico). Algunos de ellos, como el hígado y riñón alcanzan rápidamente su tamaño maduro en un periodo corto después del nacimiento (Pascual *et al.*, 2008; Martínez-Bas *et al.*, 2018). En la etapa neonatal hasta la pubertad se tiene un desarrollo y madurez temprano, esto representa en los animales adultos alrededor del 20 a 30 % del peso corporal vacío (Daszkiewicz *et al.*, 2012; Candelaria-Martinez *et al.*, 2021). Algo que pudiese afectar la fluctuación del crecimiento neonatal es el tamaño de la camada que limita la disponibilidad de los nutrientes de la leche (Sampaio *et al.*, 2005). Por lo que, en conejos lactantes, los órganos digestivos que tienen mayor tamaño son el estómago e intestino delgado; conforme inician el consumo de alimento sólido, aumenta proporcionalmente el tamaño del ciego e intestino grueso, e inicia la producción de cecotrofos (Carabaño *et al.*, 2010). La fisiología digestiva es completamente funcional después del destete, cuando la función enzimática y de absorción de los nutrientes, así como la colonización microbiana del tracto se realiza completamente (Rommers *et al.*, 2006). Por ello, si hay una reducción de los niveles de nutrientes (proteínas, carbohidratos, minerales, vitaminas y agua) en el estado alimenticio post-destete restringe la metabolización de las biomoléculas que forman los tejidos corporales.

Durante la etapa fetal los sistemas nervioso y sanguíneo son los primeros en formarse y madurar (Cantier *et al.*, 1969); posteriormente se forman las estructuras que darán origen al sistema óseo (Sharir *et al.*, 2011; Cooper, 2019). Este último sistema está relacionado con la hematopoyesis (Carabaño *et al.*, 2010), protección de los tejidos y órganos blandos, ensamblaje de estructuras como tendones, ligamentos y músculos con la finalidad de dar sostén y conformación corporal (Wang y Mao, 2002; Sharir *et al.*, 2011; Felsenthal y Zelzer, 2017). La formación del tejido óseo requiere de los cartílagos que se originan a partir de células condrocíticas, posteriormente serán sustituidas por la condensación progresiva de los osteocitos (matriz ósea), osteoblastos (calcificación ósea) y osteoclastos (reabsorción ósea) que promueven la osificación endocondral e intramembranosa a través de la acumulación de minerales (Wang y Mao, 2002; Sharir *et al.*, 2011; Felsenthal y Zelzer, 2017).

En la etapa post-natal, el crecimiento y desarrollo del esqueleto está asociado con la longitud y grosor de los huesos, y termina poco después de la pubertad (Stern *et al.*, 2015); si bien, los diversos huesos tienen diferentes velocidades de crecimiento (Sharir *et al.*, 2011; Cooper, 2019). Algunas de los componentes del esqueleto que expresan crecimiento acelerado son: el cráneo y los huesos largos de las extremidades (Deltoro y López, 1988; Pinheiro *et al.*, 2011). En parte, por el espacio que requiere el encéfalo (Gould, 1971; Lande, 1985) y la movilidad física (Wang y Mao, 2002; Sharir *et al.*, 2011). Además, en los huesos se insertan los tejidos tendinarios y soportan la masa muscular, adquiriendo una madurez temprana con respecto a otros tejidos (Deltoro y Lopez, 1985; Hernández *et al.*, 1996).

La formación del tejido músculo esquelético durante la etapa embrionaria está determinada primariamente por la replicación de células mesenquimáticas, que dan lugar a la formación de los mioblastos, miocitos, fibroblastos y miofibras (Felsenthal y Zelzer, 2017). Para el periodo neonatal hasta la adultez el crecimiento y desarrollo de músculo esquelético se debe al aumento del diámetro de las fibras musculares. Estos cambios se detonan por el aumento de mitocondrias en las fibras musculares  $\alpha W$  por acción del gasto energético (movimientos mecánicos) dando la formación de fibras  $\alpha R$  ricas en mioglobina (El-Sabrou, 2018). Asimismo, las miofibras del tipo IIA demuestran un cambio a tipo IIB generando hipertrofia muscular (Bianospino *et al.*, 2008). Constituido por gran cantidad de aminoácidos esenciales y no esenciales (Dalle Zotte y Szendro, 2011; Nasr *et al.*, 2017). Estas modificaciones del tejido muscular reafirman la ubicación de los grupos musculares ejercidas por acciones motrices (Felsenthal y Zelzer, 2017). La concentración del tejido músculo esquelético corresponde aproximadamente al 40 % del total del peso corporal.

Algunos cambios importantes de los rasgos musculares evaluados en conejos jóvenes, sugieren que las razas de talla grande exhiben menor porcentaje de fibras musculares en el *longissimus dorsi* con respecto a las razas de talla mediana (Tůmová *et al.*, 2014), en las hembras tiene mayor dimensión este músculo, probablemente asociado con el sostén del útero gestante (Deltoro y Lopez, 1985). Por otra parte, los músculos de las extremidades se desarrollan rápidamente (Deltoro y López, 1988; Szendrő *et al.*, 2016). En el conejo silvestre tiene mayor crecimiento muscular en las extremidades posteriores con respecto a las razas especializadas en la producción de carne (Paci *et al.*, 2012); asimismo, los machos tienen un

mayor crecimiento y desarrollo muscular (Cantier et al., 1969) sugiriéndose que ellos aportan esta característica a través de sus genes a su descendencia (Szendrő *et al.*, 2010).

Los tejidos tegumentario y adiposo, tienen un crecimiento gradual indefinido (Dalle Zotte y Cullere, 2019). La hiperplasia e hipertrofia del tejido adiposo, es provocado con gran impulso por aspectos genéticos y nutricionales, aumenta a partir de la pubertad y, puede mantenerse durante toda la vida del individuo (Pascual *et al.*, 2008). Los adipocitos en los conejos están constituidos por triglicéridos compuestos por ácidos grasos monoinsaturados, poliinsaturados y una reducida proporción de ácidos grasos saturados (Dalle Zotte y Szendro, 2011; Cullere y Dalle Zotte, 2018). El tejido adiposo se distribuye principalmente en: subcutáneo (Brahmantiyo *et al.*, 2010; Gouda y Shemeis, 2014), abdominal (Hernández *et al.*, 1996; Gouda y Shemeis, 2014), intramuscular (Ortiz-Hernández y Rubio-Lozano, 2001) e intermuscular (Pinheiro *et al.*, 2011; North *et al.*, 2018) y, la formación se da en ese orden.

#### **1.2.4. Zona de termo-neutralidad (ZTN)**

Las principales condiciones ambientales que desequilibran el confort de los conejos en los diferentes sistemas de producción son la temperatura (T) y humedad relativa (HR) elevadas, así como su interacción; utilizando estas variables ambientales se desarrolló el índice de temperatura y humedad (ITH), el cual se modifican en función de la hora del día y de la época del año; Marai *et al.* (2005) modificaron la fórmula para adaptarla a los conejos:

$$ITH = T_{bs} - [(0.31 - (0.0031 HR)] * (T_{bs} - 14.4)$$

Dónde:  $T_{bs}$  = Temperatura del bulbo seco en °C; HR = humedad relativa en %

Por otra parte, los conejos tienen una cantidad limitada de glándulas sudoríparas que complica la termo-regulación en condiciones ambientales calurosas (Cullere y Dalle Zotte, 2018). La ZTN, está localizada entre T de 15 a 18 °C y con una HR entre 55 a 65 % (El-Sabrou, 2018). El ITH de la zona de confort para los conejos es menor o igual a 28, por arriba de este índice, los animales empiezan a manifestar signos de estrés por calor, mientras mayor valor tenga el índice, mayor severidad tendrá el estrés por calor (Marai *et al.*, 2005; Attia *et al.*, 2009). El primer reflejo negativo que se aprecia, es la disminución del consumo de alimentación (Attia *et al.*, 2009) debido al calor que emite el cuerpo durante la digestión

(Cullere y Dalle Zotte, 2018) llevando así un desbalance del crecimiento proporcional de los compuestos tisulares en los animales (Marai *et al.*, 2005; Sakthivel *et al.*, 2017). Aquí podemos apreciar algunas afecciones en los parámetros productivos generadas en diferentes entornos ambientales (Cuadro 1.1).

### 1.2.5. Evaluación del crecimiento alométrico en conejos

Inicialmente la aplicación de modelos dinámicos para generar la curva de crecimiento en el conejo cárnico fue a través de las ecuaciones de Huxley (Cantier *et al.*, 1969; Deltoro y López, 1985). Donde se considera a la longitud o peso corporal como variable independiente o de referencia central (Randriamandrakotonirina *et al.*, 2016)

Cantier *et al.* (1969), describió las fórmulas logarítmicas propuestas por Huxley en 1932:

$$1^{\circ} \rightarrow y = bx^a \quad 2^{\circ} \rightarrow \log y = a \log x + \log b \quad 3^{\circ} \rightarrow \frac{dy}{y} / \frac{dx}{x} = a$$

Se han utilizado diversos modelos matemáticos (lineales y no lineales) para caracterizar el crecimiento del animal, entre los cuales destacan los elaborados por: Huxley; Brody, Von Bertalanffy, Logístico, Gompertz y Richards. Algunos de estos pueden estar acompañados con análisis de regresión para determinar del gran volumen datos consecutivos con ciertos parámetros predispuestos. Los modelos de Richards y Gompertz son considerados los más adecuados en los modelos animales poblacionales, ya que brindan mayor confiabilidad en sus resultados (Brahmantiyo *et al.*, 2010; Setiaji *et al.*, 2013; Teleken *et al.*, 2017), todos estos modelos tratan de explicar e interpretar el crecimiento alométrico en las diferentes etapas de vida. Sin embargo, sus aplicaciones de manera general entre razas e híbridos para fines cárnicos son controversiales.

El análisis no lineal de Gompertz es el más utilizado en conejos de diferentes razas (Maj *et al.*, 2009; Papa *et al.*, 2013; Setiaji *et al.*, 2013) e híbridas (Brahmantiyo *et al.*, 2010;), En particular, en la raza NZB parece ser más apropiado que el modelo Von Bertalanffy (Şengül *et al.*, 2018), aunque las condiciones externas pudieran cambiar la elección del modelo (Sampaio *et al.*, 2005). Esto se observa en crías bajo climas tropicales húmedos, el cual se sugiere utilizar el modelo Logístico (Orheruata *et al.*, 2010).

**Cuadro 1.1.** Desempeño productivo en conejos Nueva Zelanda Blanca en crecimiento bajo diferentes condiciones ambientales.

| Ambiente (temperatura y humedad)                                    | Raza      | Sexo   | Peso vivo (g)                                 | Edad (sems) | Ganancia diaria de peso (g d <sup>-1</sup> )       | Consumo diario alimento (g d <sup>-1</sup> ) | Conversión alimenticia (g de alimento por g de ganancia) | Autores y país                                    |
|---|-----------|--------|---|-------------|--|--|--|---|
| Tropical Sub-húmedo (26 °C)   | NZB       | Ambos  | 6= 275<br>12= 2597                            | 6-12        | 28.7   | 158.2  | 5.51   | (Candelaria-Martínez <i>et al.</i> , 2021) México |
| Tropical cálido (26 °C y 85 %)                                      | NZB x Cal | Ambos  | 550-1100 a<br>2228-2424                       | 6-13        | 30   | 100  | 3.33   | (Paul y Lallo, 2014) Trinidad y Tobago            |
| Tropical húmedo (28 °C)   | NZB       | Ambos  | 475 a 2101                                    | 5-13        | 29   | 84   | 2.89   | (Sánchez-Laiño <i>et al.</i> , 2018) Ecuador      |
| Clima seco o árido (18 °C)  | NZB       | Ambos  | 4= 527<br>6= 1152<br>8= 1638<br>10=1935       | 4-10        | 4-6= 44.6<br>6-8= 34.7<br>8-10= 21.3<br>4-10= 33.5 |  |  | (Nasr <i>et al.</i> , 2017) Egipto                |
| Clima desértico cálido (32 °C y 54 %)                               | NZB       | Ambos  | 4= 478<br>4-8= 810<br>9-12= 533<br>4-12= 1343 | 4-12        | 4-8= 28.9<br>9-12= 25.4<br>4-12= 23.9              | 4-8= 126.2<br>9-12= 192<br>4-12= 135.1       | 4-8= 4.36<br>9-12= 7.56<br>4-12= 5.65                    | (Attia <i>et al.</i> , 2009) Egipto               |
| Clima desértico cálido (30.7 °C y 62 %)                             | NZB       | Machos | 5= 578<br>9= 1818                             | 5-9         | 19.5   | 89   | 4.56   | (Marai <i>et al.</i> , 2005) Egipto               |
| Clima de sub-templada o tierras altas sub-tropicales (15 °C y 75 %) | NZB       | Ambos  | 6= 706<br>10= 1260<br>19= 2145                | 6-19        | 6-10= 19.8<br>10-19= 13.5<br>6-19= 15.5            |  |  | (Sakthivel <i>et al.</i> , 2017) India            |
| Clima oceánico templado (8.7 °C y 79 %)                             | NZB       | Ambos  | 6= 990<br>14= 2500                            | 6-14        | 6-14= 23.6   |  | 6-14= 4.18   | (Maj <i>et al.</i> , 2009) Polonia                |

### **1.3. Hipótesis**

La curva de crecimiento en conejos de raza Nueva Zelanda Blanca en condiciones tropicales no se ajusta a los parámetros de crecimiento de esta raza cuando el sistema de producción se realiza en la zona de confort, por consiguiente, tanto la talla como la proporción grasa-musculo-hueso es menor en aproximadamente 20 %, dado que el efecto del estrés por calor afecta negativamente tanto el consumo como la conversión alimenticia.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar el crecimiento en conejos de la raza Nueva Zelanda Blanca, criados bajo condiciones de clima tropical sub-húmedo ( $A_{w0}$ ) mediante el estudio de los componentes tisulares a diferentes edades al sacrificio a partir del destete y hasta las 28 semanas de edad con la finalidad generar la o las ecuaciones de predicción que más se ajusten al modelo de la curva de crecimiento.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Estimar la composición tisular de la canal de conejos Nueva Zelanda Blanca en crecimiento a través de los cortes comerciales del brazuelo y cuello (peso y pesos de carne y hueso).
- Evaluar la relación entre osteometría de las extremidades, peso vivo (PV), peso de la canal caliente (PCC) y cortes anatómicos; y generar ecuaciones para predecir PV, PCC y cortes anatómicos en conejos Nueva Zelanda Blanca (NZB) a diferentes edades.
- Determinar la relación existente entre el peso vivo, la condición corporal y la distribución del tejido graso en conejos de la raza Nueva Zelanda Blanca (NZB) en dos estados fisiológicos.
- Evaluar el impacto del índice temperatura-humedad (ITH) sobre la productividad de conejos criados en región tropical de México.

## **1.5. Procedimiento experimental**

### **Sitio experimental**

El experimento se realizó en la unidad de producción e investigación agrícola y pecuaria del Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, México, ubicada a 21° 05´ LN y 89° 32´ LO, a 8 msnm; con una temperatura media anual de 26°C y clima Aw<sub>0</sub> (García, 1981).

### **Animales experimentales**

Se utilizaron 170 conejos de la raza NZB procedentes de una granja local, con 35±7 d al destete, peso promedio inicial 382±112 g machos (n= 85) y 356±109 g hembras (n= 85). Se alojaron de manera individual en jaulas conejeras (90 × 60 × 40 cm) modificando el espacio vital en función de su tamaño corporal, dejando 0.135 m<sup>2</sup> para los destetes y en los animales mayores de 1.5 kg el espacio fue de 0.27 m<sup>2</sup>. Disponían de comedero (anti pérdidas capacidad 1 kg) y bebedero individual (tipo chupón). El fotoperiodo y la ventilación fue el de las condiciones de la explotación.

Manejo: Se siguió la guía de legislación actual y recomendaciones sobre “Principios de cuidado ético, directrices y códigos de prácticas para animales utilizados en trabajos experimentales” de la Norma Oficial Mexicana, NOM-062-ZOO-1999, y el código de ética del campus Conkal del TecNM. Al momento de la recepción de los gazapos se desparasitaron con un coccidiostático (Coccitrak® 5%) en suspensión oral 15 mg/kg PV.

### **Diseño experimental**

Los animales fueron asignados según un diseño de bloques completamente al azar, considerando como bloque el mes de inicio (febrero y marzo del 2020). El alimento utilizado fue el alimento comercial para conejos (Provi conejina®: 88% materia seca, 17% proteína cruda, 11% fibra cruda, 2% grasa y 11% cenizas). La edad al sacrificio de los animales fue al destete (5 semanas), y posteriormente a las 7, 9, 11, 14, 17, 20, 24 y 28 semanas; el sacrificio se realizó cumpliendo la NOM-033-SAG/ZOO-2014 “Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres”. Para cada fecha se sacrificaron dos machos y dos hembras por bloque.

## **Variables evaluadas**

### **Desempeño productivo**

Se midió el consumo de alimento (consumo) se estimó con base en la diferencia entre el ofrecido y rechazado, los cambios de peso se registraron cada semana utilizando una báscula digital con capacidad de 10 kg/1 g Rhino® (BAPO-10; China). La conversión alimenticia (CA) se estimó con base en el alimento consumido a la semana y la ganancia de peso (GP).

### **Condición corporal**

La puntuación de la condición corporal (CC) se evaluó utilizando cinco valores de escala 0, 1, 2, 3 y 4 antes de cada sacrificio, mediante palpación manual, según lo descrito por Cardinali *et al.* (2008).

### **Características y composición de la canal**

Conforme fueron alcanzando la edad programada, se pesaron y sacrificaron los conejos previamente ayunados (12 h antes). Después del sacrificio se desangraron a través de las venas yugulares y carótidas y recolectó la sangre para ser pesado. Luego, se retiró el contenido lleno del tracto gastrointestinal y vejiga para su pesaje por separado, con el propósito de obtener el dato del peso corporal vacío (PCV). Después se separó la piel, cola, patas, tracto gastrointestinal y urinario vacío, para medir solamente el peso de canal caliente (PCC) entre 15-30 min, también registraron el peso de las partes separadas y luego el peso de la canal fría (PCF) a temperatura de 3 °C (24 h post-mortem). Seguidamente para obtener el peso de la canal de referencia (PCR) se retiró la cabeza (corte entre el occipucio y vertebra del atlas), hígado, riñones (sin grasa perirenal), tráquea, esófago, pulmón, timo y corazón (pesados estos órganos), con motivo de comparar las canales de otros países. Con base a esto, se sacaron las siguientes proporciones: porcentaje de retacería o despojo ( $100 \times \text{PCR}/\text{peso vivo}$ ); porcentaje de la cabeza ( $100 \times \text{peso de la cabeza}/\text{PCR}$ ); porcentaje de hígado ( $100 \times \text{peso del hígado}/\text{PCR}$ ); porcentaje de riñón ( $100 \times \text{peso de riñón}/\text{PCR}$ ); conjunto de porcentaje de vísceras torácicas ( $100 \times \text{tráquea, esófago, pulmón timo y corazón}/\text{PCR}$ ).

En la canal se midieron:

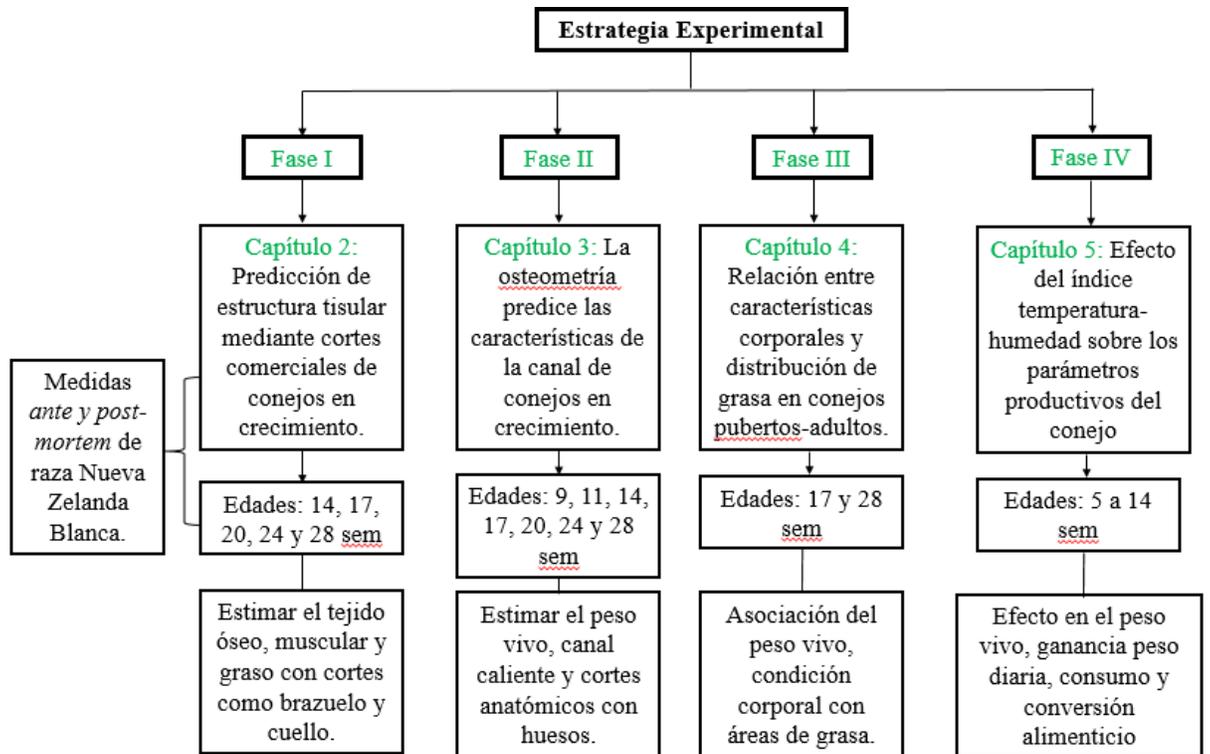
- o Longitud dorsal (LD) considerado como el intervalo entre la vértebra atlas y la séptima vértebra lumbar.
- o Longitud del muslo (LM) como el intervalo entre la séptima vértebra lumbar y la parte distal de isquion.
- o Longitud de la canal (LC) se calculó como la suma de los datos de la longitud dorsal y la longitud del muslo.
- o Circunferencia lumbar (CL) como la circunferencia de la canal a nivel de la séptima vértebra lumbar, de tal manera que estas mediciones se hicieron con cinta métrica (Pascual *et al.*, 2008).

Contenido de grasa subcutánea, dividida en los siguientes depósitos: dorso-escapular, inguinal (las capas de grasa que cubren el *Longissimus thoracis* y el área inguinal) e hipodérmicas (el resto de la grasa subcutánea; como la parte inferior de la pared abdominal externa.). El contenido de grasa abdominal que rodea los riñones (perirenal) y la visceral. La grasa total fue la sumatoria de dichos depósitos (Blasco y Ouhayoun, 1996) y el porcentaje de grasa disecada se obtuvo a partir de la siguiente formula ( $100 \times$  peso de grasa disecable de la canal de referencia/PCR).

La canal se dividió por la línea media, utilizando la mitad izquierda para evaluar el peso de los cortes comerciales: cuello (C) del Atlas hasta la última vértebra cervical; pecho y costillas (P-C) de la primera vértebra torácica a la primera lumbar; lomo (L) se incluyó la región lumbar y la pared abdominal; brazuelo (B) incluyó los músculos de inserción en el tronco en la región torácica hasta el carpo; pierna (P) del hueso sacro (coxal) hasta el tarso. Se determinó el porcentaje de cada corte con base en el PCR.

En cada corte comercial se realizó la disección del músculo y hueso, se determinó la proporción por corte y el total de carne en la canal y se expresó como porcentaje del PCR.

Se determinó la osteometría (longitud y diámetro) del: fémur, tibia y peroné, húmero y, radio y cúbito, utilizando un calibrador digital Truper® (CALDI-6MP:14388; Estados Unidos) con precisión 0.01 mm (Deltoro y López, 1988; Szendrö *et al.*, 2010).



## 1.6. Literatura citada

- ARBA (American Rabbit Breeders Association). 2019. Recognized Breeds 2019. <https://arba.net/recognized-breeds/>
- Attia, Y. A., Al-Hanoun, A., and Bovera, F. 2009. Effect of different levels of bee pollen on performance and blood profile of New Zealand White bucks and growth performance of their offspring during summer and winter months. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 95: 17-26.
- Bianospino, E., Moura, A. S. A. M. T., Wechsler, F. S., Fernandes, S., and Dal-Pai-Silva, M. 2008. Age-related changes in muscle fiber type frequencies and cross-sectional areas in straightbred and crossbred rabbits. *animal*, 2: 1627-1632. doi: <https://doi.org/10.1017/S1751731108002759>
- Blasco, A., and Ouhayoun, J. 1996. Harmonization of criteria and terminology in rabbit meat research. Revised proposal. *World Rabbit Sci.* 4: 93-99. doi: 10.4995/wrs.1996.278
- Brahmantiyo, B. R. A. M., Raharjo, Y. C., Martojo, H., and Mansjoer, S. S. 2010. Performa Produksi Kelinci Rex, Satin dan Persilangannya. *JITV.* 15: 131-137.
- BRC (The British Rabbit Council). 2016. Breed standards 2016 – 2020. 4th edition 2016. pp. 141-142. <http://www.thebrc.org/>
- Candelaria-Martinez, B., Chiquini-Medina, R. A., Angulo-Balán, O. G., Ramírez-Bautista, M. A., Cuervo-Osorio, V. D., Quetz-Aguirre, E. M., and Bañuelos, C. F. 2021. Productive parameters and carcass yield of rabbits supplemented with *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit., and *Guazima ulmifolia* Lam. Foliage. *Agroproductividad*, 14: 3-8. <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i1.1708>
- Cantier, J., Vezinhet, A., Rouvier, R., Dautzier, L., Bouthier, E., Bressot, C., ... and Scheller, M. C. 1969. Allométrie de croissance chez le lapin (*Oryctolagus cuniculus*). i.— principaux organes et tissus. In *Annales de Biologie Animale Biochimie Biophysique* (Vol. 9, No. 1, pp. 5-39). EDP Sciences.
- Carabaño, R., Piquer, J., Menoyo, D., and Badiola, I. 2010. The digestive system of the rabbit. *Nutrition of the Rabbit.* 1-18.

- Cardinali, R., Dal Bosco, A., Bonanno, A., Di Grigoli, A., Rebollar, P. G., Lorenzo, P. L., and Castellini, C. 2008. Connection between body condition score, chemical characteristics of body and reproductive traits of rabbit does. *Livest. Sci.* 116: 209-215. doi: 10.1016/j.livsci.2007.10.004
- Cooper, K. L. 2019. Developmental and evolutionary allometry of the mammalian limb skeleton. *Integr. Comp. Biol.* 59: 1356-1368.
- Clavel, C., Hernández, E., Herrera, J., Hernández, V., and Hernández, D. (2004). Small cuniculture family farms on the south coast of Guerrero State, Mexico. In Proc.: 8th World Rabbit Congress, Puebla, Mexico. 7-10 September (pp. 146-1470).
- Cruz-Bacab, L., Sandoval-Castro, C., and Pantoja-Nuñez, G. 2012. Use of solar and social perception of domestic rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) in two rural communities of the state of Yucatán, México. <https://world-rabbit-science.com/WRSA-Proceedings/Congress-2012-Egypt/Papers/04-Management/M-Cruz-Bacab.pdf>
- Cullere, M., and Dalle Zotte, A. 2018. Rabbit meat production and consumption: State of knowledge and future perspectives. *Meat Sci.* 143: 137-146. doi: 10.1016/j.meatsci.2018.04.029
- Dalle Zotte, A., and Cullere, M. 2019. Carcass Traits and Meat Quality of Rabbit, Hare, Guinea Pig and Capybara. In *More than Beef, Pork and Chicken—The Production, Processing, and Quality Traits of Other Sources of Meat for Human Diet*. Springer, Cham. pp. 167-210. doi: 10.1007/978-3-030-05484-7\_7
- Dalle Zotte, A., and Szendrő, Z. 2011. The role of rabbit meat as functional food. *Meat Sci.* 88: 319-331. doi: 10.1016/j.meatsci.2011.02.017
- Daszkiewicz, T., Gugolek, A., Janiszewski, P., Kubiak, D., and Czoik, M. 2012. The effect of intensive and extensive production systems on carcass quality in New Zealand White rabbits. *World Rabbit Sci.* 20: 25-33. doi: 10.4995/wrs.2012.945
- Delis-Hechavarria, E. A., Guevara-Gonzalez, R. G., Ocampo-Velazquez, R. V., Gomez-Soto, J. G., Vargas-Hernandez, M., Parola-Contreras, I., and Torres-Pacheco, I. (2021). Functional Food for Rabbits. *Current Approaches and Trends to Increase*

- Functionality. *Food Reviews International*, 1-18. Doi: <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1939711>
- Deltoro, J., and López, A. M. 1988. Allometric growth patterns of limb bones in rabbits. *Anim. Sci. J.* 46: 461-467. [http://journals.cambridge.org/abstract\\_S0003356100019073](http://journals.cambridge.org/abstract_S0003356100019073)
- Deltoro, J., and Lopez, A. M. 1985. Allometric changes during growth in rabbits. *J. Agric. Sci.* 105: 339-346. doi: 10.1017/S0021859600056392
- Dimitrova, I., Bozhilova-Sakova, M., and Velikov, K. 2015. Comparative study of some production traits in Vesselina, New Zealand White and Californian rabbits breeds. *Bulg. J. Agric. Sci.* 21: 1285-1288.
- Dorning, J., and Harris, S. 2017. The welfare of farmed rabbits in commercial production systems. *A Scientific Review.* 1-27.
- El Rahman, H. A., Elagib, H. A., and Babiker, S. A. 2012. Reproductive performance, meat chemical composition and quality of Sudan Baladi, New Zealand White and California rabbit breeds. *Asian J Anim Sci*, 6: 47-50. doi: 10.3923/ajas.2012.47.50
- El-Sabrou, K. 2018. Effect of rearing system and season on behaviour, productive performance and carcass quality of rabbit: a review. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 6: 102-108. doi: 10.31893/2318-1265jabb.v6n4p102-108
- Estévez-Moreno, L. X., and Miranda-de la Lama, G. C. (2022). Meat consumption and consumer attitudes in México: Can persistence lead to change?. *Meat Science*, 193, 108943. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108943>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2021. Mesoamérica sin Hambre AMEXCID-FAO. Noticias y eventos. <http://www.fao.org/in-action/mesoamerica-sin-hambre/noticias-eventos/detail-events/es/c/1419144/>
- FAOSTAT. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-datos) 2018. The Statistics Division of the FAO. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>

- FAOSTAT (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-datos) 2016. [www.fao.org/faostat/en](http://www.fao.org/faostat/en) (accessed 6 December 2016).
- Felsenthal, N., and Zelzer, E. 2017. Mechanical regulation of musculoskeletal system development. *Development*, 144: 4271-4283. doi: 10.1242/dev.151266
- García E. 1981. Modifications to the Köppen climate classification system. To adapt it to the conditions of the Mexican Republic. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México (DF) pp. 217.
- Gould, S. J. 1971. Geometric similarity in allometric growth: a contribution to the problem of scaling in the evolution of size. *Am. Nat.* 105 942: 113-136. doi: 10.1086/282710
- Gouda, G. F., and Shemeis, A. R. 2014. Prediction of body fatness from body measurements in New Zealand White rabbits. *Egypt. J. Anim. Prod.* 51: 210-215.
- Hernández, P., Pla, M., and Blasco, A. 1996. Prediction of carcass composition in the rabbit. *Meat Sci.* 44: 75-83. doi: 10.1016/S0309-1740(96)00078-2
- Juárez-Silva, M. E., Cuchillo-Hilario, M., and Villarreal-Delgado, E. 2019. Dietary supplementation of inulin or flavomycin and type of cut of rabbit meat: changes on fatty acid profile and sensorial characteristics. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 10: 552-570. doi: 10.22319/rmcp.v10i3.4714
- Kołodziejczyk, D., Majkowski, P., Gontarz, A., Steć, A., Gacek, L., and Socha, S. 2016. Statistical analysis of conformation traits of New Zealand White rabbits in a breeding farm. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*, 19: 137-139. doi: 10.15414/afz.2016.19.si.137-139
- Lande, R. 1985. Genetic and evolutionary aspects of allometry. In *Size and scaling in primate biology*. Springer, Boston, MA. pp. 21-32. doi: 10.1007/978-1-4899-3647-9\_2
- Maj, D., Bieniek, J., Łapa, P., and Sternstein, I. 2009. The effect of crossing New Zealand White with Californian rabbits on growth and slaughter traits. *Arch. Tierz.* 52: 205-211. doi: 10.5194/aab-52-205-2009, 2009.

- Marai, I. F. M., Habeeb, A. A. M., and Gad, A. E. 2005. Tolerance of imported rabbits grown as meat animals to hot climate and saline drinking water in the subtropical environment of Egypt. *J. Anim.* 81: 115-123.
- Martínez-Bas, A. M., Kessler, M., and Armero, E. 2018. Relative growth in rabbits: the effects of genetic line, diet and gender. *World Rabbit Sci.* 26: 201-207. doi: 10.4995/wrs.2018.7435
- Nasr, M. A., Abd-Elhamid, T., and Hussein, M. A. 2017. Growth performance, carcass characteristics, meat quality and muscle amino-acid profile of different rabbits breeds and their crosses. *Meat Sci.* 134: 150-157. doi: 10.1016/j.meatsci.2017.07.027
- North, M. K., Dalle Zotte, A., and Hoffman, L. C. 2018. The effects of quercetin supplementation on New Zealand White grower rabbit carcass and meat quality—A short communication. *Meat Sci.* 145: 363-366. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.07.014>
- Orheruata, A. M., Nwokoro, S. O., Oyekpen, E., and Ojo, A. E. (2010). Modeling the growth of rabbits raised in humid climate for improved breeding. *African Journal of Agricultural Research*, 5(22), 3126-3129.
- Ortiz-Hernández, J. and Rubio-Lozano, M. 2001. Effect of breed and sex on rabbit carcass yield and meat quality. *World Rabbit Sci.* 9: 51-56. doi: 10.4995/wrs.2001.445
- Paci, G., Cecchi, F., Preziuso, G., Ciampolini, R., and D'Agata, M. 2012. Carcass traits and meat quality of two different rabbit genotypes. *Ital. J. Anim. Sci.* 11: 249-252. doi: 10.4081/ijas.2012.e45
- Papa, L., Kume, K., and Llambiri, A. 2013. Comparing study of productive characteristics of local Rabbit breed and F1 crossbreds (Californian line (♂) × Albanian local Rabbit breed (♀)) rearing in traditional and improved system. *Bulg. J. Agric. Sci.* 19: 806-809.
- Paul, A., and Lallo, C. H. (2014). The performance of growing rabbits fed a commercial concentrate with different forages under humid tropical conditions. *Trop. Agric*, 41(3216), 030173-06.

- Pascual, M., Pla, M., and Blasco, A. 2008. Effect of selection for growth rate on relative growth in rabbits. *J. Anim. Sci.* 86: 3409-3417. doi: 10.2527/jas.2008-0976
- Pérez-Olmos, K. N., and Aguilar-Rivera, N. (2021). Agritourism and sustainable local development in Mexico: a systematic review. *Environment, Development and Sustainability*, 23(12), 17180-17200. doi: 10.1007/s10668-021-01413-0
- Pinheiro, V., Outor-Monteiro, D., Silva, S., Silva, J., and Mourão, J. L. 2011. Growth performance, carcass characteristics and meat quality of growing rabbits housed in cages or open-air park. *Arch. Tierz.* 54: 625-635. doi: 10.5194/aab-54-625-2011
- Randriamandratondrakotonirina H. N. F. A., Rakotozandriny J. N., and Randriampenhaja A. R. J. 2016. "Growth Allometry among the Rabbit of Amoron i Mania." *Univers. J. Agric. Res.* 4.2: 48-52. doi: 10.13189/ujar.2016.040203
- Rommers, J. M., Maertens, L., and Kemp, B. 2006. 1.3. New perspectives in rearing systems for rabbit does. *Recent Advances in Rabbit Sciences*, 39-51.
- Sakthivel, M., Balasubramanyam, D., Kumarasamy, P., Gopi, H., Raja, A., Anilkumar, R., and Devaki, A. 2017. Estimates of (co) variance components and genetic parameters for body weights and growth efficiency traits in the New Zealand white rabbit. *World Rabbit Sci.* 25: 329-338. doi: 10.4995/wrs.2017.7057
- Sampaio, I. B. M., Ferreira, W. M., and Bastos, A. F. (2005). The use of a stochastic model of rabbit growth for culling. *World Rabbit Science*, 14(2). doi:10.4995/wrs.2005.525
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria- Sistema de Inteligencia Sanitaria) 2021. Situación actual de la Enfermedad Hemorrágica del Conejo (VEHC2) en México y EUA. [https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/infografias/anml/ehvc/info\\_evhc\\_MexicoEUA.pdf](https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/infografias/anml/ehvc/info_evhc_MexicoEUA.pdf). Actualización al 13 de agosto de 2021.
- Sánchez-Laiño, A., Torres-Navarrete, E. D., Buste-Castro, F., Barrera-Álvarez, A. E., and Sánchez-Torres, J. (2018). Tropical forages as a dietary alternative in fattening rabbits

- (*Oryctolagus cuniculus* L.). *Acta Agronómica*, 67(2). doi: 10.15446/acag.v67n2.59220
- Şengül, T., Çelik, Ş., Taysi, M., and Söğüt, B. 2018. Beyaz Yeni Zelanda Tavşanlarında Büyüme Eğrilerinin Karşılaştırılması. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5: 509-515. doi: 10.30910/turkjans.4713
- Setiaji, A., Sutopo, S., and Kurnianto, E. 2013. Growth analysis in rabbit using Gompertz non-linear model. *J. Indones. Trop. Anim. Agric.* 38: 92-97. doi: 10.14710/jitaa.38.2.92-97
- Sharir, A., Stern, T., Rot, C., Shahar, R., and Zelzer, E. 2011. Muscle force regulates bone shaping for optimal load-bearing capacity during embryogenesis. *Development*, 138: 3247-3259. doi: 10.1242/dev.063768
- Stern, T., Aviram, R., Rot, C., Galili, T., Sharir, A., Achrai, N. K., ... and Zelzer, E. 2015. Isometric scaling in developing long bones is achieved by an optimal epiphyseal growth balance. *PLoS Biol.* 13: e1002212. doi: 10.1371/journal.pbio.1002212
- Szendrő, K., Szabó-Szentgróti, E., and Szigeti, O. (2020). Consumers' attitude to consumption of rabbit meat in eight countries depending on the production method and its purchase form. *Foods*, 9(5), 654. doi: <https://doi.org/10.3390/foods9050654>
- Szendrő, K., Szendrő, Z. S., Gerencsér, Z. S., Radnai, I., Horn, P., and Matics, Z. S. 2016. Comparison of productive and carcass traits and economic value of lines selected for different criteria, slaughtered at similar weights. *World Rabbit Sci.* 24: 15-23. doi: 10.4995/wrs.2016.3684
- Szendrő, Z., Matics, Z., Gerencsér, Z., Nagy, I., Lengyel, M., Horn, P., and Dalle Zotte, A. 2010. Effect of dam and sire genotypes on productive and carcass traits of rabbits. *J. Anim. Sci.* 88: 533-543. doi: 10.2527/jas.2009-2045
- Teleken, J. T., Galvão, A. C., and Robazza, W. D. S. (2017). Comparing non-linear mathematical models to describe growth of different animals. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 39, 73-81. doi: 10.4025/actascianimsci.v39i1.31366

- Tůmová, E., Bízková, Z., Skřivanová, V., Chodova, D., Martinec, M., and Volek, Z. 2014. Comparisons of carcass and meat quality among rabbit breeds of different sizes, and hybrid rabbits. *Livest. Sci.* 165: 8-14. doi: 10.1016/j.livsci.2014.04.019
- Von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II). *Hum. Biol.* 10: 181-213. <https://www.jstor.org/stable/41447359>
- Wang, X., and Mao, J. J. 2002. Chondrocyte proliferation of the cranial base cartilage upon in vivo mechanical stresses. *J. Dent. Res.* 81: 701-705. doi: 10.1177/154405910208101009
- Wu, L. (2022). Rabbit meat trade of major countries: regional pattern and driving forces. *World Rabbit Science*, 30(1), 69-8

## **II. CAPÍTULO 2. Development of prediction equations to estimate carcass tissue composition in growing New Zealand White rabbits by shoulder and neck dissection.**

**Artículo publicado en:** Journal of Animal and Feed Sciences. 31(3):276–282

**Disponible en:** <https://doi.org/10.22358/jafs/149978/2022>

T.A. Arbez-Abnal<sup>1</sup>, J.R. Sanginés-García<sup>1</sup>, A.T. Piñeiro-Vázquez<sup>1,\*</sup>, E. Aguilar-Urquizo<sup>1</sup>,  
J.C. Ángeles-Hernandez<sup>2</sup>, E. Vargas-Bello-Pérez<sup>3</sup> and A.J. Chay-Canul<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico de Conkal, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Conkal, 97345, Yucatán, México

<sup>2</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Tulancingo de Bravo, 43600, Hidalgo, México

<sup>3</sup> University of Copenhagen, Faculty of Health and Medical Sciences, Department of Veterinary and Animal Sciences, Grønnegårdsvej 3, DK-1870 Frederiksberg C, Denmark

<sup>4</sup> Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Agropecuarias, Villahermosa, 86280, Tabasco, Mexico

\* Corresponding author: e-mail: [angel.pineiro@itconkal.edu.mx](mailto:angel.pineiro@itconkal.edu.mx)

### **2.1. Abstract:**

The objective of this study was to determine the tissue composition of the carcass of growing New Zealand White rabbits through the shoulder and neck traits (weight, meat and bone weights). Live weight and characteristics from dissected meat and bone tissues (neck, breast, rib, loin, shoulder, and leg) of 80 rabbits were recorded. The total weights of the carcass tissue contents (carcass fat weight: CFW, carcass meat weight: CMW, and carcass bone weight: CBW) were calculated. Correlation and regression analyses were implemented. The shoulder (SW) and neck weights (NW), the weights of shoulder meat (SM) bone (SB)

and neck meat (NM) were correlated ( $P < 0.0001$  and  $< 0.001$ ) with CMW and CBW. The best equations obtained and analyzed through validation with k-folds to predict CMW involved SW, NW and NM had good value predictive ( $r^2 = 0.88$  to  $0.90$ ). While for CBW the SM, SB, and NW were used with an acceptable value in the prediction ( $r^2 = 0.73$ ). Equations for CFW were poorly related ( $r^2 = \leq 0.54$ ). In conclusion, the weights of the pieces and tissue contents of the shoulder and neck can predict with good estimation the total meat and bone of growing New Zealand White rabbits.

**Keywords:** prediction equations, carcass performance, commercial cuts, dissection, growing rabbits, tissue structures

### III. CAPÍTULO 3. ¿PUEDEN LAS MEDIDAS OSTEOMÉTRICAS PREDECIR EL PESO VIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL EN CONEJOS NUEVA ZELANDA BLANCA EN CRECIMIENTO? †

Artículo publicado en: Tropical and Subtropical Agroecosystems 25 (2022): #123

Disponible en: <http://doi.org/10.56369/tsaes.4241>

**T. A. Arbez-Abnal<sup>1</sup>, J. R. Sanginés-García<sup>1</sup>, A. T. Piñeiro-Vazquez<sup>1</sup>, E. Aguilar-Urquizo<sup>1</sup> and A. J. Chay-Canul<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Conkal. Avenida Tecnológico s/n Conkal, Yucatán, C.P. 97345.

<sup>2</sup>División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carr. Villahermosa-Teapa, km 25, CP 86280. Villahermosa, Tabasco, México. Email: [alfonso.chay@ujat.mx](mailto:alfonso.chay@ujat.mx)

\* Corresponding author

#### 3.1. RESUMEN

**Antecedentes:** La identificación y relación entre los rasgos particulares y general corporal del conejo ayuda en el entendimiento del crecimiento biológico y la aplicación en diferentes áreas de estudio pecuaria y veterinaria. **Objetivo.** Evaluar la relación entre osteometría de las extremidades, peso vivo (PV), peso de la canal caliente (PCC) y cortes anatómicos; y generar ecuaciones para predecir PV, PCC y cortes anatómicos en conejos Nueva Zelanda Blanca (NZB) a diferentes edades. **Metodología.** Se utilizaron un total de 113 conejos de siete edades diferentes (9, 11, 14, 17, 20, 24 y 28 semanas). Los datos obtenidos fueron PV, características de la canal: PCC y cortes anatómicos (parte delantera, intermedia y trasera); y osteometría: longitud y diámetro del húmero (LH y DH), radio-cúbito (LR-C y DR-C), fémur (LF y DF) y tibia-peroné (LT-P y DT-P). La información se analizó por medio de los coeficientes de correlación de Pearson (r) y por modelos de regresión lineal

y múltiple. La precisión de los modelos se evaluó mediante los coeficientes de determinación ( $r^2$ ) y la raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RCCME). **Resultados.** Las correlaciones expresadas entre PV, características de la canal y las longitudes de huesos fueron mayores ( $r= 0.90 - 0.95$ ;  $p= < 0.0001$ ) comparado con los diámetros ( $r= 0.38 - 0.72$ ;  $p= < 0.0001$ ). Las ecuaciones de regresión para PV tuvieron un RCCME que vario de 186.86 a 197.70 g utilizando LR-C y LF. Mientras para el PCC presentó RCCME de 130.4 a 138.58 g con LH, LR-C y DH. Con respecto a los cortes anatómicos, el orden progresivo de parte trasera, intermedia y delantera utilizando LF y LH fue RCCME= 21.66 a 25.67. La LF y LH explicaron el 92 y 91 % de la variación del PV y PCC, aunque disminuyó ligeramente en los cortes anatómicos de 85 a 92 %. **Implicaciones.** La osteometría de las extremidades refleja seguridad en la aplicación de ecuaciones para calcular datos generales y particulares de masa corporal en el conejo, este aporte de conocimiento se puede extrapolar para estudios arqueozoológicos y veterinaria forense. **Conclusión.** Las estrechas asociaciones obtenidas entre longitudes de extremidades (excepción LT-P) con el PV, PCC y cortes anatómicos dieron ecuaciones con alta capacidad de precisión para estimar dichos cambios corporales del conejo NZB en crecimiento.

**Palabras claves:** Peso corporal; Cortes anatómicos; Extremidades anteriores-posteriores; Ecuaciones de predicción; Estimar.

## IV. CAPÍTULO 4. RELACIÓN ENTRE EL PESO VIVO, CONDICIÓN CORPORAL Y LA DISTRIBUCIÓN DE GRASA CORPORAL EN CONEJOS CON DIFERENTE ESTADO FISIOLÓGICO

### Artículo borrador:

Arbez-Abnal TA<sup>1</sup>, Sanginés-García JR<sup>1</sup>, Piñeiro-Vazquez AT<sup>1</sup>, Aguilar-Urquizo E<sup>1</sup> y Chay-Canul AJ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Conkal. Avenida Tecnológico s/n Conkal, Yucatán, C.P. 97345.

<sup>2</sup>División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carr. Villahermosa-Teapa, km 25, CP 86280. Villahermosa, Tabasco, México.

\*correo de correspondencia: \_\_\_\_\_

### 4.1. Resumen

Conocer las relaciones entre las particularidades corporales del conejo criado en condiciones tropicales, es fundamental para la toma de decisiones técnico-productiva en la cunicultura. El experimento abarcó un total de 33 conejos destetados de la raza Nueva Zelanda Blanca. Estos fueron dispuestos en jaulas individuales para ser alimentados con dieta comercial. Cuando cumplieron la juventud (119 d) y adultez (196 d) se sacrificaron aleatoriamente 16 y 17 individuos (hembras/machos). Los datos registrados *ante-mortem* fueron peso vivo (PV) y condición corporal (CC); y *post-mortem* la grasa de cavidad abdominal y subcutánea clasificándose en peri-renal (GP), gastro-intestinal (GGI), dorso-escapular (GDE) e inguinal-hipodérmicas (GIH); y el total de grasa corporal (TGC). Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva y correlación de Pearson. El promedio PV en juventud fue 2243 g, pero en la adultez alcanzó 2939 g, lo que representa un incremento del 31 % de PV. Los promedios de CC fueron de 1.94 y 2.64 en la juventud y adultez, respectivamente. El TGC fue 3.6 y 5.1 % en juventud y adultez. Del total de tejido graso medido, mostró proporciones del 12.5 y 12.6 % GDE; 15 y 14 % GIH; 30 y 32.7 % GP; y 42.5 y 41.3 % GGI en juventud y adultez. Todas las correlaciones fueron significativas ( $p < 0.05$ ) en ambos estados

fisiológicos Las relaciones encontradas entre las características corporales (PV, CC y TGC) y la distribución adiposa (GDE, GIH, GP y GGI) fueron de 0.51 a 0.96. Las mejores correlaciones para el PV y TGC fueron la región adiposa de la cavidad abdominal (GP y GGI) con  $r= 0.66-0.78$  y  $0.93-0.96$ . Para la CC fue la región adiposa subcutánea (GDE y GIH) con  $r= 0.73-0.77$ . Se concluye que las características de la región adiposa de la cavidad y subcutánea están correlacionadas baja y moderada con PV y CC. Únicamente el TGC presentó correlaciones altas en conejos Nueva Zelanda Blanca en 119 y 196 d.

**Palabras claves:** Correlación, tejido adiposo, raza Nueva Zelanda Blanca, juventud y adultez, clima tropical.

## **V. Capítulo 5. Efecto del índice temperatura-humedad (ITH) sobre los parámetros productivos del conejo Nueva Zelanda Blanca en región tropical de México**

### **Artículo borrador:**

**Arbez-Abnal TA<sup>1</sup>, Sanginés-García JR<sup>1</sup>, Piñeiro-Vazquez AT<sup>1</sup>, Aguilar-Urquizo E<sup>1</sup> y Chay-Canul AJ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Conkal. Avenida Tecnológico s/n Conkal, Yucatán, C.P. 97345.

<sup>2</sup>División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carr. Villahermosa-Teapa, km 25, CP 86280. Villahermosa, Tabasco, México.

**\*correo de correspondencia:** \_\_\_\_\_

### **5.1. Resumen**

El estudio se realizó para caracterizar y evaluar el impacto del índice temperatura-humedad (ITH) sobre la productividad de conejos criados en región tropical de México. Se evaluaron cuatro lotes de conejos de la raza Nueva Zelanda Blanca (NZB), recién destetados a una edad  $35 \pm 7$  días, con un total de 82 conejos. Los pesos vivos (PV) iniciales de los lotes variaron: 1°=  $385 \pm 97$  g; 2°=  $330 \pm 112$  g; 3°=  $378 \pm 103$  g; y 4°=  $394 \pm 95$  g. Los animales se alojaron en jaulas individuales en un galpón con condiciones ambientales naturales. El experimento abarcó los meses de final de invierno a primavera. Se caracterizó el ITH en diferentes momentos del día, semana y mes. También, se identificando el ITH, PV, la ganancia de peso diaria (GDP), el consumo de alimento (consumo), y la conversión alimenticia (CA) en conejos de 6 a 14 semanas de edad, por lote. Durante todo el periodo experimental, se observaron seis horas críticas de estrés calórico que correspondían de 10:00 a 16:00 h (tarde) que va del rango de ITH-tarde= 25.9 a 32.6. Esto influyó en los conejos en obtener alrededor

de un PV final 2 kg, con media de GDP 25 g, consumo 91 g y CA 3.9. Específicamente, el lote 1° experimentó un menor nivel de estrés calórico durante su crianza demostrando menor impacto negativo en los parámetros productivos durante su crecimiento. A pesar que todos los lotes estuvieron expuestos a los tres niveles de estrés calórico no afectó el consumo, pero, si redujo notablemente la GDP cuando se encontraban en un estado de estrés calórico muy severo. Exclusivamente, los animales del lote 1 y 2° experimentaron un aumento en la CA cuando pasaron de un estado de confort térmico a estrés calórico durante su crecimiento. En conclusión, diferentes niveles de ITH en la transición del invierno a primavera generaron estrés calórico, lo que tuvo un impacto negativo en los parámetros productivos de los conejos NZB en la región tropical de México. Se hace necesario identificar estrategias efectivas para mitigar el estrés calórico en la producción de conejos en esta región durante este periodo.

**PALABRAS CLAVES:** Conejos en crecimiento; Caracterización del ITH, Estrés calórico; Invierno a primavera; Productividad.