



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



Escuela Técnica Superior de  
Ingeniería Agronómica



## MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

EFFECTO DE LA INCLUSIÓN DE LA HARINA DE ALGARROBA EN  
LA DIETA DE POLLOS DE ENGORDE DE RAZA MURCIANA  
SOBRE CARACTERES DE CRECIMIENTO Y DE CALIDAD DE LA  
CARNE

Autora: Doña Laura Martínez Martínez

Dirección: Doña Eva Armero Ibáñez

Cartagena, septiembre de 2021

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>1.1. Algarrobo (<i>Ceratonia siliqua</i> L.)</b> .....	3
1.1.1 Taxonomía .....	3
1.1.2 Descripción.....	3
1.1.3 Distribución y ecología.....	5
1.1.4 Producción de algarroba.....	6
1.1.5 Situación actual y perspectivas de futuro de la producción de algarroba en España .....	8
1.1.6 Valor nutricional de la algarroba .....	9
1.1.7 Interés comercial .....	10
1.1.8 Incorporación a la dieta animal .....	11
<b>1.2. Pollo (<i>Gallus Gallus</i>)</b> .....	12
1.2.1. Situación actual del sector .....	12
1.2.2. Calidad de la carne y valor nutricional .....	14
<b>1.3. Gallina Murciana</b> .....	15
1.3.1. Características productivas .....	17
1.3.2. Características morfológicas.....	17
<b>1.4. Estudio del tracto gastrointestinal</b> .....	18
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	21
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	22
<b>3.1. Material animal</b> .....	22
<b>3.2. Material vegetal</b> .....	22
<b>3.3. Caracteres productivos</b> .....	24
3.3.1. Peso de los animales.....	24
3.3.2. Consumo de pienso (CPt).....	24
3.3.3. Ganancia Media Diaria (GMD).....	24
3.3.4. Índice de Conversión (IC) .....	24
<b>3.4. Calidad de la canal</b> .....	24
<b>3.5. Calidad de la carne</b> .....	25
3.5.1. Medición del color.....	25
3.5.2. Análisis de la composición de ácidos grasos .....	26
<b>3.6. Pruebas de actividad digestiva</b> .....	27
3.7.1. Estudio de histomorfología de la mucosa intestinal.....	27

3.7.2. Estudio de ácidos grasos volátiles .....	28
3.7.3. Estudio de la viscosidad.....	28
3.7.4. Estudio de secuenciación masiva .....	28
<b>3.7. Análisis estadístico .....</b>	<b>28</b>
3.8.1. Análisis estadístico de los caracteres productivos, de calidad de la canal y carne .....	29
3.8.2. Análisis estadístico de las pruebas de actividad digestiva .....	29
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1. Caracteres de crecimiento.....</b>	<b>31</b>
<b>4.2. Calidad de la canal .....</b>	<b>33</b>
<b>4.4. Calidad de carne.....</b>	<b>36</b>
4.4.1. Medición del color .....	36
4.4.2. Análisis de la composición de ácidos grasos .....	37
<b>4.5. Efectos en la actividad digestiva.....</b>	<b>40</b>
4.5.1. Estudio de las vellosidades intestinales y del contenido de ácidos grasos volátiles .....	40
4.5.2. Estudio de secuenciación masiva del microbioma cecal .....	42
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>46</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>47</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>51</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Clasificación taxonómica de <i>Ceratonia siliqua</i> L. ....	3
<b>Tabla 2.</b> Evolución de la producción mundial de algarroba ( <i>Ceratonia siliqua</i> L.) en toneladas .....	7
<b>Tabla 3.</b> Principales productos derivados de la algarroba (pulpa y semilla) y algunos usos destacados .....	11
<b>Tabla 4.</b> Composición de 100 g de pollo, muslo y pechuga de pollo .....	15
<b>Tabla 5.</b> Composición de las dietas aportadas para el grupo control (DC) y grupo algarroba (DA) .....	22
<b>Tabla 6.</b> Valor nutricional de la dieta control (DC) y la dieta algarroba (DA) .....	23
<b>Tabla 7.</b> Valor nutricional de la harina de algarroba utilizada en el ensayo .....	23
<b>Tabla 8.</b> Elementos obtenidos del eviscerado y despiece de los individuos control (DC) y algarroba (DA) .....	25
<b>Tabla 9.</b> Parámetros del cromatógrafo de gases .....	27
<b>Tabla 10.</b> Efecto de la inclusión de harina de algarrobo en la dieta de pollos de raza Murciana sobre los parámetros productivos (media $\pm$ error estándar) .....	31
<b>Tabla 11.</b> Efecto de la inclusión de harina de algarrobo en la dieta de pollos de raza Murciana sobre el peso de las diferentes partes de la canal en gramos (g) (media $\pm$ error estándar) .....	34
<b>Tabla 12.</b> Efecto de la inclusión de harina de algarrobo en la dieta de pollos de raza Murciana sobre los parámetros de composición de la canal, en <sup>(1)</sup> : % de peso vivo final o <sup>(2)</sup> : % peso canal eviscerada (media $\pm$ error estándar) .....	35
<b>Tabla 13.</b> Efecto de la inclusión de harina de algarrobo en la dieta de pollos de raza Murciana sobre el color del muslo y de la pechuga (media $\pm$ error estándar) .....	36
<b>Tabla 14.</b> Composición de ácidos grasos (media $\pm$ error estándar) de la carne de pollo de raza Murciana expresado en mg de AG /100 gr de muestra y % con respecto al total de ácidos grasos .....	38
<b>Tabla 15.</b> Efecto de la inclusión de harina de algarrobo en la dieta de pollos de raza Murciana sobre los parámetros de eficiencia digestiva (media $\pm$ error estándar) .....	41
<b>Tabla 16.</b> Composición de 100 g de pollo, muslo y pechuga de pollo .....	53
<b>Tabla 17.</b> Familias, géneros y especies de microorganismos con diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos. ....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Componentes morfológicos del algarrobo ( <i>Ceratonia siliqua</i> L.): (a) árbol completo; (b) hojas; (c) inflorescencia; (d) fruto inmaduro; (e) fruto maduro con las semillas. Fuente: elaboración propia.....	5
<b>Figura 2.</b> Distribución geográfica dentro de la Cuenca Mediterránea de las zonas de cultivo del algarrobo ( <i>Ceratonia siliqua</i> L.). Fuente: Albanell (1990).....	6
<b>Figura 3.</b> Evolución de la producción de algarroba, número de hectáreas y precio medio en España. Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MAPA. ....	8
<b>Figuras 4 y 5.</b> Ejemplares jóvenes de raza Murciana variedad “dorada”, macho (Izqda.) y hembra (Dcha.) .....	18
<b>Figuras 6 y 7.</b> Ejemplares jóvenes de raza Murciana variedad “dorada”, macho (Izqda.) y hembra (Dcha.) .....	18
<b>Figura 8.</b> El microbioma del tracto gastrointestinal del pollo .....	19
<b>Figura 9.</b> Espacio de Color CIE L*A*B* .....	26
<b>Figura 10.</b> Contenido total de Ácidos Grasos Saturados (SFA), Monoinsaturados (MUFA) y Poliinsaturados (PUFA), expresados en porcentaje (%) sobre el contenido total de ácidos grasos de la carne de muslo de pollo de raza Murciana para la Dieta Control (DC) y Tratamiento (DA).....	39
<b>Figura 11.</b> Altura (A) de la vellosidad del íleon y profundidad de la cripta (B), de un pollo Murciano. ....	41
<b>Figura 12.</b> Representación gráfica de la abundancia diferencial por familia del microbioma cecal de pollo de raza Murciana. Cuando el log2FoldChange es numéricamente negativo, DC es mayor que DA .....	43
<b>Figura 13.</b> Representación gráfica de la abundancia diferencial por género del microbioma cecal de pollo de raza Murciana. Cuando el log2FoldChange es numéricamente negativo, DC es mayor que DA. ....	43
<b>Figura 14.</b> Representación gráfica de la abundancia diferencial por especie del microbioma cecal de pollo de raza Murciana. Cuando el log2FoldChange es numéricamente negativo, DC es mayor que DA. ....	44
<b>Figura 15.</b> Evolución de la producción mundial de algarroba ( <i>Ceratonia siliqua</i> L.). Fuente: elaboración propia a partir de datos de FAOSTAT.....	52

## RESUMEN

El algarrobo (*Ceratonia siliqua* L.) es un cultivo autóctono y tradicional del litoral Mediterráneo, cuya producción se ha visto desplazada durante las últimas décadas. La inclusión de la algarroba en la dieta animal en aves no está demasiado extendida. En este contexto, se ha realizado un estudio de los efectos de la inclusión de harina de algarroba en la dieta de pollos de raza Murciana sobre: los caracteres de crecimiento, la calidad de la canal y de la carne y la actividad digestiva.

Para ello, 17 pollos Murcianos se alimentaron con la Dieta Control (DC) y 19 pollos con la dieta que incluía el 10% de la harina de algarroba (DA) y fueron repartidos en dos ensayos. El primer y segundo ensayo comenzaron cuando los pollos tenían 88-102 días de edad y tuvieron una duración de 54 y 62 días, respectivamente.

No se observó un efecto de la dieta sobre el consumo de pienso, la ganancia media diaria y el índice de conversión en relación a los caracteres de crecimiento de los individuos. Tampoco se apreciaron diferencias significativas en el rendimiento o despiece de la canal entre ambos grupos, exceptuando el porcentaje de cuarto trasero, siendo mayor para DA. La carne de DA presentó una coloración más neutra y apagada con un menor contenido total de ácidos grasos, en particular de ácido esteárico, palmítico y oleico. En cuanto a la eficiencia digestiva, se observó una tendencia a presentar una menor altura de las vellosidades intestinales, acompañado de una disminución de la producción de ácidos grasos volátiles y de las poblaciones del microbioma cecal en los individuos DA.

Por tanto, son necesarios futuros estudios para analizar en profundidad el proceso de transformación de la harina de algarroba en carne, así como su aprovechamiento digestivo y su valor como antioxidante.

## **ABSTRACT**

Carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) is a traditional and native crop of the Mediterranean coast, whose production has been displaced during the last decades. Carob employment in fowl diet is not widespread yet. In this context, a study of the effects of the inclusion of carob flour in Murcian breed chicken diet has been carried out over growth characters, quality of carcass and meat, and digestive activity.

For this, 17 Murcian chickens were fed using control diet (DC) and 19 chickens with a diet that included 10% of carob flour (DA) and were distributed in two trials. The first and second trial began with 88 to 102 days-old chickens and had a duration of 54 days and 62 days, respectively.

An effect of diet on fodder consumption, daily average gain and conversion rate in relation to the growth parameter of individuals was not observed. Nor did it appreciate significant differences in carcass composition and efficiency between both groups, except for the percentage of thigh, higher for DA individuals. The DA meat presented a more neutral and off coloration with a lower total content of fatty acids, particularly of stearic, palmitic and oleic. About digestive efficiency, a tendency to present a lower height of intestinal villi was observed, accompanied by a decrease of volatile fatty acids production and cecal microbiome population in DA individuals.

Therefore, future studies are necessary in order to analyze in depth the transformation process of carob flour in meat, as well as its digestive use and its value as an antioxidant.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Algarrobo (*Ceratonía siliqua* L.)

#### 1.1.1 Taxonomía

El algarrobo (*Ceratonía siliqua* L.) es una leguminosa cuya taxonomía es la siguiente (Tabla 1):

Tabla 1. Clasificación taxonómica de *Ceratonía siliqua* L.

<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Subclase</b>	Rosidae
<b>Orden</b>	Fabales
<b>Familia</b>	Fabaceae
<b>Género</b>	<i>Ceratonía</i>
<b>Especie</b>	<i>Ceratonía siliqua</i> L.

Fuente: elaboración propia

#### 1.1.2 Descripción

El algarrobo es un árbol perenne (Figura 1a), por lo general dioico (Ortíz *et al.*, 1996), de hoja compuesta, con un potente sistema radicular y tronco grueso de corteza pardocenicenta. Presenta una altura media de 6 metros de altura, pudiendo alcanzar en algunas ocasiones hasta los 10 metros.

Las hojas (Figura 1b) se forman en los extremos de las ramas jóvenes, son compuestas y peripinnadas, formadas por 2-6 pares de folíolos que se insertan perpendicularmente sobre el raquis, el cual suele medir de 8-22 cm de longitud (Albanell, 1990). Son ovaladas, de color verde oscuro y brillante en el haz y mate y oscuro en el envés (Tous, 1985; Albanell, 1990; Guillén *et al.*, 2018).

En función de la variedad, los árboles pueden presentar flores masculinas, femeninas o hermafroditas, es decir, es un árbol trioico. Pero las especies más cultivadas suelen ser unisexuales, lo que significa que presentan flores femeninas o masculinas (Tous, 1984). Las flores se distribuyen en racimos de inflorescencias aisladas (Figura 1c) que poseen 10-12 flores pequeñas (Tous, 1984) generalmente de color amarillento. La sexualidad y la reproducción del algarrobo ha sido y es objeto de estudio por muchos autores debido a su complejidad.

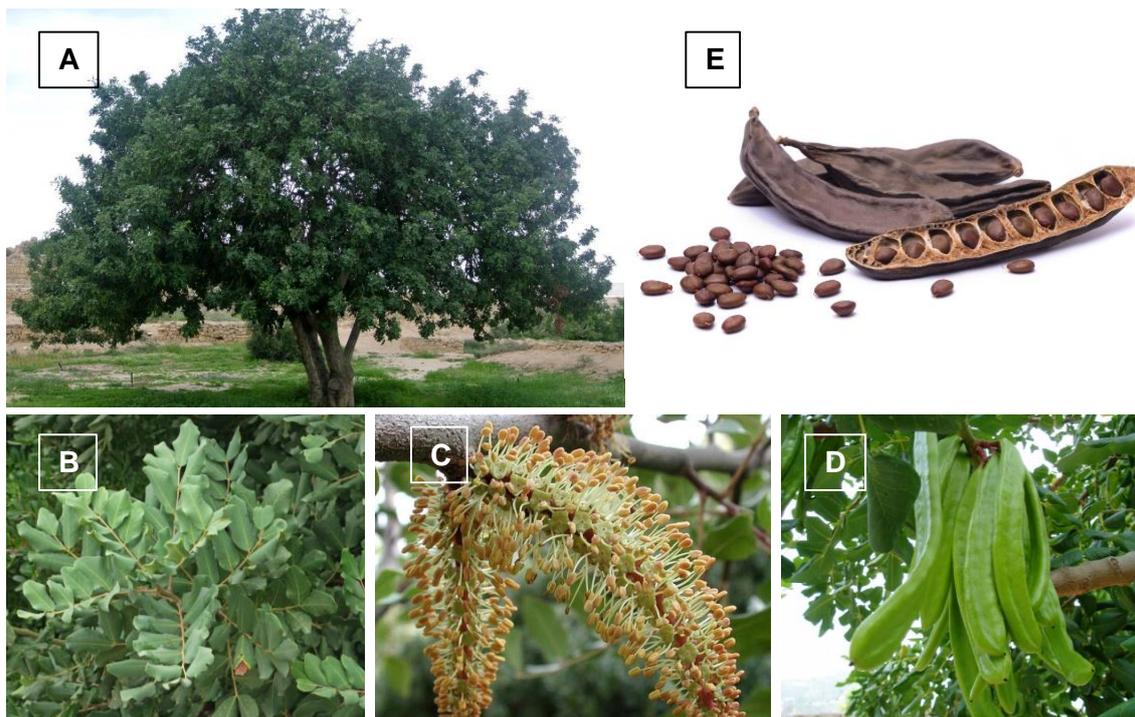
El fruto (Figura 1d) del algarrobo se conoce como algarroba o garrofa y se desarrolla en las flores femeninas o hermafroditas. Se clasifica como legumbre y es un fruto seco,

alargado, de forma recta o curvada, de 10-22 cm de longitud (Tous, 1985), con un tamaño variable en función de las condiciones de cultivo. Es un fruto indehisciente (Tous, 1985) de coloración verde claro en los frutos jóvenes e inmaduros y torna a pardo-rojiza o pardo-negrizca con la maduración (Figura 1e) (Albanell, 1990), con mucho brillo y que pierde agua hasta el momento de recolección (Salazar *et al.*, 2002).

El interior (Figura 1e) es de aspecto pulposo; se puede considerar que el fruto está compuesto por el pericarpo, el cual se conoce como la “pulpa de garrofa”, y por las semillas. Estando la cantidad de pulpa relacionada con el número de semillas; presentando una relación pulpa/semillas del 90/10% (Albanell, 1990; Batlle & Tous, 1997). Además, el pericarpo está compuesto por tres capas diferenciadas (Albanell, 1990): el epicarpo, es la capa delgada que recubre al fruto por la parte externa; el mesocarpo, constituyendo la parte subcarnosa formada por un parénquima grueso rico en azúcares y en taninos; y el endocarpo, una delgada capa que recubre al fruto interiormente, la cual lo divide en los segmentos y espacios donde se albergan las semillas.

La semilla (Figura 1e), también conocidas como garrofín, se encuentra en el interior de la algarroba. Cada fruto alberga de 8 a 12 garrofines (Tous, 1984). Son pequeñas, de forma oval, duras, aplanadas, de color rojizo. Representando el 10% aproximadamente del peso del fruto (Albanell, 1990; Salazar *et al.*, 2002).

El garrofín también se divide en tres elementos estructurales, los cuales son: el epispermo, que corresponde con la cutícula o el tegumento externo y representa el 20-30% de la semilla; el endospermo, también conocido como “goma”, es la reserva nutritiva del embrión y representa el 40-60% del peso seco del garrofín; y por último se encuentra el embrión, denominado “germen”, donde reside el poder germinativo de la semilla y representa el 15-25% del peso seco (Albanell, 1990).



**Figura 1.** Componentes morfológicos del algarrobo (*Ceratonia siliqua* L.): (a) árbol completo; (b) hojas; (c) inflorescencia; (d) fruto inmaduro; (e) fruto maduro con las semillas. Fuente: elaboración propia.

La entrada en producción del algarrobo se da al quinto o sexto año, obteniendo de 4-5 kg de frutos. La producción máxima de un árbol adulto es bastante variable, en función de la variedad y del sistema de cultivo. Pudiendo oscilar de 30-50 kg en árboles aislados, hasta los 60-120 kg anuales en árboles desarrollados y bien cuidados de plantaciones regulares. La diferencia de producción de unos años a otros también está marcada por la vecería (Tous, 1984; Guillén *et al.*, 2018).

### 1.1.3 Distribución y ecología

El área de producción del algarrobo se distribuye por toda la zona costera de la Cuenca Mediterránea, como puede observarse en la Figura 2. El centro de origen de este árbol no está claro, pero se puede considerar que fueron las zonas costeras del Mediterráneo Oriental, como Siria, Israel, el Líbano o el sur de Turquía (Batlle & Tous, 1997; Salazar *et al.*, 2002; Guillén *et al.*, 2018), y que posteriormente se distribuiría al resto de países mediterráneos.

La principal limitación de la expansión de este cultivo es de tipo climático, ya que se desarrolla en áreas de suelo calcáreo caracterizadas por un “clima mediterráneo” es decir, clima suave, una pluviometría media y un invierno con incidencia baja de heladas (Albanell, 1990). Es poco resistente al frío y pueden perjudicarle temperaturas inferiores a 2 °C, sobre todo si se combinan con humedad ambiental elevada (Guillén *et al.*, 2018). Es muy sensible a las heladas y se mantiene en zonas de baja altura, no suele

introducirse a más de 40 km de la costa (Albanell, 1990; Batlle & Tous, 1997; Salazar *et al.*, 2002; Guillén *et al.*, 2018). Tiene la capacidad de crecer en cualquier tipo de suelo, estando bien aireado y drenado; prefiriendo los suelos calizos, con un pH neutro, permeables, de consistencia media o suelta (Albanell, 1990). Es un árbol muy adaptado a regiones áridas, resistente a la sequía, necesitando una precipitación media anual de la zona en torno a 300-350 mm para que la fructificación sea correcta (Albanell, 1990; Salazar *et al.*, 2002; Guillén *et al.*, 2018).

A parte del área mediterránea, el algarrobo se ha introducido artificialmente en otras zonas fuera de su área de proliferación natural: África (Zimbabwe y Sudáfrica), Asia (Irak, Yemen, China, Pakistán y Jordania), América del Norte (México y Costa del Océano Pacífico de California), América del Sur (Chile y Argentina), y Oceanía (Hawai, Australia, y Nueva Zelanda (Albanell, 1990).



**Figura 2.** Distribución geográfica dentro de la Cuenca Mediterránea de las zonas de cultivo del algarrobo (*Ceratoniasiliqua L.*). Fuente: Albanell (1990).

#### 1.1.4 Producción de algarroba

Los principales países productores de algarroba son España, Italia, Portugal, Marruecos, Chipre, Grecia, Turquía y Argelia. Obteniendo entre los cuatro primeros países prácticamente el total de la producción.

Se puede observar como la producción ha sufrido una regresión continuada (Figura 15, Anexo 1), disminuyendo el total de toneladas obtenidas, de unas 600.000 toneladas (t) en el año 1961, hasta las 173.000 t producidas en 2017 (Tabla 2). Se puede atribuir el gran descenso prácticamente a la producción española; el declive sufrido desde los años 60 hasta la actualidad ha sido muy notable, pasando de tener el mayor volumen de la producción mundial, en torno al 50%, a igualarse al resto de países en los últimos años, con un 21% de la producción.

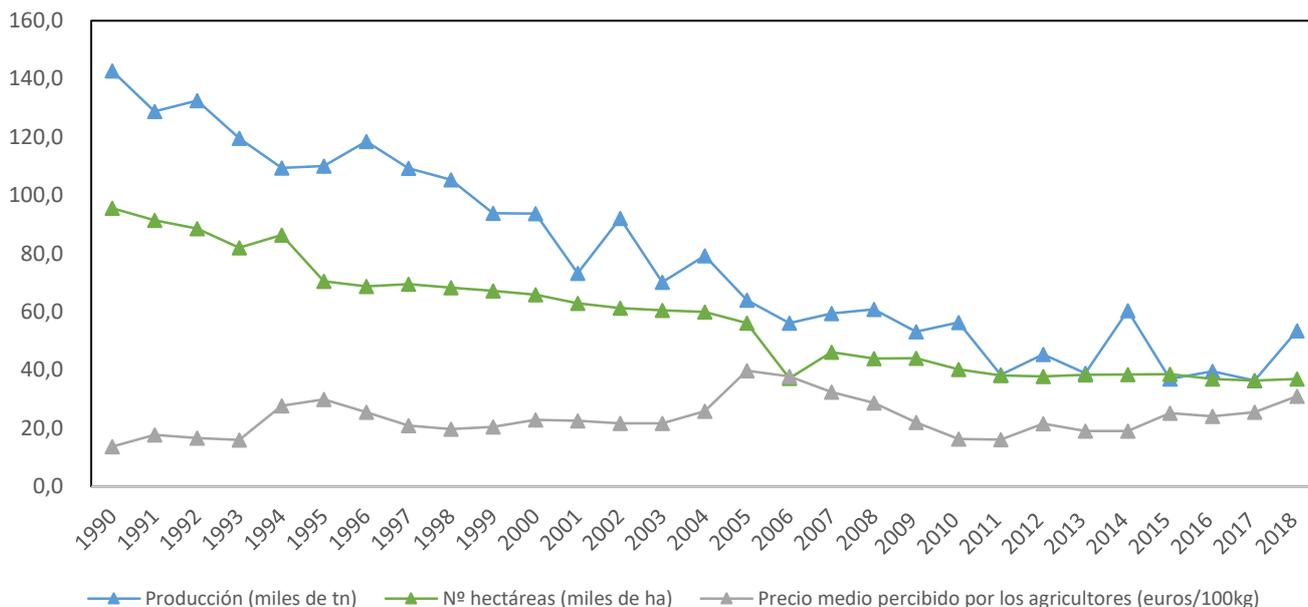
**Tabla 2.** Evolución de la producción mundial de algarroba (*Ceratonía siliqua* L.) en toneladas

País	1961	%	1990	%	2000	%	2017	%
Argelia	23.950	3,6	3.684	1,4	3.952	1,6	4.042	2,3
Chipre	42.672	6,5	9.400	3,5	7.300	2,9	7.475	4,3
<b>España</b>	<b>375.400</b>	<b>57,1</b>	<b>142.850</b>	<b>53,3</b>	<b>93.800</b>	<b>37,6</b>	<b>36.368</b>	<b>21,0</b>
Grecia	39.295	6,0	16.131	6,0	20.192	8,1	12.287	7,1
Israel	1.400	0,2	200	0,1	200	0,1	477	0,3
Italia	105.200	16,0	29.240	10,9	38.079	15,3	28.910	16,7
Líbano	*	*	*	*	4.600	1,8	4.431	2,6
Marruecos	15.000	2,3	29.600	11,0	22.795	9,1	21.611	12,5
Portugal	40.660	6,2	20.952	7,8	42.640	17,1	41.329	23,8
Túnez	*	*	900	0,3	1.000	0,4	819	0,5
Turquía	11.600	1,8	15.000	5,6	14.000	5,6	15.016	8,7
<b>Total</b>	<b>656.877</b>		<b>268.006</b>		<b>249.159</b>		<b>173.423</b>	

%; porcentaje correspondiente a la producción anual de dicho año (1961, 1990, 2000 o 2017 respectivamente); \*: dato no disponible. Fuente: elaboración propia a partir de datos de FAOSTAT.

Los motivos que pueden atribuirse a este descenso tan agresivo y continuado de la producción española son el envejecimiento de los cultivos; el abandono por falta de rentabilidad y la sustitución por otro tipo de cultivo, como el olivo, almendro o cítrico; la falta de mecanización, de investigación y desarrollo agrario y la poca selección del material vegetal; con precios inestables, poca participación en el sector agrícola y que además ha estado compitiendo con otros tipos de productos de aplicaciones y usos similares. Todos estos factores, sumados a una fuerte helada que sucedió en los años 50 que acabó con gran parte del censo de algarrobos, justifican el implacable descenso productivo (Albanell, 1990; Salazar *et al*, 2002).

Si analizamos la evolución de la producción de algarroba en España desde 1990 hasta 2018 (Figura 3), se puede observar como la disminución de la producción se ha correspondido con una disminución del número de hectáreas en producción. En los últimos años, el número de hectáreas se ha mantenido más o menos estable, pero la producción de algarroba ha oscilado mucho, esto puede estar motivado por la vecería o por un mayor o menor cuidado de las plantaciones. El precio medio percibido por los agricultores fluctúa en función de los años. Se puede ver como se alcanzó un precio máximo en 2005 de 0,40 € el kg, comenzando después una bajada hasta 2011, donde se inició una marcada subida de los precios debido a la revalorización del producto. En 2018 se aumentó notablemente la producción con respecto a los últimos años con 53.500 t, complementándose con un incremento del precio, situándose en 0,30 €/kg.



**Figura 3.** Evolución de la producción de algarroba, número de hectáreas y precio medio en España. Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MAPA.

Dentro de España, la región mediterránea es la que alberga el cultivo de algarrobo. Tradicionalmente, la Comunidad Valenciana se ha establecido como la mayor productora con un 50-60% del total de la producción nacional; en los últimos años, esta comunidad ha reducido a más de la mitad las hectáreas productivas de algarrobo, provocando la pérdida de producción. Actualmente, las Islas Baleares son la comunidad más productiva, con 19.175 t en el censo de 2018 (MAPA), representando el 36% de la producción anual, seguida de Cataluña (13.538 t), de la Comunidad Valenciana (10.899 t), Andalucía (6.753 t), Región de Murcia (3.091 t) y Canarias (21 t).

### 1.1.5 Situación actual y perspectivas de futuro de la producción de algarroba en España

Actualmente, la producción de algarrobo está en auge. El producto se está revalorizando debido a sus múltiples usos. En los últimos años ha comenzado una “revolución industrial” con este producto, basado principalmente en el garrofín, concretamente en su derivado, el aditivo natural E-410. Este producto alcanzó una cotización en 2020 de 7 €/kg, percibiendo el agricultor 0,70-0,84 € por kilogramo de algarroba, multiplicando notablemente el precio comparándolo con el percibido en 2018 (Las Provincias, 2020; Última Hora, 2020). El incremento es constante, en 2021 el precio del kg de garrofín ha rondado los 14 €, duplicando el precio del año anterior (murciaplaza, 2021)

Todo este movimiento, ha llevado a la plantación de números algarrobos, con un enfoque productivo, seleccionando variedades y estableciendo plantaciones más tecnificadas. Se está sustituyendo la siembra tradicional de semilla por la plantación de

plantones injertados previamente en vivero, rejuveneciendo las plantaciones tradicionales.

El incremento de los precios, motivado por el auge del cultivo, también ha traído efectos negativos. Han aumentado considerablemente los robos de algarroba, poniendo en riesgo las producciones anuales de ciertos agricultores. Por lo que se está pidiendo mayor regularización de la producción, reforzando la seguridad en los puntos de venta y vigilando de cerca el mercado negro.

#### 1.1.6 Valor nutricional de la algarroba

El proceso por el que se obtiene la pulpa de algarroba suele ser por el de troceado y desgrane de la vaina. Los garrofinos se separan de la pulpa y están destinados para otros usos.

La pulpa de la algarroba presenta un contenido en azúcares totales elevado, del 48-56%, sobre todo sacarosa, fructosa, glucosa y maltosa (Albanell, 1990; Batlle & Tous, 1997; Salazar *et al.*, 2002) un contenido elevado en Materia Seca (80-90%), unos valores medios-bajos de fibra (6-7%) y bajo contenido de Proteína Bruta (3-4%), Grasa Bruta (0,2-1%) y cenizas (2-3%). El aporte energético es relativamente bajo, de aproximadamente 4.220 kcal/kg (Albanell, 1990). En cuanto a la composición mineral la pulpa de algarroba presenta, en mg/100 g de peso seco: Fósforo (P = 80); Potasio (K = 820); Magnesio (Mg = 50); Calcio (Ca = 610); Sodio (Na = 20); Cobre (Cu = 0,4); Hierro (Fe = 0,8); Manganeso (Mn = 0,7) y Zinc (Zn = 1,1) (Albanell, 1990; Batlle & Tous, 1997). Siendo el aporte de calcio de tipo medio, superior a los granos de otros cereales y comparable a los de leguminosas y algunos subproductos industriales, como las harinas de torta de soja, lino o girasol, entre otros.

El contenido de taninos es variable, situándose en torno al 10-20% de taninos totales, de los cuales el 4% aproximadamente corresponde a Taninos Solubles. Esto convierte a la algarroba en una fuente de polifenoles con propiedades antioxidantes que tienen efectos beneficiosos para la salud humana (Stavrou *et al.*, 2018), presentando mayor capacidad antioxidante la pulpa o harina de algarroba sin presencia de semillas (Benković *et al.*, 2017). Por otro lado, varios estudios han determinado que los taninos de la algarroba provocan que la digestibilidad de la pulpa sea negativa si se consume de una forma directa, debido a la baja capacidad de disociación y solubilidad que presentan; y de modo indirecto, producen efectos antidigestivos y antinutricionales (Albanell, 1990).

### 1.1.7 Interés comercial

El algarrobo es un árbol muy resistente a la sequía, a los suelos pobres, a la contaminación del aire y es de bajo mantenimiento; por este motivo es un buen candidato para plantar en calles y jardines o para reforestar zonas costeras degradadas por la erosión del suelo y la desertificación. Es un árbol con gran capacidad de absorción de CO<sub>2</sub>, pudiendo llegar a fijar 250.000 t de dióxido de carbono al año (Rodríguez, 2016). Además, aporta gran cantidad de sombra, protege del viento y amortigua el ruido debido a su denso follaje.

En cuanto al fruto (Tabla 3), el destino de la algarroba ha sido, tradicionalmente, la alimentación animal, ya que su uso en la alimentación humana ha presentado más limitaciones y ha estado promovido por épocas de escasez. Con el paso de los años, la obtención de productos de la algarroba se ha ido tecnificando y, actualmente, se está introduciendo cada vez más en la alimentación humana, tanto de forma directa, por medio de harinas, o por medio de subproductos, como la “goma de garrofín”, uno de los productos de mayor interés debido a sus usos en el sector farmacéutico y alimenticio.

La “goma de garrofín”, también conocida como E-410, Locust Bean Gum (LBG) o Carob Bean Gum (CBG) (Albanell, 1990; Batlle & Tous, 1997; Salazar *et al.*, 2002). Se obtiene de del endospermo de la semilla y químicamente es un polisacárido, un galactomanano. Esta goma mucilaginosa, se emplea como espesante y gelificante natural, tiene otros usos como estabilizante, emulsionante, aglomerante o espumante, entre otros. Y se utiliza en la producción de muchos alimentos: como zumos, refrescos, néctares o salsas. Del embrión de la semilla se obtiene la “harina de germen”, que tiene un gran valor nutritivo y se utiliza para realizar preparados dietéticos y en la composición de piensos compuestos (Egea *et al.*, 2015).

Entre los usos de la pulpa de algarroba (Tabla 3) destacan la obtención de edulcorantes y azúcares para uso alimentario, como base para fermentaciones alcohólicas o biorreactores, para elaboración de productos hiperenergéticos, extracción de taninos para su uso en la industria textil, fabricación de piensos o elaboración de harina de algarroba (Albanell, 1990; Salazar *et al.*, 2002).

La harina de algarroba se obtiene por el proceso de molido de la pulpa de algarroba. Obteniendo un producto que se compone principalmente de un 46% azúcar, 7% proteínas y pequeñas cantidades de numerosas vitaminas y minerales (Batlle & Tous, 1997). En la alimentación humana se emplea generalmente la harina tostada de algarroba, la cual presenta un bajo contenido de grasa y un contenido total de teobromina y cafeína prácticamente nulo. Esta cualidad, junto con un sabor y aspecto

similar al cacao en polvo, la convierte en un sustituto de éste en repostería y panadería. También se utiliza en la elaboración de productos dietéticos y en la industria farmacéutica, por sus propiedades antidiarreicas o como factor de apeticibilidad, antitóxico e inhibidor del crecimiento bacteriano (Albanell, 1990; Salazar *et al.*, 2002; Rtibi *et al.*, 2017).

**Tabla 3.** Principales productos derivados de la algarroba (pulpa y semilla) y algunos usos destacados

	Producto	Procesado	Usos
<b>Pulpa</b>	Troceada	Ninguna	Piensos animales
		Molido	Alimentación humana y animal
		Extracción y purificación	Azúcar y melaza
		Destilación y fermentación	Producción de alcohol y proteína microbiana
	Extracción	Obtención de taninos	
	Polvo	Lavado, secado, tostado y molido	Ingrediente alimenticio; sustituto del cacao; preparación de alimentos y productos farmacéuticos
<b>Semilla</b>	Endospermo	Molienda	LBG o E-410; aditivo alimentario (estabilizador y espesante); fibra dietética; alimentos para mascotas; productos farmacéuticos; productos cosméticos
	Embrión	Molienda	Harina de gérmen; nutrición humana y animal
	Epispermo	Extracción	Taninos para el curtido de cueros

Fuente: Batlle & Tous (1997)

### 1.1.8 Incorporación a la dieta animal

La algarroba se ha introducido mayoritariamente en la dieta de pequeños rumiantes. Presentando éstos, por lo general, un elevado coeficiente de digestibilidad de la pulpa de algarroba, pero presenta éstos valores bajos de grasa bruta (52%), valores medios de fibra (60%) y medios-bajos de proteína bruta (68%) (Albanell, 1990). A este grupo de animales no les afectaría el valor de taninos solubles tóxicos con una ración de pulpa de algarroba en torno al 20-30% del total de la fórmula del pienso. No se han identificado problemas de disminución de la capacidad de ingestión o de la velocidad de crecimiento, pero sí un aumento de la ingestión de alimento diario y del índice de transformación para

compensar el bajo valor calórico aportado con la pulpa de algarroba Louca & Papas (1973).

El valor nutricional de la pulpa de algarroba en monogástricos es menor que en rumiantes. Esto es debido a los bajos niveles de proteína y grasa principalmente y a la acción de los taninos provocando efectos antidigestivos de los nutrientes con mayor valor energético (Albanell, 1990; Vohra *et al.*, 1966). Kratzer & Williams (1951) observaron una reducción del crecimiento de pollos de engorde al incorporar la vaina completa de la algarroba (con semillas) molida en proporciones de 20, 30 o 40%; al igual que Vohra & Kratzer (1964), quienes percibieron, además, un déficit de energía en las dietas que contenían harina de algarroba (sin semillas), pudiendo incrementarse como mucho a la dieta en un 20% si además se le incorpora un 5-10% de aceite de soja para aumentar el contenido energético. Este efecto también fue identificado por Bornstein *et al.* (1965) quienes indicaron que los altos niveles de algarroba en la dieta de los pollos deprimen la tasa de crecimiento y la eficiencia alimentaria al reducir decididamente el contenido energético de éstas. Vilà *et al.* (2012) estudiaron la incorporación del algarrobo a la dieta de pollos de engorde por medio de la goma de algarroba (GBC), observando que el rendimiento de las aves a las que se les había incorporado este ingrediente disminuyeron su rendimiento debido a los galactomananos, los cuales disminuyeron la capacidad de absorción del tracto digestivo de las aves.

Por lo tanto, parece ser que la composición tóxica de la algarroba, está ligada a la semilla, a su alto contenido de taninos. La harina de algarroba carece de este factor tóxico, pero genera una reducción del crecimiento de los pollos debido a su bajo valor energético y a la presencia de un depresor del apetito. Con valores de implementación de este ingrediente por encima del 5% se ha visto una reducción de la velocidad de crecimiento y un incremento del índice de transformación (Albanell, 1990; Kratzer & Williams, 1951; Bornstein *et al.*, 1965).

## **1.2. Pollo (*Gallus Gallus*)**

### **1.2.1. Situación actual del sector**

El sector avícola representó en 2019 aproximadamente el 39% de la producción cárnica mundial (FAO). Con el paso de los años, este sector se ha convertido en su gran mayoría, en un sector desarrollado y tecnificado, diferenciando muy bien la producción según el producto obtenido. Las tecnologías de sacrificio, alimentación y elaboración han mejorado para tener un sector más eficiente e inocuo. Esto ha llevado a la creación

de grandes explotaciones especificadas, industrializadas y a gran escala; manteniendo las distancias y creando una clara división con los criadores a pequeña escala.

El ave de corral más producida es el pollo, representando alrededor del 90% de la producción cárnica aviar mundial (FAO); convirtiéndose en la especie avícola más importante del mundo.

Para satisfacer las demandas de la población mundial, la industria avícola ha llevado al desarrollo de razas comerciales de pollos de gran rendimiento. Los animales que tienen una aptitud cárnica se denominan pollos de engorde o broilers, poseen un bajo índice de transformación y se producen en condiciones intensivas.

La producción mundial de carne de ave en 2019 fue de unos 132 millones de toneladas (FAOSTAT), representando ese mismo año el 39% de la producción mundial de carne. El 90% de esta producción de carne avícola perteneció a la producción de carne de pollo, siendo ésta de unos 100,5 millones de toneladas; estableciéndose, como principal productor EEUU, seguido por China y Brasil.

España es el segundo productor de carne de ave de la Unión Europea, por detrás de Polonia con 1.717.800 toneladas provisionales en 2020. La producción estimada de pollo en España para 2020 es de aproximadamente 1.400.000 toneladas, representando el 82% de la producción total de ave (MAPA, 2020), estando un punto por debajo respecto a 2019, debido a un aumento de explotaciones de otras especies avícolas, como pavos o codornices. Por lo general, en el 2020 se ha visto un descenso del total de aves sacrificadas respecto a 2019 (-2,03%) pero un aumento de las toneladas producidas (0,74%) (MAPA, 2020). Esto puede ser debido a la adaptación del sector a la situación generada por la crisis del COVID-19, dejando más tiempo a los animales en las explotaciones y sacrificándolos con más peso. Las exportaciones e importaciones también se han visto afectadas por la situación de inestabilidad, al igual que los precios de 2020 (MAPA, 2020).

En cuanto a la producción de carne de pollo por comunidad autónoma, Cataluña se encuentra en primera posición con el 28,7% del total, seguida por la Comunidad Valenciana (16,9%), Andalucía (15,8%) y Galicia (13,1%) (MAPA, 2020).

La producción de pollos de carne ha llevado a la industria a generar animales cada vez con mayor peso (más de 2,73 kg) pero en un menor tiempo, aproximadamente menos de 42 días. Se puede ver una gran disminución del tiempo de engorde, ya que en 1994 se sacrificaban con más de 52 días para alcanzar el mismo peso final; esto se debe a que los pollos de carne actuales tienen un índice de transformación menor, es decir,

consumen menos cantidad de pienso por unidad de incremento de peso corporal (Maharjan *et al.*, 2021). Lo cual se ha conseguido con años de selección continua en las líneas de pollos de carne a favor de características cuantitativas, como la tasa de crecimiento y el incremento de la masa muscular sin un aumento de la grasa; generando un cambio en los requisitos nutricionales de los broilers actuales.

En los últimos años, los consumidores están demandando cada vez más productos de crecimiento lento, que aportan mayor bienestar animal a la producción. Por este motivo, empresas dedicadas a la cría intensiva de pollos de engorde están estudiando y optando por otro tipo de producto, menos intensivo, pero con cierta diferenciación de producto, como pueden ser el “pollo certificado” y el pollo de “corral”. Por lo tanto, en el mercado actual hay introducidos cuatro tipos de pollo (González, 2013):

- **El pollo blanco** (broiler blanco): es un pollo de crecimiento rápido, alimentado a base de pienso y en condiciones de máxima intensividad. Con un ínfimo índice de conversión, capaz de pesar 2,85 kg en unos 48 días.
- **El broiler amarillo**: es igual al anterior, pero diferenciándose en el color amarillo de la piel, generado por un aumento del contenido de maíz del pienso.
- **El pollo certificado**: es un cruce entre el broiler convencional y una raza de crecimiento lento. La alimentación debe ser a base de piensos de origen vegetal, sin ingredientes de origen animal, sin antibióticos ni coccidiostáticos, ni aditivos utilizados en la crianza de broilers. Estos animales presentan una coloración amarilla debido a la ingesta de carotenos naturales. Se sacrifican con una edad mínima de 56 días, con un peso aproximado de 2,5 kg y la densidad de producción debe ser de 12 aves/m<sup>2</sup> como máximo. Este producto debe estar auditado por una empresa externa que certifique que el producto cumple con la normativa.
- **El pollo “de corral”**: es un pollo de crecimiento lento, criado en semi-libertad, con acceso a parques exteriores, de color amarillo y alimentado por un pienso con un contenido de 70% cereales y 50% de maíz. Tardando unos 76 días en obtener unos 2,5 kg.

#### 1.2.2. Calidad de la carne y valor nutricional

La carne de pollo es una carne blanca, gran fuente de proteína de calidad y barata, presentando minerales y vitaminas importantes, rica en aminoácidos esenciales, como la treonina, lisina, metionina, cisteína y en ocasiones triptófano (FAO, 2016).

A nivel nutricional, se puede diferenciar entre las partes del pollo (Tabla 4), desglosados en la Tabla 16 del Anexo 2. En comparación con la carne del muslo, la pechuga presenta un mayor contenido de proteínas, y un menor contenido de grasas.

**Tabla 4.** Composición de 100 g de pollo, muslo y pechuga de pollo

Unidades	Proximales	Pollo entero	Muslo de pollo	Pechuga de pollo
kcal	Energía	167	110	105
g	Proteínas	20,85	19,5	23,1
g	Agua	70,3	77,1	75,7
g	Grasa total	9,25	3,4	1,2
g	SFA	2,66	1,4	0,33
g	MUFA	2,63	1,4	0,3
g	PUFA	4,37	0,49	0,28
mg	Colesterol	110	68,3	58

SFA: Ácidos grasos saturados; MUFA: Ácidos grasos monoinsaturados; PUFA: Ácidos grasos poliinsaturados. Fuente: Bedca.

Por lo general, el contenido de ácidos grasos del pollo es bajo, aumentando al dejar la piel del animal. Los ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) presentan un único doble enlace, los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) tienen de 2 a 6 dobles enlaces y los ácidos grasos saturados (SFA) presentan enlaces simples, sin ningún doble enlace entre sus átomos de carbono. El consumo elevado de SFA está relacionado con una mayor aparición de enfermedades cardiovasculares y a un aumento de colesterol LDL. Por su parte, los MUFA reducen el contenido de dicho colesterol LDL o “colesterol malo”. Dentro de los PUFA se encuentran diferentes ácidos esenciales, los ácidos grasos omega-3 (n-3) y los ácidos grasos omega-6 (n-6), como el ácido linoleico. La carne de pollo es rica en este tipo de ácidos grasos (PUFA), sobre todo en ácidos omega-3 (FAO, 2016).

## 1.2. Gallina Murciana

La gallina Murciana es una raza autóctona de la Región de Murcia. Es muy rústica, de doble aptitud (carne y huevos), que se adapta muy bien a las condiciones ambientales de la Región, caracterizadas por altas temperaturas y pocas precipitaciones. Presenta un gran valor biológico y una fuente de diversidad. Actualmente hay censados 472 individuos repartidos por los parajes murcianos.

Fue el ingeniero agrónomo Zacarías Salazar y Mouliá quién definió la raza de gallina Murciana seleccionando los mejores ejemplares en 1933, trasladándolos a la Estación Agrícola de Alfonso XII, en Madrid (Orozco, 2001). A lo largo del siglo XX, se dio por extinguida con la industrialización de la avicultura y la introducción de híbridos

mejorados, ya que la gallina Murciana es de crecimiento lento, con unas bajas características productivas y un índice de transformación muy alto.

Con el paso de los años se fueron avistando ejemplares en la zona de Lorca y en las huertas de Murcia, donde la raza se seguía criando para el autoconsumo de las familias. Fue entonces cuando comenzó su recuperación, primero con la dedicación de unos pocos pequeños productores, y posteriormente con la intervención de organismos y centros de investigación, como la fundación Global Nature; el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA) y la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT).

Con la Orden APA/3628/2007, de 5 de diciembre, se reconoció a la gallina Murciana dentro del Catálogo Oficial de Ganado de España, catalogándola como una raza en peligro de extinción. Con el Decreto n.º 129/2010, de 4 de junio, se aprobaron las Reglamentaciones Específicas del Libro Genealógico de la gallina Murciana (BORM).

En 2009 se estableció un núcleo de gallina Murciana en la Finca Experimental Tomás Ferro bajo el proyecto de la UPCT: “Constitución y Caracterización de un Núcleo de Gallina Murciana en la ESEA enmarcado dentro del Programa de Conservación de la Raza”; que, actualmente, se ha convertido en el núcleo de esta raza con mayor número de reproductores. Más tarde, surgió la Asociación de Amigos por la Gallina Murciana (AGAMUR), una asociación de criadores que fue inscrita, el 4 de mayo de 2016, en el Registro de Asociaciones de la D.G. de Participación Ciudadana, Unión Europea y Acción Exterior (AGAMUR). Esta asociación junto con la UPCT, puso en funcionamiento el Programa de Conservación y Recuperación de la Gallina Murciana, con el fin de llevar a cabo la recuperación y conservación de la raza, aumentando el censo de animales que cumplan con el estándar racial, evitando la deriva genética, la consanguinidad, y la pérdida de variabilidad genética (AGAMUR, 2016). Para asegurar que dicho programa avale la pureza de la raza es necesaria la gestión del Libro Genealógico de la misma, en el cual se inscriben los animales que cumplen con el estándar racial y se conocen los progenitores; requisito necesario para etiquetar los productos bajo la etiqueta de “raza autóctona”; AGAMUR está reconocida para llevar la gestión del Libro por la Dirección General de Ganadería con fecha 28 de julio de 2016.

En 2019 se aprobó el proyecto denominado “Economía Circular de la Gallina Murciana” (ECOGAMUR), financiado en un 63% por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) y el 27% restante por la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Mediante el cual se pretende asegurar el programa de conservación de la raza y el reconocimiento de ésta por medio de la calidad de sus productos (huevos y carne),

intentando llegar a los hogares, primero de los productores y su círculo inmediato y luego con pretensión de conseguir un hueco en la industria aviar, obteniendo productos de gran valor añadido que hagan rentable la poca productividad de la raza; estableciendo sistemas de producción extensivos, mejorando la alimentación por medio de la incorporación de ingredientes naturales, como la harina de algarroba; y promover la elaboración de productos gastronómicos de la mano de restauradores de prestigio. Bajo este pretexto se engloba este Trabajo Final de Máster, complementando los resultados obtenidos por Pagán (2020).

Por lo general, el sistema de producción de esta gallina es en extensivo, con una proporción de 5-6 gallinas por gallo y con un enfoque de doble aptitud productiva (carne y huevos), ligados a un enfoque recreativo y de autoabastecimiento; pero, actualmente, hay algunos socios de AGAMUR que están comenzando la especialización productiva, enfocando su producción a la obtención de huevos o de carne con la pretensión de introducir su producto en la industria avícola.

#### 1.3.1. Características productivas

Como ya se ha mencionado, la gallina Murciana es una raza con unos parámetros productivos bajos, con un índice de conversión alto y una baja intensidad de puesta.

Una hembra puede poner en un año unos 110 huevos estando en su mayor rendimiento productivo, alcanzando su pico máximo en abril y cesando prácticamente la puesta los meses de verano. El huevo tiene forma ovalada y es de color blanco crema o rosáceo, con un peso medio de 55-60 g; encontrando ejemplares de menor y mayor tamaño.

El crecimiento de los pollitos es lento. En el núcleo de la UPCT se ha visto que los machos nacidos en 2020 pueden alcanzar un peso medio de 2,5 kg a los 130 días de edad y las hembras 1,5 kg a la misma edad. Los gallos con un año de edad presentan un peso medio de 3-3,5 kg y las hembras unos 2-2,3 kg, aumentando ligeramente el peso con la edad del individuo.

#### 1.3.2. Características morfológicas

Las características morfológicas de los machos y hembras de gallina Murciana están recogidas en el Decreto n.º 129/2010, de 4 de junio, donde se normaliza el estándar racial que deben cumplir todos los animales que se recojan en el Libro Genealógico.

La gallina Murciana se define como trigueña, debido al genoma del color que presenta. A su vez, hay dos variedades (Orozco, 2001): la llamada "asalmonada" o "dorada" (trigueño dominante), con tonos salmón o rojizos que el macho tiene en el manto (Figura

4) y la hembra (Figura 5) es más oscura en general. La otra variedad es la “plateada” (trigueño recesivo), donde el macho (Figura 6) tiene el manto totalmente blanco y la hembra (Figura 7) es de color blanco crema. Ambas variedades tienen en común la complexión de los animales, variando únicamente el color del plumaje. Destacando la orejilla blanca, ojos marrones-anaranjados, cresta grande y roja, tarsos amarillos y pecho completamente negro en el caso de los machos.



**Figuras 4 y 5.** Ejemplares jóvenes de raza Murciana variedad “dorada”, macho (Izqda.) y hembra (Dcha.)



**Figuras 6 y 7.** Ejemplares jóvenes de raza Murciana variedad “dorada”, macho (Izqda.) y hembra (Dcha.)

#### **1.4. Estudio del tracto gastrointestinal**

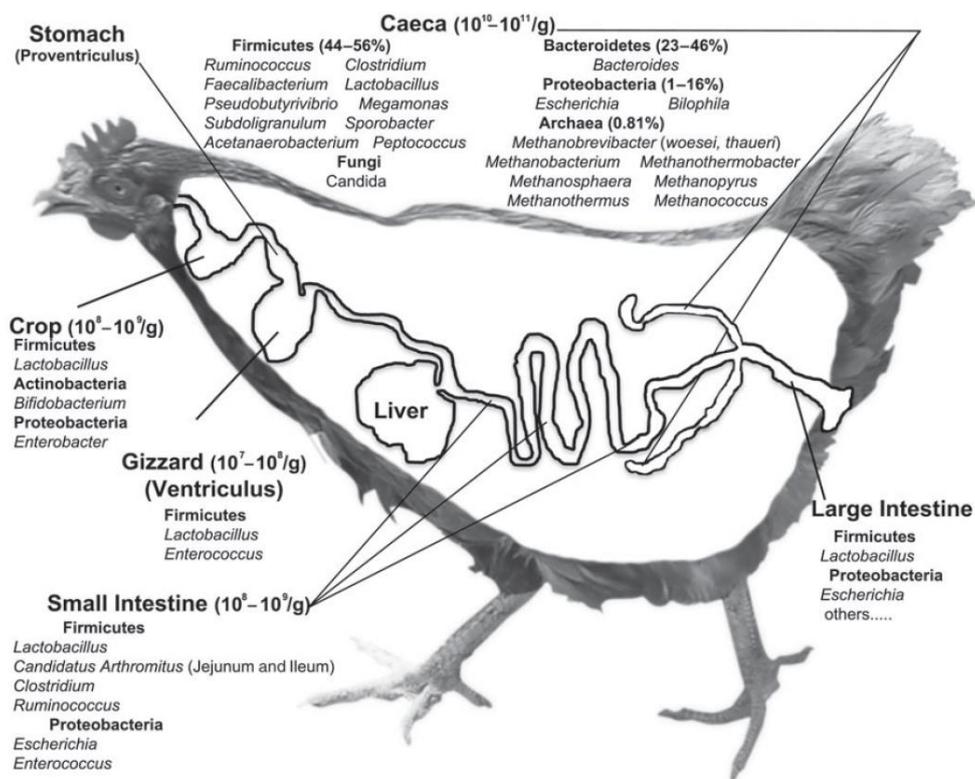
El estudio de las comunidades microbianas intestinales es muy necesario para obtener una comprensión más completa de la dinámica del microbioma gastrointestinal del pollo y utilizarlo para aumentar la eficacia de la dieta, la productividad y el bienestar animal.

El tracto gastrointestinal (TGI) de los pollos alberga multitud de comunidades microbianas que desempeñan funciones importantes en el crecimiento y desarrollo de los individuos. Son productores de ácidos grasos volátiles (AGV) de cadena corta ricos en energía; promueven la elongación de las vellosidades intestinales y la morfología de las criptas; determinan la utilización de los nutrientes; reducen la viscosidad luminal; favorecen la deconstrucción de polisacáridos dietéticos y son parte activa en la

absorción de nutrientes y en la desintoxicación del huésped, induciendo la proliferación de células de defensa (Choque *et al.*, 2008; Yeoman *et al.*, 2012; Lan *et al.*, 2020).

El TGI del pollo está habitado por diversas bacterias, arqueas metanogéicas, hongos y virus. La composición del microbioma refleja la coevolución entre los microorganismos que lo colonizan, las interacciones genéticas, inmunes y metabólicas con el huésped y las influencias ambientales. Los microorganismos se encuentran a lo largo de toda la extensión del TGI, mostrando una variación espacial en la composición de la comunidad biogeográficamente (Figura 8), así como entre las poblaciones del lumen y las asociadas a las mucosas. El ciego es la parte del TGI con mayor número de unidades taxonómicas operativas, presentando más de 2200 unidades y hasta 3500 genotipos (Yeoman *et al.*, 2012); mostrando una mayor actividad en la fermentación microbiana.

Por lo tanto, el estudio del microbioma es objeto de muchas investigaciones. La identificación de la población microbiana se ha realizado, tradicionalmente, a través de medios de cultivo; complementados con técnicas de microscopía electrónica o métodos cromatográficos (Choque *et al.*, 2008; Oakley *et al.*, 2014). Actualmente, estos métodos tradicionales se han visto reemplazados o complementados con métodos moleculares, los cuales permiten el reconocimiento de fracciones de ADN o ARN microbianos, como el uso del gen ARNr 16S (Choque *et al.*, 2008; Yeoman *et al.*, 2012; Oakley *et al.*, 2014; Lan *et al.*, 2020).



**Figura 8.** El microbioma del tracto gastrointestinal del pollo. Fuente: Yeoman *et al.* 2012

Los ácidos grasos volátiles (AGV) de cadena corta se producen con la fermentación anaerobia que se genera en el TGI del pollo cuando se digiere el alimento. Se ha demostrado que es un buen indicativo de la actividad microbiana del tracto digestivo; y su composición varía en función del microbioma y de la parte del TGI. Se utilizan como referencia para determinar la presencia de microorganismos autóctonos del microbioma intestinal de individuo y el estudio de su capacidad de colonización frente a microorganismos patógenos (Choque, 2008; Yeoman *et al.*, 2012). Además, proporcionan nutrientes para la regeneración y reparación de las células epiteliales intestinales, disminuyen el pH intestinal e inhiben el crecimiento de ciertos microorganismos dañinos como los de un grupo de bacterias *Enterobacteriaceae* (*Salmonella ssp.*, o la *Escherichia coli*) (Puyalto & Mallo, 2010; Lan *et al.*, 2020).

El principal AGV es el acetato, seguido por el propionato y el butirato (Dunkley *et al.*, 2007). El ácido butírico presenta una gran importancia, Puyalto & Mallo (2010) lo identificaron como el más efectivo contra la *Salmonella ssp.*; mejora el rendimiento del crecimiento y la función inmunológica y beneficia el equilibrio de la microflora intestinal de pollos de engorde (Lan *et al.*, 2020), es la principal fuente de energía del epitelio colónico y se ha determinado una correlación positiva entre la proliferación de células epiteliales y la concentración de ácido butírico, relacionado con un aumento de la profundidad de las criptas intestinales (Choque, 2008; Yeoman *et al.*, 2012).

## **2. OBJETIVOS**

El objetivo general de este estudio es investigar sobre el interés de la inclusión de la harina de algarroba en las dietas de pollos de raza Murciana. Para ello, se analizaron los efectos sobre pollos Murcianos de una dieta que incluía el 10% de harina de algarroba sobre:

1. Caracteres de crecimiento y eficiencia alimentaria.
2. La calidad de la canal (rendimiento y despiece).
3. La calidad de la carne (color y perfil de ácidos grasos).
4. El tracto gastrointestinal y el proceso digestivo.

Mediante estos objetivos, se busca promover el uso de harina de algarroba en la nutrición animal y la valorización de los productos obtenidos.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Material animal

El estudio se realizó con ejemplares de gallina Murciana establecidos en el núcleo de reproducción de la Estación Experimental Agroalimentaria Tomás Ferro, ubicada en La Palma, Cartagena. Se establecieron dos ensayos, haciendo dos réplicas con animales distintos, el primer ensayo (E1) constaba de 16 individuos: 8 control y 8 tratamiento; y el segundo ensayo (E2) se realizó con 20 animales: 9 control y 11 tratamiento. Finalmente se trabajó con un volumen muestral de 36 machos jóvenes. E1 comenzó el 16/03/2020, cuando los animales tenían una edad de 88 días y un peso medio de 1,7 kg, y tuvo una duración de 62 días. E2 se inició el 29/05/2020, con una edad de los animales de 102 días y un peso medio de 2 kg, con una duración de 54 días. Ambos terminaron con el sacrificio de todos los individuos; de los 16 del primer ensayo y de los 20 del segundo ensayo, con una edad de 150 y 155 días, respectivamente. El sistema de producción fue en extensivo, disponiendo de una zona cubierta con cama de paja y una zona de patio de ejercicios, con una densidad de 1 m<sup>2</sup> y 4 m<sup>2</sup>, respectivamente. Se ubicaron dos gallineros, uno para el control y otro para el tratamiento, con disposición *ad libitum* del alimento.

#### 3.2. Material vegetal

La incorporación de la harina de algarroba a la alimentación de los individuos se realizó mediante la dieta. La empresa Piensos Cartagena S.L., en colaboración con el grupo de Producción Animal de la Universidad Politécnica Cartagena formuló dos piensos isoprotéicos e isoenergéticos, uno control (dieta control = DC) y otro con un 10 % de harina de algarroba (dieta algarroba = DA) (Tabla 5 y Tabla 6).

**Tabla 5.** Composición de las dietas aportadas para el grupo control (DC) y grupo algarroba (DA)

Materia prima (%)	DC	DA
Maíz	24,50	25,00
T. Soja 47	23,20	25,50
Trigo	20,00	20,00
Cebada	10,00	-
Harina de algarroba	-	10,00
Carbonato de calcio grueso	9,30	8,60
Harinilla de trigo	8,00	4,50
Grasa animal 3/5	2,70	4,00
Fosfato monocalcico anhidro	1,77	1,85
Sal	0,34	0,35
dI-Metionina	0,19	0,20

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 6.** Valor nutricional de la dieta control (DC) y la dieta algarroba (DA)

Valor nutricional (%)	DC	DA
EMA (Kcal/Kg)	2677	2680
Materia Grasa Bruta	4,23	5,67
Proteína Bruta	17,14	17,11
Metionina	0,47	0,47
Metionina + Cisteína	0,79	0,78
Lisina	0,88	0,90
Treonina	0,62	0,63
Triptófano	0,22	0,22
Isoleucina	0,71	0,71
Arginina	1,10	1,10
Valina	0,80	0,81
P	0,71	0,71
Ca	3,98	3,82
K	0,78	0,84
Na	0,16	0,15

Fuente: elaboración propia.

El hecho de incluir la harina de algarroba en el pienso DA, supuso reemplazar la totalidad de la cebada por ésta, y para conseguir que ambos piensos fueran isoenergéticos e isoproteicos hubo que aumentar ligeramente el porcentaje de harina de soja y disminuir el porcentaje de grasa del pienso DC, y rebajar el contenido de harinilla de trigo del pienso DA, debido que la harina de algarroba es un alimento más fibroso y menos energético que la cebada.

Previa a la formulación de los piensos, la empresa Martínez-Fortún, ubicada en La Palma, proporcionó la harina de algarroba utilizada en los ensayos, presentando la composición reflejada en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Valor nutricional de la harina de algarroba utilizada en el ensayo

	%MS	% Cenizas	% PB	% EE	%FND	% FAD	% LAD
Harina de Algarroba	87,69	3,79	4,49	1,87	16,85	12,87	4,81

MS: Materia Seca; PB: Proteína Bruta; EE: Extracto Etéreo; FND: Fibra Insoluble en Detergente Neutro; FDA: Fibra Insoluble en Detergente Ácido; LAD: Lignina. Fuente: UMU.

### 3.3. Caracteres productivos

#### 3.3.1. Peso de los animales

Para controlar el crecimiento de los individuos, éstos fueron pesados al inicio ( $P_i$ ) y al final ( $P_f$ ) del ensayo.

#### 3.3.2. Consumo de pienso ( $CP_t$ )

La cantidad de pienso aportada para cada una de las dietas, durante el transcurso de los ensayos, fue contabilizada y pesada para determinar el consumo de pienso total ( $CP_t$ ). No se controló el consumo de pienso individual de cada pollo, sino el de cada uno de los lotes, habiendo finalmente dos para DC y dos para DA.

#### 3.3.3. Ganancia Media Diaria (GMD)

Se calculó el incremento de peso de cada individuo durante el ensayo ( $P_f - P_i$ ) y se sumaron todos los valores para calcular el incremento de peso total ( $\Delta P_t$ )

La velocidad de crecimiento de los individuos o Ganancia Media Diaria (GMD) (g/d) se calculó dividiendo el incremento de peso de cada individuo por el número de días del ensayo.

$$GMD \text{ (g/día)} = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{días del ensayo}}$$

#### 3.3.4. Índice de Conversión (IC)

También se calculó el Índice de Conversión (IC) por lote de engorde, para obtener la eficacia con la que los gallos objeto de estudio transformaron cada gramo de pienso en peso, es decir, calcula los kilogramos de pienso que son necesarios ser ingeridos para obtener un kilogramo de incremento de peso.

$$IC \text{ (g pienso/g carne)} = \frac{CP_t}{\Delta P_t}$$

### 3.4. Calidad de la canal

Tras el sacrificio los pollos se pesaron, obteniendo el peso vivo al sacrificio (PVS). Las canales de cada individuo se refrigeraron durante 24 horas a 4 °C, se pesaron obteniendo el peso canal fría (PCF). Se procedió al despiece obteniéndose las siguientes partes (Tabla 8): “Cuarto delantero” hace referencia al conjunto de las dos pechugas más las dos alas y la correspondiente caja torácica; “Cuarto trasero” engloba a los dos muslos más los dos contramuslos; “Pechugas” hace referencia a las dos

pechugas deshuesadas, es decir, solo el músculo; “Muslo” engloba siempre a muslo y contramuslo. Las medidas singulares del “muslo” se realizaron del lado izquierdo. El paquete intestinal lleno y vacío únicamente se pesó en los 20 individuos del segundo ensayo.

**Tabla 8.** Elementos obtenidos del eviscerado y despiece de los individuos control (DC) y algarroba (DA)

<b>Vísceras</b>	<b>Partes del despiece</b>
Corazón	Canal eviscerada
Parte no noble	Cuarto delantero (pechugas + alas)
Hígado y bazo	Pechugas
Estómago	Cuarto trasero (muslos + contramuslos)
Testículos	Muslo con hueso
Paquete intestinal lleno	Hueso muslo
Paquete intestinal vacío	Carne del muso

Fuente: elaboración propia.

Se calculó el rendimiento canal como el PCF dividido entre el PVS; el porcentaje de las vísceras también se calculó sobre el PVS y el porcentaje de cada una de las partes, sobre el PCF.

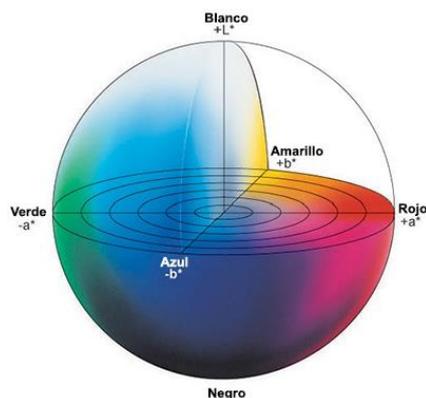
### 3.5. Calidad de la carne

#### 3.5.1. Medición del color

Se determinó el color de la pechuga izquierda y del muslo izquierdo de cada uno de los individuos. Para ello se utilizó el espacio de Color CIELAB, el cual correlaciona valores numéricos de color con la percepción visual humana; es decir, se basa en las coordenadas  $L^*a^*b^*$  para expresar color:  $L^*$  indica la luminosidad de la muestra y  $a^*$  y  $b^*$  corresponden a las coordenadas cromáticas; siendo  $a^*$ , las coordenadas rojo/verde y  $b^*$ , las amarillo/azul. A partir de éstos se calcula el croma o intensidad de color ( $C^*_{ab}$ ) y el ángulo de tono ( $h_{ab}$ ):

$$C^*_{ab} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}; \quad h_{ab} = \arctan \frac{b^*}{a^*}$$

La representación de los parámetros anteriores en el diagrama de color expresado para CIELAB (Figura 9), es el resultado de color para las muestras.



**Figura 9.** Espacio de Color CIE L\*A\*B\*

Los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  fueron obtenidos a partir de un fotocolorímetro MINOLTA Data Processor DP-301 for Chroma Meter CR -300 series (Aquatecnica S.A., Valencia, España).

### 3.5.2. Análisis de la composición de ácidos grasos

Se analizó la composición de ácidos grasos de la carne del muslo izquierdo de los individuos. Para ello, lo primero que se realizó fue la liofilización de las muestras: se trituró una parte del muslo, intentando coger de todas las muestras la misma zona; posteriormente se congelaron a  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  y se incorporaron al liofilizador, donde se mantuvieron en estado de vacío durante 24 h a  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Una vez liofilizadas, las muestras se trituraron de nuevo y se prepararon para la extracción y separación de los ácidos grasos mediante el método de síntesis directa de FAME (Fatty Acid Methyl Ester) establecida por O'Fallon *et al.* (2007), adaptado a la carne de ave.

Para poner en práctica este método se necesita disponer de 30 mg de grasa por muestra. Por lo tanto, estableciendo que la carne de muslo de pollo presenta un valor medio de grasa de 4 gramos por 100 gramos de carne, se necesitará pesar 75 mg de cada muestra. Esta cantidad fue pesada e introducida en un tubo Pyrex de 15 ml, al que posteriormente se le añadieron 0,7 ml de KOH 10 N en agua, para la saponificación de los ácidos grasos, 5,3 ml de MeOH, para la metilación de los ácidos grasos, y 1 ml de la solución patrón interno (0,5 mg/l de C13:10 en MeOH), la cual sirvió como referencia para la lectura de los ácidos grasos de la muestra estudiada. Posteriormente se incubaron las muestras durante 1,5 horas en un baño de agua a  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ , agitando cada 20 minutos con vórtex. Transcurrido el tiempo, se bajó la temperatura hasta poner las muestras a temperatura ambiente con agua del grifo y se añadieron 0,58 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  24 N. El contenido de los tubos se mezcló mediante inversión rápida y se introdujeron nuevamente en el baño de agua a  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 1,5 h. Tras esto, la temperatura de las

muestras se bajó nuevamente a T° ambiente con agua del grifo y se les añadió 1,5 ml de hexano al 95% HPLC. Se aplicó vórtex durante 5 minutos y se centrifugaron las muestras a una velocidad de 3000 rpm durante 5 minutos. Finalmente, se recogió el sobrenadante de cada muestra con una pipeta, introduciéndolo en un vial especial para la medición de los ácidos grasos mediante cromatografía de gases.

- Medición de ácidos grasos mediante cromatografía de gases

La determinación y medición de los ácidos grasos de cada una de las muestras se realizó con un cromatógrafo de gases que trabaja con los parámetros establecidos en la Tabla 9. Se pincharon 0,5 µl de las muestras obtenidas mediante el proceso anterior.

El patrón utilizado para la identificación de los ésteres metílicos fue Supelco FAME de 37 componentes. Este patrón abarca la mayoría de los ésteres metílicos de los ácidos grasos monoinsaturados, poliinsaturados y saturados más destacados, ya que está compuesto por los ésteres metílicos de ácidos grasos que van desde el C4:0 hasta el C24:1.

**Tabla 9.** Parámetros del cromatógrafo de gases

Columna	Supelco SP-2560 (100 m x 0,25 mm x 0,2 µl)
Gas portador	Helio a velocidad lineal de 20 cm/s
Relación de Split	1:50
Tª del inyector y detector FID	260°C
Rampa Tª horno	Al inicio de 140 °C durante 5 min, posteriormente se incrementa a una velocidad de 4°C/min hasta los 240 °C, la cual se mantiene durante 30 min
Patrón de ésteres metílicos	Sigmal Aldrich 47885-U

Fuente: Pagán (2020).

### 3.6. Pruebas de actividad digestiva

Las pruebas de actividad digestiva se llevaron a cabo en colaboración con el departamento de Nutrición Animal de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Murcia y se realizaron con los animales del segundo ensayo.

#### 3.7.1. Estudio de histomorfología de la mucosa intestinal

Para llevar a cabo este estudio se tomó 1 cm de la sección de íleon de 7 individuos por tratamiento. Las muestras se fijaron por inmersión en formalina tamponada al 10%. Para hacer los cortes en el micrótopo es necesario preparar las muestras con parafina, y

teñirlas con hematoxilinaeosina para hacer el estudio morfométrico de las vellosidades intestinales; que corresponde con los valores de altura, profundidad de las criptas y ratio altura/profundidad de cripta. Se midieron 10 vellosidades por individuo empleando un microscopio Leica DM6000B con cámara acoplada y el software Leica Owin (Wetzlar, Alemania).

#### 3.7.2. Estudio de ácidos grasos volátiles

De cada uno de los animales del ensayo, 9 control y 11 tratamiento, se tomó 1 g de digesta del ciego para el estudio de los ácidos grasos volátiles (AGV). Las muestras se acidificaron con 0,032 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (50:50), posteriormente congelándolas a -20 °C hasta la determinación de los AGV, los cuales se midieron según la metodología de Oliveira *et al.* (2014).

#### 3.7.3. Estudio de la viscosidad

Para el estudio de la viscosidad se tomaron muestras de contenido de yeyuno de los 9 individuos control y 11 tratamiento. Se centrifugaron en Eppendorf de 2 ml, durante 5 minutos a 12000 x g (Lee *et al.*, 2004a) a una temperatura de 4 °C. El sobrenadante fue obtenido para el posterior análisis de la viscosidad, el cual se determinó mediante un reómetro AR-G2 DE TA INSTRUMENTS, a partir de 0,5 ml de sobrenadante, a 37 °C, con la geometría cono/plato, con ángulo del cono de 1° y diámetro del plato de 40 mm, siguiendo la metodología de Lee *et al.* (2004b).

#### 3.7.4. Estudio de secuenciación masiva

Se tomaron 5 muestras de contenido cecal de 5 individuos por tratamiento, que se mantuvieron en congelación a -80 °C hasta la realización de los análisis. Éstas se utilizaron para el estudio de secuenciación masiva (procedimiento y tratamiento bioestadístico) en el IMIB (Instituto Murciano de Investigación Biosanitaria), siguiendo la metodología de Kostic *et al.* (2012).

### 3.7. Análisis estadístico

El análisis estadístico de todas las variables se realizó mediante el programa estadístico SPSS Statistics (v.25.0) (SPSS, Chicago, IL, USA). Eliminando previamente los datos atípicos y comprobando las hipótesis de normalidad.

### 3.8.1. Análisis estadístico de los caracteres productivos, de calidad de la canal y carne

El análisis estadístico de los caracteres de productivos, de calidad de la canal, de color y del perfil de ácidos grasos se realizó mediante el siguiente modelo lineal general:

$$Y_{ijk} = \mu + Dieta_i + Ensayo_j + e_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = valor del parámetro estudiado para el individuo k; con tratamiento i y ensayo j, para la variable estudiada (por ejemplo: porcentaje de muslo del individuo)

$\mu$  = media poblacional para la variable estudiada

$Dieta_i$  = dieta aportada a los individuos (i = Dieta Control (DC) y Dieta Algarroba (DA))

$Ensayo_j$  = ensayo realizado (j = Ensayo 1 (E1) y Ensayo 2 (E2))

$e_{ijk}$  = error

Se consideró significativo un efecto significativo para  $P < 0,05$  y muy significativo para  $P < 0,01$ .

### 3.8.2. Análisis estadístico de las pruebas de actividad digestiva

El análisis estadístico de las pruebas de actividad digestiva se realizó añadiendo la covariable peso, mediante el siguiente modelo lineal general:

$$Y_{ijk} = \mu + Dieta_i + Ensayo_j + \beta * peso + e_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = valor del parámetro estudiado para el individuo k; con tratamiento i y ensayo j, para la variable estudiada (por ejemplo: altura de las vellosidades)

$\mu$  = media poblacional para la variable estudiada

$Dieta_i$  = dieta aportada a los individuos (i = Dieta Control (DC) y Dieta Algarroba (DA))

Ensayoj = ensayo realizado (j = Ensayo 1 (E1) y Ensayo 2 (E2))

$\beta$  = es el coeficiente de regresión entre la variable analizada y la covariable peso en el sacrificio (peso final)

$e_{ijk}$  = error

Se consideró un efecto significativo para  $P < 0,05$  y muy significativo para  $P < 0,01$ .

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Caracteres de crecimiento

En la Tabla 10 se muestran los valores medios para los caracteres de crecimiento en función de la dieta utilizada, corregidos por el efecto del ensayo (E1 y E2), no añadiendo los datos obtenidos para éstos, debido a que no son el objetivo de este estudio. Se observa que no se produjeron diferencias significativas respecto a ninguno de los parámetros utilizados para medir el crecimiento de los individuos, entre la dieta control (DC) y la dieta con la inclusión de la harina de algarroba al 10% (DA). Los animales partieron de un mismo peso inicial, y con una ganancia media diaria (GMD) similar llegaron a un peso final de 2,34 kg con una edad media de 22 semanas. No hubo diferencias significativas ni para CP<sub>t</sub> ni para el IC, debido a que no fueron estimados con precisión. Bornstein *et al.* (1965) observaron un cierto rechazo por parte del individuo a la dieta con inclusión de la algarroba, sin poder asociarlo con la diferencia de volumen entre éstas. Teniendo en cuenta el número de pollos por ensayo, se pudo estimar el consumo de pienso diario por individuo según la dieta, obteniéndose los valores de 134,3 y 117,2 g/d para DC y DA, respectivamente.

**Tabla 10.** Efecto de la inclusión de harina de algarroba en la dieta de pollos de raza Murciana sobre los parámetros productivos (media  $\pm$  error estándar)

	DC	DA
<i>N</i>	17	19
Edad inicial (días)	95	95
Edad final (días)	153 (22 sem.)	153 (22 sem.)
Peso inicial (g)	1821 $\pm$ 46,6	1814 $\pm$ 44,5
Peso final (g)	2369 $\pm$ 57,4	2367 $\pm$ 54,9
Incremento peso (g)	547,4 $\pm$ 38,5	553,4 $\pm$ 36,8
GMD (g/día)	9,57 $\pm$ 0,61	9,43 $\pm$ 0,60
<i>N</i>	2	2
CP <sub>t</sub> (kg)	77,0 $\pm$ 6,41	71,3 $\pm$ 6,41
IC (g pienso/g carne)	17,1 $\pm$ 1,66	13,8 $\pm$ 1,67

<sup>ab</sup> Diferentes superíndices dentro de cada fila, indican diferencias significativas entre las dietas (P<0,05); DC: Dieta Control; DA: Dieta Algarroba; N: número de individuos; Sem.: semana., CP<sub>t</sub>: Consumo de Pienso Total; IC: Índice de Conversión; GMD: Ganancia Media Diaria.

Sustituyendo por completo el porcentaje de maíz de la dieta de pollos de engorde por harina de algarroba, sin regular los valores nutricionales, Kratzer & Williams (1951) identificaron que el aporte de la harina de algarroba en una tasa superior al 5% provocaba una reducción del crecimiento y un aumento del índice de transformación, acompañado de un incremento del consumo de pienso de los individuos. Bornstein *et al.* (1965) determinaron una reducción significativa de la tasa de crecimiento diario y de la eficiencia alimenticia con la inclusión del 20% y 30%. Sin embargo, en condiciones isoenergéticas e isonitrogenadas, Vohra & Kratzer (1964) no encontraron efectos depresivos del crecimiento con una inclusión de hasta el 20% de vainas de algarroba. El efecto depresor de la algarroba puede estar asociado a un bajo aporte energético de la dieta, pudiendo mitigarse con la suplementación de aceite de soja (Vohra & Kratzer, 1964 y Bornstein *et al.*, 1965). La dieta DA fue suplementada con un incremento de la harina de soja en un 2,3% y se disminuyó el porcentaje de harinilla de trigo con respecto a la DC, para igualar los niveles de proteína y de energía (Tabla 5). Otro factor a tener en cuenta fue la edad y la raza de los individuos DC y DA, ya que procedían de una raza rústica, y con una edad media de 95 días, podrían tener mejor desarrollado el tracto digestivo, tolerando mejor la afección depresiva de la dieta DA, en comparación con los pollitos de engorde comerciales de un día de edad empleados por Kratzer & Williams (1951); Vohra & Kratzer (1964) y Bornstein *et al.* (1965).

La inclusión de la harina de la algarroba también se ha estudiado en otras especies, Sahle *et al.* (1992) no observaron un efecto depresor sobre la tasa de crecimiento de la inclusión hasta el 20% de harina de algarroba en gansos, a pesar de reducir el contenido energético de la dieta tratamiento. En condiciones de dietas isoenergéticas e isonitrogenadas, Obeitat *et al.* (2011) no observaron ningún efecto adverso sobre la inclusión del 12,5% y 25% de vainas de algarroba en corderos con respecto a los caracteres de crecimiento, al igual que lo obtenido por Gravador *et al.* (2015) y Gobindram *et al.* (2015), aumentando el porcentaje de inclusión de pulpa de algarroba al 24% y 35%. Kotrotsios *et al.* (2012) obtuvieron mayores pesos al sacrificio de cerdos de engorde con dietas al 7,5% y 10% de inclusión, al contrario que Inserra *et al.* (2015), los cuales no encontraron efectos de la dieta sobre estos parámetros. En conejo se produjo un aumento considerado del rendimiento del crecimiento con una inclusión del 5% y una fuerte depresión con valores del 10% (Abu Hafsa *et al.*, 2017). Los resultados obtenidos por otros autores son bastante variables, pero, por lo general, no se aprecian efectos depresores de la harina de algarroba sobre los caracteres de crecimiento, ajustando la dieta con el aporte correspondiente en función de la especie objeto de estudio.

En cuanto a la caracterización de la raza, los pollos de gallina Murciana no pudieron compararse con los animales empleados para la producción cárnica comercial, los cuales alcanzan un peso final de 2,26 kg en 42 días (Maharjan *et al.*, 2021), lo que difiere de los 153 días que necesitaron los individuos DC y DA para alcanzar un peso similar. La principal diferencia radicó en el índice de conversión, ya que los pollos broilers presentan valores de IC en torno a 1,5 g/g a los 42 días de edad y una GMD en torno a 68,90 - 104 g/d (Zuidhof *et al.*, 2014; Tejeda *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2021). Los valores obtenidos para los pollos de crecimiento lento comerciales son ligeramente más altos, Singh *et al.* (2020) obtuvieron un peso vivo a los 55 días de 2 kg, con un IC en torno al 2,14 g/g.

Los resultados obtenidos son más parecidos a los de otras razas de crecimiento lento autóctonas, como es el caso de la gallina de Sobrarbe (Cajal & Francesch., 2014), cuyos gallos obtuvieron un peso a las 19 semanas de 2,1 kg, con un IC de 4,6 g/g, valor que se situó por encima de los obtenidos para la gallina Castellana Negra (Miguel *et al.*, 2011), cuyos individuos alcanzaron a las 18 semanas un peso de 1,9 kg, con una GMD de 11,29 (g/día) y un IC de 7,05; Rivero *et al.* (2007) determinaron, para la Galiña de Mos un peso de 3,2 kg a las 20 semanas, con un IC de 4,5. Resultados que también distan mucho de los obtenidos para los gallos Murcianos (GMD = 9,5 g/día; IC = 17,1 para DC y 13,8 para DA). Por lo tanto, se observa cómo esta raza de ave ligera autóctona de España, es una de las de menor rendimiento productivo. Al contrario que otras aves como la Penedesenca Negra, Empordanesa Roja o la Prat Leonada, las cuales están sujetas a programas de mejora genética enfocadas a la obtención de un pollo de carne con fines comerciales (Miguel *et al.*, 2008).

#### **4.2. Calidad de la canal**

No se observaron diferencias significativas para DC y DA sobre el peso de los parámetros de composición de la canal (Tabla 11). El peso de la canal fría (PCF) fue de 1,7 kg para DC y de 1,6 kg para DA.

Aunque no se apreciaron diferencias en cuanto al peso de los componentes de la canal, sí se observaron ciertas diferencias en los porcentajes (Tabla 12). En el porcentaje de cuarto trasero se observaron diferencias significativas entre ambas dietas. DA obtuvo un valor de 34,6%, frente al 32,7% de DC. Estas diferencias también fueron representativas en el porcentaje de muslo con hueso y en el de carne del muslo (muslo deshuesado), siendo igualmente mayor el valor para DA. Esto significó un aumento en la proporción de muslo y contramuslo sobre la canal eviscerada de los individuos que ingirieron la dieta con inclusión de la harina de algarroba.

**Tabla 11.** Efecto de la inclusión de harina de algarrobo en la dieta de pollos de raza Murciana sobre el peso de las diferentes partes de la canal en gramos (g) (media  $\pm$  error estándar)

	DC	DA
<i>N</i>	17	19
Canal Fría	1656 $\pm$ 37,9	1612 $\pm$ 36,2
Cuarto delantero <sup>+</sup>	437 $\pm$ 16,7	433 $\pm$ 16,7
Cuarto trasero	540 $\pm$ 13,3	543 $\pm$ 13,0
Pechugas <sup>+</sup>	203 $\pm$ 14,9	215 $\pm$ 14,9
Muslo con hueso	271 $\pm$ 6,69	271 $\pm$ 6,53
Hueso del muslo	76,8 $\pm$ 3,26	73,2 $\pm$ 3,12
Carne del muslo	188 $\pm$ 4,91	194 $\pm$ 4,74
Corazón	13,8 $\pm$ 0,59	14,0 $\pm$ 0,57
Hígado y bazo	45,7 $\pm$ 1,26	44,3 $\pm$ 1,18
Testículos	37,9 $\pm$ 1,88	37,1 $\pm$ 1,96
Estómago <sup>+</sup>	59,5 $\pm$ 3,40	59,7 $\pm$ 3,40
<i>N</i>	9	11
Paquete intestinal lleno	117 $\pm$ 7,02	112 $\pm$ 6,35
Paquete intestinal vacío	46,4 $\pm$ 1,80	42,8 $\pm$ 1,63

<sup>ab</sup> Diferentes superíndices dentro de cada fila, indican diferencias significativas entre las dietas ( $P < 0,05$ ); <sup>+</sup> análisis realizado únicamente con las muestras del primer ensayo debido a un error en la toma de muestras; DC: Dieta Control; DA: Dieta Algarroba; N: número de individuos.

Autores como Kotrotsios *et al.* (2012) obtuvieron mayores pesos de la canal para los individuos con la inclusión dietética, motivado por el aumento de peso al sacrificio, pero sin verse afectado el rendimiento de la canal. Abu Hafsa *et al.* (2017) observaron una clara influencia de la harina de algarroba sobre el rendimiento de las canales, disminuyendo su peso significativamente con una inclusión del 10%, acompañado de un aumento del peso porcentual de hígado y riñón; sin observarse tales efectos depresores con un porcentaje de inclusión del 5%. En otros casos, los caracteres de calidad de la canal no sufrieron diferencias significativas con respecto a la dieta control (Obeitat *et al.*, 2011; Gobindram *et al.*, 2015).

**Tabla 12.** Efecto de la inclusión de harina de algarrobo en la dieta de pollos de raza Murciana sobre los parámetros de composición de la canal, en (1): % de peso vivo final o (2): % peso canal eviscerada (media  $\pm$  error estándar)

	DC	DA
<i>N</i>	17	19
%Rendimiento canal <sup>1</sup>	68,1 $\pm$ 0,63	69,0 $\pm$ 0,60
%Cuarto delantero <sup>2+</sup>	26,6 $\pm$ 0,64	28,1 $\pm$ 0,64
%Cuarto trasero <sup>2</sup>	32,7 <sup>a</sup> $\pm$ 0,34	34,6 <sup>b</sup> $\pm$ 0,34
%Pechugas <sup>2+</sup>	12,4 $\pm$ 0,81	13,8 $\pm$ 0,81
%Muslo con hueso <sup>2</sup>	16,4 <sup>a</sup> $\pm$ 0,21	17,0 <sup>b</sup> $\pm$ 0,20
%Hueso del muslo <sup>2</sup>	4,75 $\pm$ 0,16	4,60 $\pm$ 0,15
%Carne del muslo <sup>2</sup>	11,5 <sup>a</sup> $\pm$ 0,28	12,4 <sup>b</sup> $\pm$ 0,26
%Corazón <sup>1</sup>	0,58 $\pm$ 0,02	0,59 $\pm$ 0,02
%Hígado y bazo <sup>1</sup>	1,96 $\pm$ 0,06	1,88 $\pm$ 0,06
%Testículos <sup>1</sup>	1,61 $\pm$ 0,09	1,48 $\pm$ 0,08
%Estómago <sup>1+</sup>	2,54 $\pm$ 0,13	2,68 $\pm$ 0,13
<i>N</i>	9	11
%Paquete intestinal lleno <sup>1</sup>	4,88 $\pm$ 0,30	4,56 $\pm$ 0,27
%Paquete intestinal vacío <sup>1</sup>	1,94 $\pm$ 0,09	1,74 $\pm$ 0,08

<sup>ab</sup> Diferentes superíndices dentro de cada fila, indican diferencias significativas entre las dietas ( $P < 0,05$ ); + análisis realizado con las muestras del primer ensayo debido a un error en la toma de muestras; DC: Dieta Control; DA: Dieta Tratamiento; N: número de individuos; %: porcentaje.

El rendimiento de la canal fue del 68% para DC y del 69% para DA, los cuales resultaron valores ligeramente inferiores a los reportados para broilers comerciales. Singh *et al.* (2020) observaron un rendimiento de canal para pollos de crecimiento rápido, de 32 días de edad, del 76% y para los individuos de crecimiento lento de 55 días del 73%, determinando que el rendimiento de la canal disminuyó para los animales de crecimiento lento, al igual que el porcentaje de la pechuga, siendo del 27% para broilers y del 18% para los de crecimiento lento. El porcentaje de pechugas (12% para DC y 14% para DA) y de cuarto trasero (33% para DC y 35% para DA) obtenidos, fueron más cercanos a los determinados para variedades de crecimiento lento, y más concretamente a los observados en Castellana Negra, reportando valores de porcentaje de pechugas del 17% y 14%, y de porcentaje de cuarto trasero del 30% y 32% detallados por Miguel *et al.* (2008) y Miguel *et al.* (2011), respectivamente. Pero es de resaltar la edad de los

individuos, siendo de 15 semanas en el primer caso y de 18 semanas en el segundo; es decir, fueron individuos más jóvenes que los de DC y DA.

#### 4.4. Calidad de carne

##### 4.4.1. Medición del color

El color es un parámetro muy importante, ya que es lo primero que percibe el consumidor y puede ser un indicador de menor o mayor calidad y estado de conservación. También se está convirtiendo en un factor diferenciador, ya que el mercado actual está identificando el color “blanco” con los productos derivados de pollos de engorde típicamente comerciales, y el color “amarillo” con los de pollos de crecimiento lento y con un derivado aumento del bienestar animal.

En los resultados obtenidos para el color del muslo (Tabla 13), no se apreciaron diferencias significativas entre DC y DA en ninguno de los parámetros, exceptuando el ángulo de tono ( $h_{ab}$ ), donde DC presentó un valor de 15,7; siendo significativamente mayor que el 12,0 de la DA, es decir, DC presentó un color más intenso con respecto a DA.

**Tabla 13.** Efecto de la inclusión de harina de algarrobo en la dieta de pollos de raza Murciana sobre el color del muslo y de la pechuga (media  $\pm$  error estándar)

		DC	DA
	N	17	19
MUSLO	L	44,5 $\pm$ 0,53	43,2 $\pm$ 0,53
	a	12,6 $\pm$ 0,58	12,3 $\pm$ 0,55
	b	3,62 $\pm$ 0,31	2,78 $\pm$ 0,29
	C <sub>ab</sub>	13,2 $\pm$ 0,59	12,8 $\pm$ 0,58
	h <sub>ab</sub>	15,7 <sup>a</sup> $\pm$ 1,24	12,0 <sup>b</sup> $\pm$ 1,18
PECHUGA	L	47,2 $\pm$ 0,51	47,7 $\pm$ 0,49
	a	6,81 <sup>a</sup> $\pm$ 0,35	5,57 <sup>b</sup> $\pm$ 0,34
	b	3,60 <sup>a</sup> $\pm$ 0,28	1,50 <sup>b</sup> $\pm$ 0,27
	C <sub>ab</sub>	7,65 <sup>a</sup> $\pm$ 0,39	6,18 <sup>b</sup> $\pm$ 0,38
	h <sub>ab</sub>	26,7 <sup>a</sup> $\pm$ 2,34	20,0 <sup>b</sup> $\pm$ 2,16

<sup>ab</sup> Diferentes superíndices dentro de cada fila, indican diferencias significativas entre las dietas (P<0,05); DC: Dieta Control; DA: Dieta Tratamiento; N: número de individuos.; L: claridad; a: posición de color entre rojo y verde; b: posición de color entre amarillo y azul; C<sub>ab</sub>: croma (intensidad de color); h<sub>ab</sub>: ángulo de tono.

En el caso de la pechuga si se apreciaron mayores diferencias entre ambos grupos, el índice rojo/verde ( $a^*$ ) fue superior para DC, al igual que el índice amarillo/azul ( $b^*$ ), la intensidad de color ( $C_{ab}$ ) y el ángulo de tono ( $h_{ab}$ ). Lo que significó que la pechuga de DC, partiendo del mismo nivel de luminosidad ( $L^*$ ), presentó un color más rojizo, amarillo y de mayor intensidad. Por lo que la inclusión de la harina de algarroba provocó la obtención de pechugas con un color menos intenso, es decir, con una coloración más neutra. Estos efectos también fueron observados por Pagán (2020), donde la inclusión de harina de algarroba en la dieta de reproductores de gallina Murciana generó que la coloración de la yema de los huevos obtenidos fuese más clara, amarillenta, con menos intensidad de color y ángulo de tono, presentando las yemas control una coloración más anaranjada.

#### 4.4.2. Análisis de la composición de ácidos grasos

La inclusión de la harina de algarroba en la dieta de los individuos generó diferencias significativas en el contenido de ácidos grasos (AG) de la carne del muslo. El contenido total (Tabla 14) de AG fue de 3,43 mg/100 g para DC y de 2,73 mg/100 g para DA; con tendencia ( $P < 0,10$ ) a presentar una diferencia significativa. Esta diferencia entre dietas fue principalmente debida a un mayor contenido en el ácido palmítico (C 16:0), el ácido esteárico (C 18:0) y una tendencia ( $P < 0,10$ ) a mayor contenido del ácido oleico (C 18:1  $\omega$ -9) en DC, aumentando el contenido de los ácidos grasos saturados (SFA) totales y de los monoinsaturados totales (MUFA). Gravador *et al.* (2015) también obtuvieron una disminución del contenido total de SFA y MUFA por la inclusión de pulpa de algarroba en la dieta de corderos con respecto al control, pero con un incremento de la concentración total de AG poliinsaturados (PUFA). En la inclusión de harina de algarroba en cerdos, Inserra *et al.* (2015) encontraron un mayor contenido de ácidos grasos totales MUFA en los animales del tratamiento, y un menor contenido de SFA y PUFA con respecto al control.

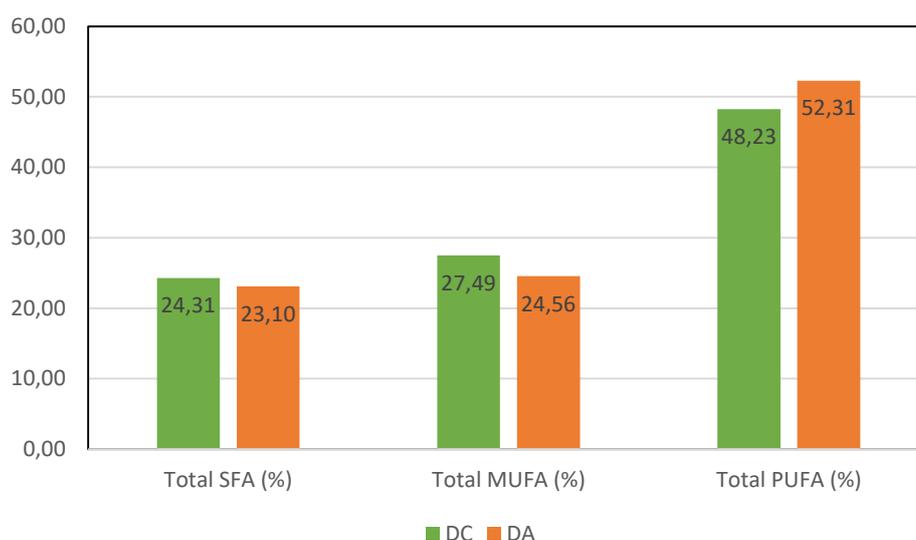
**Tabla 14.** Composición de ácidos grasos (media  $\pm$  error estándar) de la carne de pollo de raza Murciana expresado en mg de AG /100 gr de muestra y % con respecto al total de ácidos grasos

	DC	DA	DC	DA
	<i>mg de AG /100 g de muestra</i>		<i>%</i>	
<b>Ácidos grasos insaturados (SFA)</b>				
Ac. Mirístico (C 14:0)	0,002 $\pm$ 0,002	0,015 $\pm$ 0,002	0,58	0,55
Ac. Pentadecanoico (C 15:0)	0,003 $\pm$ 0,001	0,002 $\pm$ 0,001	0,09	0,07
Ac. Palmítico (C 16:0)	0,380 <sup>a</sup> $\pm$ 0,037	0,276 <sup>b</sup> $\pm$ 0,036	11,09	10,10
Ac. Heptadecanoico (C 17:0)	0,025 $\pm$ 0,003	0,019 $\pm$ 0,003	0,73	0,70
Ac. Esteárico (C 18:0)	0,406 <sup>a</sup> $\pm$ 0,022	0,318 <sup>b</sup> $\pm$ 0,021	11,85	11,64
Total SFA	0,833 <sup>a</sup> $\pm$ 0,064	0,631 <sup>b</sup> $\pm$ 0,061	24,34	23,10
<b>Ácidos grasos monoinsaturados (MUFA)</b>				
Ac. Palmitoleico (C 16:1 $\omega$ -7)	0,147 $\pm$ 0,022	0,101 $\pm$ 0,021	4,29	3,70
Ac. Oleico (C 18:1 $\omega$ -9)	0,788 $\pm$ 0,090	0,570 $\pm$ 0,086	22,99	20,86
Ac. 11-eicosenoico (C 20:1 $\omega$ -9)	0,006 $\pm$ 0,003	0,000 $\pm$ 0,003	0,18	0,00
Total MUFA	0,942 <sup>a</sup> $\pm$ 0,113	0,671 <sup>b</sup> $\pm$ 0,108	27,49	24,56
<b>Ácidos grasos poliinsaturados (PUFA)</b>				
<i>Familia <math>\omega</math>-3</i>				
Ac. Alfa-linolénico (C 18:3 $\omega$ -3)	0,043 $\pm$ 0,007	0,035 $\pm$ 0,006	1,25	1,28
<i>Familia <math>\omega</math>-6</i>				
Ac. Linoleico (C 18:2 $\omega$ -6)	1,101 $\pm$ 0,084	0,883 $\pm$ 0,08	32,13	32,32
Ac. Linolelaídico (C 18:3 $\omega$ -6)	0,000 $\pm$ 0,005	0,007 $\pm$ 0,004	0,00	0,26
Ac. Eicosadienoico (C 20:2 $\omega$ -6)	0,005 $\pm$ 0,002	0,000 $\pm$ 0,002	0,15	0,00
Ac. Araquidónico (C 20:4 $\omega$ -6)	0,505 $\pm$ 0,018	0,504 $\pm$ 0,017	14,74	18,45
Total PUFA	1,653 $\pm$ 0,098	1,429 $\pm$ 0,088	48,23	52,31
<b>Total AG</b>	<b>3,427 <math>\pm</math> 0,267</b>	<b>2,732 <math>\pm</math> 0,255</b>	-	-

<sup>ab</sup> Diferentes superíndices dentro de cada fila, indican diferencias significativas entre las dietas ( $P < 0,05$ ); DC: Dieta Control; DA: Dieta Tratamiento; SFA: Ácidos grasos saturados; MUFA: Ácidos grasos monoinsaturados; PUFA: Ácidos grasos poliinsaturados; N: número de individuos DC = 17 y DA = 19.

En el perfil de los ácidos grasos, los PUFA representaron prácticamente la mitad del contenido total de AG (Figura 10), con un 48% en DC y un 53% en DA, seguido por el contenido total de MUFA (27% para DC y 25% para DA) y por el contenido total de SFA

representando el 24 y 23% para DC y DA, respectivamente. Mohebodini *et al.* (2020) encontraron valores superiores para el contenido de AG en pollos de engorde, determinando que, para los individuos control, el porcentaje total de SFA fue del 38%, para los MUFA del 42% y para los PUFA del 30%; al igual que lo obtenido por Valentini *et al.* (2020). Mancinelli *et al.* (2020) observaron una relación en el contenido de AG en función del tipo de crecimiento del pollo, determinando que los individuos procedentes de una raza de crecimiento lento presentaron una menor cantidad de AG respecto a los animales procedentes de una raza de crecimiento medio y rápido; los autores relacionaron este hecho con el carácter cinético de la raza.



**Figura 10.** Contenido total de Ácidos Grasos Saturados (SFA), Monoinsaturados (MUFA) y Poliinsaturados (PUFA), expresados en porcentaje (%) sobre el contenido total de ácidos grasos de la carne de muslo de pollo de raza Murciana para la Dieta Control (DC) y Tratamiento (DA).

Los ácidos grasos con una mayor predominancia, tanto para la dieta control como para el tratamiento, fueron, de menor a mayor concentración, el ácido palmítico (C 16:0), el ácido esteárico (C 18:0), el ácido araquidónico (C 20:4  $\omega$ -6), el ácido oleico (C 18:1  $\omega$ -9) y por último el ácido linoleico (C 18:2  $\omega$ -6), al igual que determinaron Mohebodini *et al.* (2020) y Valentini *et al.* (2020). Este último AG esencial, el ácido linoleico (C 18:2  $\omega$ -6), representó el 32% del contenido total de AG, con unos valores de 1,10 y de 0,88 mg/100 g para DC y DA, respectivamente. Por lo tanto, la carne de gallina Murciana es rica en ácidos grasos poliinsaturados omega-6 ( $\omega$ -6), pero se determinó poca presencia de los PUFA omega-3 ( $\omega$ -3), siendo el ácido alfa-linolénico (C 18:3  $\omega$ -3) el único representante de este grupo, con un 1,25% y 1,28% para DC y DA, respectivamente; con valores similares a los obtenidos por Valentini *et al.* (2020). Para aumentar el contenido de estos AG tan demandados, se han realizado diversos estudios para

enriquecer la carne de pollo con ácidos grasos omega-3, como el realizado por Wang *et al.* (2020) y Gallinger (2015), utilizando fuentes de origen vegetal y animal, e incorporando vitamina E, o por Castro & Zegarra (2020), mediante la incorporación de semillas de lino a las dietas de pollos comerciales.

#### **4.5. Efectos en la actividad digestiva**

##### **4.5.1. Estudio de las vellosidades intestinales y del contenido de ácidos grasos volátiles**

Lo que se persigue con el análisis de las vellosidades del intestino es el estudio del efecto de la dieta sobre la longitud de las vellosidades y la profundidad de la cripta, ya que vellosidades más largas y criptas poco profundas, está asociado al aumento de la eficiencia de crecimiento y de la superficie de absorción de nutrientes. Por el contrario, una mayor profundidad y anchura de las criptas está relacionada con la actividad regenerativa del epitelio.

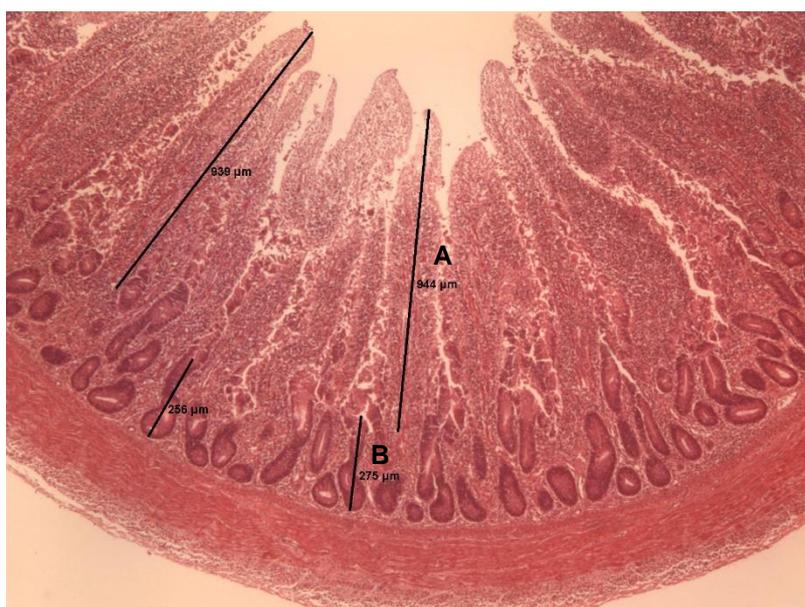
El estudio histomorfológico (Tabla 15) de la mucosa intestinal del íleon (Figura 11) no mostró diferencias significativas entre tratamientos, pero si hubo una tendencia ( $P < 0,10$ ) para la altura de las vellosidades, presentando un valor mayor para DC, siendo de 847,68  $\mu\text{m}$ , frente a los 737,83  $\mu\text{m}$  de DA. La altura de las DC fue ligeramente superior a las determinadas por otros estudios realizados en pollos de engorde alimentados con una dieta comercial similar: 774,16  $\mu\text{m}$  en pollos de 35 días de edad (Salim *et al.*, 2013) y una altura de 691,9  $\mu\text{m}$  en pollos de 42 días (Chávez *et al.*, 2015). Este incremento de la altura puede estar directamente relacionado con el aumento de la edad de los individuos (Choque, 2008). Por el contrario, la profundidad de la cripta fue mayor a las medidas encontradas habitualmente en pollos comerciales, siendo la de DC de 242,6  $\mu\text{m}$  y la de DA de 230,6  $\mu\text{m}$ , superior a la profundidad de 125,4  $\mu\text{m}$  determinada por Chávez *et al.* (2015). Finalmente, la ratio altura/profundidad fue de 3,53 para DC y de 3,24 para DA, mostrando un valor inferior a lo establecido en otros estudios, como el ratio de 5,39 observado por Chávez *et al.* 2015.

Todos estos resultados pueden ser indicativos de una mayor actividad regenerativa del epitelio de las vellosidades de íleon de los individuos DC y DA, disminuyendo su capacidad de absorción de nutrientes, lo cual puede estar relacionado con la baja eficiencia de conversión del pienso de estas aves.

**Tabla 15.** Efecto de la inclusión de harina de algarrobo en la dieta de pollos de raza Murciana sobre los parámetros de eficiencia digestiva (media  $\pm$  error estándar)

	DC	DA	Covariable peso
<b>Estudio histomorfológico</b>			
<i>N</i>	6 <sup>+</sup>	7	
Altura de la vellosidad ( $\mu\text{m}$ )	847,68 $\pm$ 41,15	737,83 $\pm$ 41,15	-0,242 $\pm$ 0,141
Profundidad de la cripta ( $\mu\text{m}$ )	242,43 $\pm$ 14,25	230,75 $\pm$ 13,29	0,010 $\pm$ 0,046
Ratio altura/profundidad	3,53 $\pm$ 0,11	3,24 $\pm$ 0,09	0,000** $\pm$ 0,000
<b>Estudio de los ácidos grasos volátiles (AGV)</b>			
<i>N</i>	9	11	
Total AGV, $\mu\text{moles/g}$	108,1 <sup>a</sup> $\pm$ 6,85	82,6 <sup>b</sup> $\pm$ 6,18	0,017 $\pm$ 0,02
Ac. Acético (%)	53,6 $\pm$ 1,44	53,9 $\pm$ 1,30	0,006 $\pm$ 0,004
Ac. Propiónico (%)	28,3 $\pm$ 1,02	26,1 $\pm$ 0,92	0,005 $\pm$ 0,003
Ac. Butírico (%)	14,2 $\pm$ 1,11	13,8 $\pm$ 1,00	0,002 $\pm$ 0,003
Ac. Isobutírico (%)	1,02 $\pm$ 0,30	1,74 $\pm$ 0,27	0,000 $\pm$ 0,001
Ac. Isovalérico (%)	1,20 $\pm$ 0,34	2,05 $\pm$ 0,31	0,001 $\pm$ 0,001
Ac. Valérico (%)	1,62 <sup>a</sup> $\pm$ 0,26	2,48 <sup>b</sup> $\pm$ 0,24	0,000 $\pm$ 0,000
<b>Estudio de la viscosidad</b>			
<i>N</i>	9	11	
Viscosidad (mPa.s)	2,37 $\pm$ 0,07	2,39 $\pm$ 0,07	0,000 $\pm$ 0,000

<sup>+</sup> Un individuo del tratamiento control no pudo ser analizado por el deterioro de la mucosa; <sup>ab</sup> Diferentes números dentro de cada fila, indican diferencias significativas entre las dietas ( $P < 0,05$ ); \*\*: significancia ( $P < 0,01$ ); DC: Dieta Control; DA: Dieta Algarroba; N: número de individuos; Peso promedio para estudio histomorfológico: 2379,23 g; Peso promedio para AGV y viscosidad: 2445,85 g



**Figura 11.** Altura (A) de la vellosidad del íleon y profundidad de la cripta (B), de un pollo Murciano.

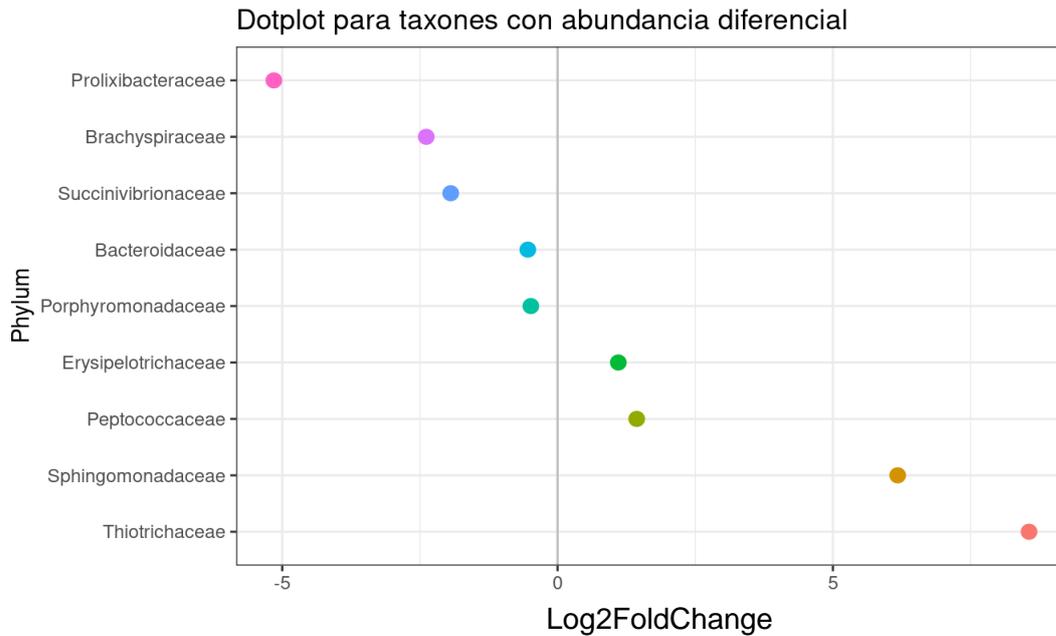
Los resultados para los gallos Murcianos mostraron diferencias significativas en el contenido total de AGV, siendo mayor para la DC (108,14  $\mu$ moles/g) con respecto a DA (82,67  $\mu$ moles/g). Esta diferencia pudo estar relacionado con un menor contenido de microbioma intestinal de los pollos a los que se le aportó harina de algarroba, dieta que, quizás, pudo ocasionar un ambiente más dañino para la colonización de los microorganismos, relacionado con una menor actividad digestiva. Sin embargo, el contenido de ácido valérico fue significativamente superior para DA. Por el contrario, autores como Abu Hafsa *et al.* (2017) determinaron un mayor contenido de AGV en las muestras de ciego de conejos de engorde con una implementación del 5 y 10% de harina de algarroba.

El ácido acético es el AGV con mayor presencia, representando el 54% para DC y DA, seguido por el ácido propiónico y del ácido butírico, encontrando trazas de ácido isobutírico, isovalérico y valérico, siguiendo la distribución determinada por Dunkley *et al.* (2007).

#### 4.5.2. Estudio de secuenciación masiva del microbioma cecal

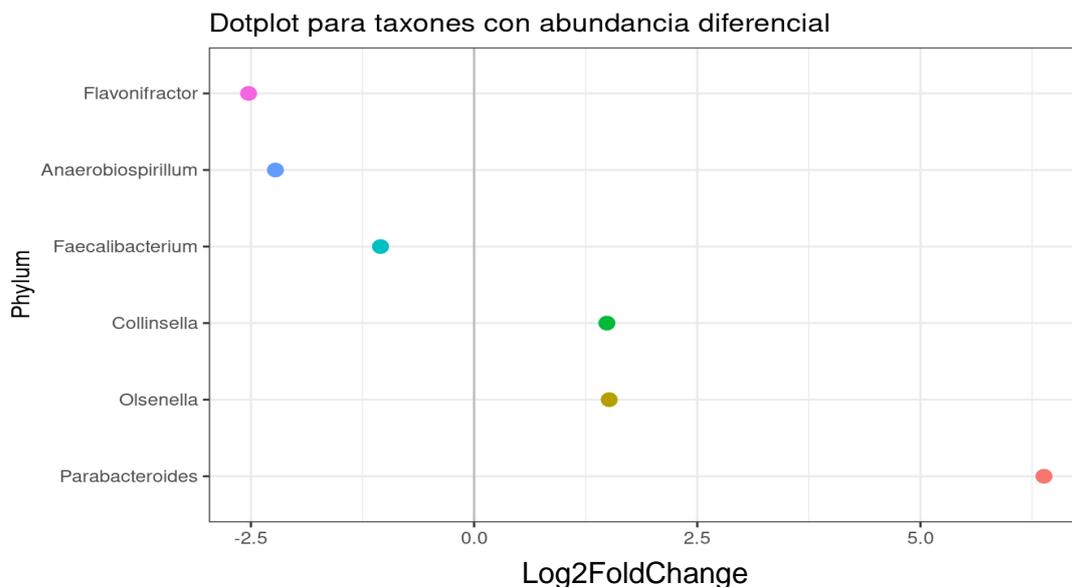
Los resultados obtenidos para el estudio de secuenciación masiva del microbioma del contenido cecal, fueron proporcionados por el IMID (Instituto Murciano de Investigación Biosanitaria) y se aportaron de forma complementaria al estudio del efecto de la dieta sobre la actividad digestiva (Tabla 17, Anexo 3).

Se muestran únicamente las familias de microorganismos que obtuvieron diferencias significativas entre DC y DA (Figura 12), observándose un mayor número de familias bacterianas presentes en el microbioma control.



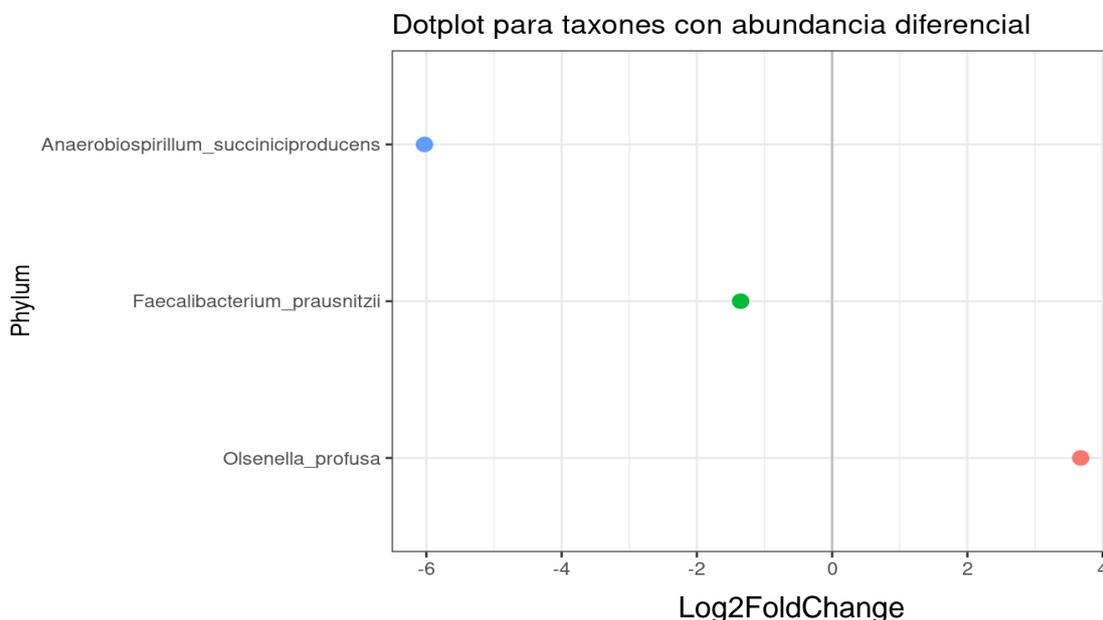
**Figura 12.** Representación gráfica de la abundancia diferencial por familia del microbioma cecal de pollo de raza Murciana. Cuando el log2FoldChange es numéricamente negativo, DC es mayor que DA

En el caso de las diferencias por género (Figura 13), hay 6 de ellos que presentan diferencias significativas, siendo 3 mayores para DC y las otras 3 para DA. El género *Faecalibacterium* tiene una presencia mayor en DC y se ha encontrado una relación entre la especie más representativa de este género, *Faecalibacterium prausnitzii* con la producción de butirato y con un mayor control de la glucosa en sangre (Cánovas, 2021).



**Figura 13.** Representación gráfica de la abundancia diferencial por género del microbioma cecal de pollo de raza Murciana. Cuando el log2FoldChange es numéricamente negativo, DC es mayor que DA.

En cuanto a las diferencias significativas por especies (Figura 14), los individuos DC obtuvieron mayor presencia de *Anaerobiospirillum succiniciproducens* y de *Faecalibacterium prausnitzii* y menor de *Olsenella profusa*, en relación a DA.



**Figura 14.** Representación gráfica de la abundancia diferencial por especie del microbioma cecal de pollo de raza Murciana. Cuando el log2FoldChange es numéricamente negativo, DC es mayor que DA.

Por lo tanto, en el estudio de secuenciación masiva se observó un posible aumento de la presencia de bacterias en el microbioma de los individuos sujetos a la dieta control, con respecto a los individuos con la inclusión de harina de algarroba. Esto puede estar ligado a una mayor actividad digestiva y por tanto pudo motivar el incremento de la cantidad de AGV de las aves DC.

La aparente disminución del microbioma de DA puede estar ocasionado por la presencia de taninos condensados en la harina de algarroba, ya que éstos compuestos fenólicos pueden provocar, si se encuentran en proporciones elevadas, una disminución del crecimiento, una baja digestibilidad de la proteína, una disminución de los aminoácidos aprovechados, un incremento del nitrógeno excretado y la depresión de la actividad intestinal de las enzimas digestivas; acompañado de una reducción de la ingesta voluntaria, provocando un menor consumo de pienso (Abu Hafsa *et al.*, 2017; Priolo *et al.*, 2002; Vilariño *et al.*, 2009). En el caso de las aves y concretamente de los pollos no se conoce claramente el efecto que los taninos ocasionan sobre el microbioma cecal y el tracto gastrointestinal (Vilariño *et al.*, 2009; Díaz *et al.*, 2018).

Para comprobar el efecto de los taninos condensados y de otros parámetros relacionados con las propiedades de la algarroba, en futuros estudios se aconseja evaluar el perfil fenólico, la actividad antioxidante y el estudio de las heces excretadas por los individuos para determinar la digestibilidad de la dieta.

## **5. CONCLUSIONES**

La inclusión de la harina de algarroba en la dieta de los pollos murcianos tuvo un efecto negativo sobre la actividad gastrointestinal. Por otro lado, no se ha observado un claro efecto sobre los caracteres productivos y de calidad de la canal. La carne mostró un color más neutro, por lo que la harina de algarroba no se ha revelado como un ingrediente de interés. No obstante, es recomendable la realización de nuevos ensayos para estudiar con mayor profundidad dichos parámetros, e incluyendo nuevos análisis como la digestibilidad de la dieta o el valor antioxidante del producto.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Abu Hafsa, S.H., Ibrahim, S.A., Hassam, A.A. (2017). Carob pods (*Ceratonia siliqua* L.) improve growth performance antioxidant status and caecal characteristics in growing rabbits. *Animal Physiology and Animal Nutrition* 101, 1307-1315.
- AGAMUR (2016). Programa de Conservación y Mejora de la Gallina Murciana.
- Albanell Trullas, E., (1990). Caracterización morfológica, composición química y valor nutritivo de distintas variedades de garrofa (*Ceratonia siliqua* L.) cultivadas en España. Universidad autónoma de Barcelona.
- Battle, I. and Tous, J. (1997). Carob tree. *Ceratonia siliqua* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 17. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- Benković, M., Belščak-Cvitanović, A., Bauman, I., Komes, D., Srećec, S. (2017) Flow properties and chemical composition of carob (*Ceratonia siliqua* L.) flours as related to particle size and seed presence, *Food Research International*, Volume 100, Part 2, Pages 211-218.
- Boletín Oficial de la Región de Murcia (BORM) (2010). Decreto nº 129/2010, de 4 de junio, del Consejo de Gobierno.
- Bornstein, S., Lipstein, B., Alumot, E. (1965) The Metabolizable and Productive Energy of Carobs for the Growing Chick. *Poultry Science*, Volume 44, Issue 2, Pages 519-529.
- Cajal, J.R., Francesch, A. (2014). Caracterización productiva de la Gallina de Sobrarbe. *Arch.Zootec.* 63 (241): 211-214.
- Cánovas, F. (2021). *Faecalibacterium*, bacteria favorable en el control de la glucosa. Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Católica de Murcia (UCAM)
- Castro, L & Zegarra, J. (2020). Enriquecimiento de la carne de pollo con ácidos grasos omega-3 mediante la suplementación de las dietas con semilla de lino (*Linum usitatissimum* L.) y su conservación en envasado al vacío. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Chávez, L.A., López, A., Parra, J.E. (2016). Crecimiento y desarrollo intestinal de aves de engorde alimentadas con cepas probióticas. Universidad Nacional de Colombia. *Arch. Zootec.* 65 (249): 51-58.
- Choque, JA. (2008). Evaluación del Estado Oxidativo y Salud Intestinal de Pollos de Carne en Respuesta a la Alimentación con Grasas Recicladas. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Díaz, J.M., Redondo, E.A., Pin, N.D., Martín, L., Farber, M.D., Fernández, M.E. (2018). Tannins and Bacitracin Differentially Modulate Gut Microbiota of Broiler Chickens. *BioMed Research International*.
- Dunkley, K.D., Dunkley, C.S., Njongmeta, N.L., Callaway, T.R., Hume, M.E., Kubena, L.F., Nisbet, D.J., Ricke, S.C. (2007). Comparison of In Vitro Fermentation and Molecular Microbial Profiles of High-Fiber Feed Substrates Incubated with Chicken Cecal Inocula, *Poultry Science*, Volume 86, Issue 5, Pages 801-810
- Egea, JM., Egea J.M., Egea, I., Rivera, D. (2015). Cultivos promisorios para enfriar el clima y alimentar al mundo. Una propuesta agroecológica para tierra de iberos. Edición Integral. Asociación para el Desarrollo Rural. 76-77
- FAO (2016). Revisión del desarrollo avícola. Función de las aves de corral en la nutrición humana. David Farrel, School of Land, Crops and Food Sciences, The University of Queensland, St. Lucia 4072, Queensland, Australia
- Gallinger, C.I. (2015). Estabilidad oxidativa y calidad sensorial de carne de pollo enriquecida con ácidos grasos n-3 provenientes de fuentes de origen vegetal y animal, protegida con vitamina E y selenio orgánico. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia.
- Gobindram M., Noor-Ehsan, N., Bognanno M., Luciano G., Lanza M., Biondi L. (2015) Carob pulp inclusion in lamb diets: effect on intake, performance, feeding behaviour and blood metabolites. *Animal Production Science* 56, 850-858.
- González, E. (2013). Análisis de la situación actual del consumo de pollo certificado frente al blanco en Navarra. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Pública de Navarra.

- Gravador, R.S, Luciano, G., Jongberg, S., Bognanno, M., Scerra, M. (2015). Fatty acids and oxidative stability of meat from lambs fed carob-containing diets, *Food Chemistry*, Volume 182.
- Guillén, A., Ferrer-Gallego, P.P., Serena, V., Peris, J.B. (2018). El Algarrobo (*Ceratonia siliqua* L.), importancia paisajística, económica y perspectivas de futuro. *Chronica naturae*, 7: 45-54.
- Insera, L., Luciano, G., Bella, M., Scerra, M., Cillione, C., Basile, P., Lanza, M., Priolo, A. (2015). Effect of including carob pulp in the diet of fattening pigs on the fatty acid composition and oxidative stability of pork, *Meat Science*, Volume 100, Pages 256-261.
- Kostic, A. D., Gevers, D., Peadamallu, C. S., Michaud, M., Duke, F., Earl, A. M., et al. (2012). Genomic analysis identifies association of *Fusobacterium* with colorectal carcinoma. *Genome research*, 22(2), 292-298.
- Kotrotsios, N., Christaki, E., Bonos, E., & Florou-Paneri, P. (2012). Dietary carob pods on growth performance and meat quality of fattening pigs. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 25(6), 880–885.
- Kratzer, F.H., Williams, D.E. (1951). The Value of Ground Carob in Rations for Chicks, *Poultry Science*, Volume 30, Issue 1, 1951, Pages 148-150
- Lan, J., Chen, G., Cao, G., Tang, J., Li, Q., zhang, B., Yan, C. (2021). Effects of  $\alpha$ -glyceryl monolaurate on growth, immune function, volatile fatty acids, and gut microbiota in broiler chickens, *Poultry Science*, Volume 100, Issue 3.
- Lee, K. W., Everts, H., Kappert, H. J., Van Der Kuilen, J., Lemmens, A. G., Frehner, M., & Beynen, A. C. (2004a). Growth performance, intestinal viscosity, fat digestibility and plasma cholesterol in broiler chickens fed a rye-containing diet without or with essential oil components. *Int. J. Poult. Sci*, 3(9), 613-618.
- Lee, K. W., Everts, H., Kappert, H. J., Wouterse, H., Frehner, M., & Beynen, A. C. (2004b). Cinnamaldehyde, but not thymol, counteracts the carboxymethyl cellulose-induced growth depression in female broiler chickens. *Int. J. Poult. Sci*, 3(9), 608-612.
- Liu, S.J., Wang, J., He, T.F., Liu, H.S., Piao, X.S. (2021). Effects of natural capsicum extract on growth performance, nutrient utilization, antioxidant status, immune function, and meat quality in broilers, *Poultry Science*, Volume 100, Issue 9.
- Louca, A., Papas, A. (1973). The effect of different proportions of carob pod meal in the diet on the performance of calves and goats. *Animal Science*, 17(2), 139-146.
- Maharjan, P., Martinez, D.A., Weil, J., Suesuttajit, N., Umberson, C., Mullenix, G., Hilton, K.M., Beitia, A., Coon, C.N. (2021). Review: Physiological growth trend of current meat broilers and dietary protein and energy management approaches for sustainable broiler production, *Animal*.
- Mancinelli, A.C., Silletti, E., Mattioli, S., Dal Bosco, A., Sebastiani, B., Menchet, L. (2021). Fatty acid profile, oxidative status, and content of volatile organic compounds in raw and cooked meat of different chicken strains, *Poultry Science*, Volume 100, Issue 2, Pages 1273-1282.
- Miguel, J.A., Ciria, J., Asenjo, B., Calvo, J.L., Gómara, A., Francesch, A. (2008). Comparación del crecimiento y la canal de diferentes tipos genéticos de pollos criados en régimen semiextensivo en la provincia de Soria. *ITEA*, Vol. 104 (3), 381-398.
- Miguel, J.A., Escoda, L., Cubilo, M.D., Tor, M., Asenjo, B., Ciria, J., Francesch, A. (2011). Efecto de la edad de sacrificio sobre las características del crecimiento y la canal en pollos de raza Castellana Negra mejorada y del cruce con la raza Penedesenca Negra mejorada. *ITEA*, Vol. 107 (3), 226-238.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) (2007). Orden APA/3628/2007, de 5 de diciembre. BOE-A-2007-21498.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) (2020). El sector de la avicultura de carne en cifras: Principales Indicadores Económicos”, Subdirección General de Producciones Ganaderas y Cinegéticas, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios
- Mohammed, A.A., Zaki, R.S., Negm, E.A., Mahmoud, M.A., Cheng, H.W. (2021). Effects of dietary supplementation of a probiotic (*Bacillus subtilis*) on bone mass and meat quality of broiler chickens, *Poultry Science*, Volume 100, Issue 3.
- Mohebodini, H., Jazi, V., Ashayerizadeh, A., Toghyani, M., Tellez-Isaias, G. (2021). Productive parameters, cecal microflora, nutrient digestibility, antioxidant status, and thigh muscle fatty acid profile in broiler chickens fed with *Eucalyptus globulus* essential oil, *Poultry Science*, Volume 100, Issue 3.

- Oakley, B.B., Lillehoj, H.S., Kogut, M.H., Kim, W.K., Maurer, J.J., Pedroso, A., Lee, M.D., Collett, S.R., Johnson, T.J., Cox, N.A. (2014). The chicken gastrointestinal microbiome. *FEMS. Microbiology Letters* 1-13.
- Obeitat, B.S., Aleababah, M.A., Abdulla, A.Y., Alhamad, M.N., Gharaibeh, M.a., Rababah, T.M. (2011). Growth performance and carcass characteristics of Awassi lambs fed diets containing carob pods (*Ceratonía siliqua* L.), *Small Ruminant Research*, Volume 96, Issues 2–3, Pages 149-154
- O'Fallon, J.V., Busboom, J.R., Nelson, M.L., Gaskins, C.T. (2007). A direct method for fatty acid methyl ester synthesis: application to wet meat tissues, oils, and feedstuffs. *J Anim Sci.* Jun; 85 (6): 1511-21.
- Oliveira, L., Madrid, J., Ramis, G., Martínez, S., Orengo, J., Villodre, C., Hernández, F. (2014). Adding crude glycerin to nursery pig diet: Effect on nutrient digestibility, metabolic status, intestinal morphology and intestinal cytokine expression. *Livestock Science*, 167, 227-23
- Orozco F. (2001). La raza Murciana de gallinas. *Arte Avícola*. 44:17-21
- Ortíz, P.L., Arista, M., Talavera, S., (1996). Producción de néctar y frecuencia de polinizadores en *Ceratonía Siliqua* L. (Caesalpiniaceae). *Anales Jardín Botánico de Madrid*, 54.
- Pagán García, I. (2020). Valorización de los productos de las razas autóctonas a través de la dieta: La Gallina Murciana como caso de estudio. Trabajo Fin de Máster Universitario en Ingeniería Agronómica. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Priolo, A., Lanza, M., Bella, M., Pennisia, P., Fasone, V., Biondi, L. (2002). Reducing the impact of condensed tannin in a diet based on carob pulp using two levels of polyethylene glycol: lamb growth, digestion and meat quality. *Anim. Res.* 51, 305-313.
- Puchades, R., Roca, A., Serrano, J.A., Roig, M.A. (1987). Composición de la pulpa de algarroba de las variedades más representativas de la Comunidad Valenciana. *Actas II Simp. Intern. Sobre garrofa*. Generalitat Valenciana. CAPA Ed. Valencia. 531-54.
- Puyalto, M. & Mallo, J.J. (2010). El butirato sódico de liberación gradual asegura la protección frente a *Salmonella*. *Mundo Ganadero. Investigación, Empresas & Productos*, 50-53.
- Rivero, C.J., Rois, D., Fernández, M., Justo, J.R., Adán, S., Lama, J. (2007). Estudio del incremento e índice de conversión en una población de Galiña de Mos. *Arch. Zootec.* 56 (Sup. 1): 529-534.
- Rodríguez Rodríguez, J.F. (2016). Caracterización del Cultivo de Variedades de Algarrobo (*Ceratonía siliqua* L.) del Centro Integrado de Formación y Experiencias Agrarias de Torre Pacheco (CIFEA). Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Agroalimentaria y de Sistemas Biológicos. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Rtibi, K., Selmi, S., Grami, D., Amri, M., Eto, B., El-benna, J., Sebai, H., Marzouki, L. (2017). Chemical constituents and pharmacological actions of carob pods and leaves (*Ceratonía siliqua* L.) on the gastrointestinal tract: A review, *Biomedicine & Pharmacotherapy*, Volume 93, Pages 522-528.
- Sahle, M., Coleou, J., Hass, C. (1992). Carob pod (*Ceratonía siliqua*) meal in greese diets, *British Poultry Science*, 33:3, 531-541.
- Salazar, D.M., Melgarejo, P., López, I., Martínez, R., Hernández, F., Martínez, J.J. (2002). Cultivos leñosos: frutales de zonas áridas. *El cultivo del algarrobo*. 17
- Salim, H.M., Kang, H.K., Akter, N., Kim, D.W., Kim, J.H., Kim, M.J., Na, J.C., Jong, H.B. (2013). Supplementation of direct-fed microbials as an alternative to antibiotic on growth performance, immune response, cecal microbial population, and ileal morphology of broiler chickens, *Poultry Science*, Volume 92, Issue 8, Pages 2084-2090.
- Singh, M., Lim, A.J., Muir, W.I., Groves, P.J. (2021). Comparison of performance and carcass composition of a novel slow-growing crossbred broiler with fast-growing broiler for chicken meat in Australia, *Poultry Science*, Volume 100, Issue 3.
- Stavrou, I.J., Christou, A., Kapnissi-Christodoulou, C.P. (2018). Polyphenols in carobs: A review on their composition, antioxidant capacity and cytotoxic effects, and health impact. *Food Chemistry*, Volume 269, Pages 355-374.
- Tejeda, O.J., Meloche, K.J., Starkey, J.D. (2021). Effect of incubator tray location on broiler chicken growth performance, carcass part yields, and the meat quality defects wooden breast and white striping, *Poultry Science*, Volume 100, Issue 2, Pages 654-662.

- Tous Martí, J. (1984). Cultivo del Algarrobo. Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
- Valentini, J., Da Silva, A.S., Fortuoso, B.F., Reis, J.H., Gebert, R.R., Griss, L.G., Boiago, M.M., Lopez, L.Q.S, Santos, R.C.V., Wagner, R., Tavernari, F.C. (2020). Chemical composition, lipid peroxidation, and fatty acid profile in meat of broilers fed with glycerol monolaurate additive, *Food Chemistry*, Volume 330.
- Vilà, B., de Queiroz, D., Badiola, I., Pérez-Vendrell, A., Brufau, J. (2012). Effects of carob bean gum on performance, nutrient digestibility and *Salmonella enterica* var. *Enteritidis* colonisation in chickens, *Food Research International*, Volume 45, Issue 2, Pages 1133-1138,
- Vilariño, M., Métayer, J.P., Crépon, K., Duc, G. (2009). Effects of varying vicine, convicine and tannin contents of faba bean seeds (*Vicia faba* L.) on nutritional values for broiler chicken, *Animal Feed Science and Technology*, Volume 150, Issues 1–2, Pages 114-121.
- Vohra, P., Kratzer, F.H. (1964). The Use of Ground Carobs in Chicken Diets, *Poultry Science*, Volume 43, Issue 3, Pages 790-792.
- Vohra, P., Kratzer, F.H., Joslyn, M.A. (1966). The Growth Depressing and Toxic Effects of Tannins to Chicks. *Poultry Science*, Volume 45, Issue 1, Pages 135-142.
- Wang, J., Clark, D.L., Jacobi, S.K., Velleman, S.G. (2021). Supplementation of vitamin E and omega-3 fatty acids during the early posthatch period on intestinal morphology and gene expression differentiation in broilers, *Poultry Science*, Volume 100, Issue 3.
- Yeoman, C.J., Chia, N., Jeraldo, P., Sipos, M., Goldenfeld., White, B.A. (2012). The microbiome of the chicken gastrointestinal tract. *Animal Health Research Reviews*, 13 (1), 89-99.
- Zuidhof, M.J., Schneider, B.L., Carney, V.L., Korver, D.R., Robinson F.E. (2014). Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. *Poultry Science*, Volume 93, Issue 12.

- Páginas web consultadas

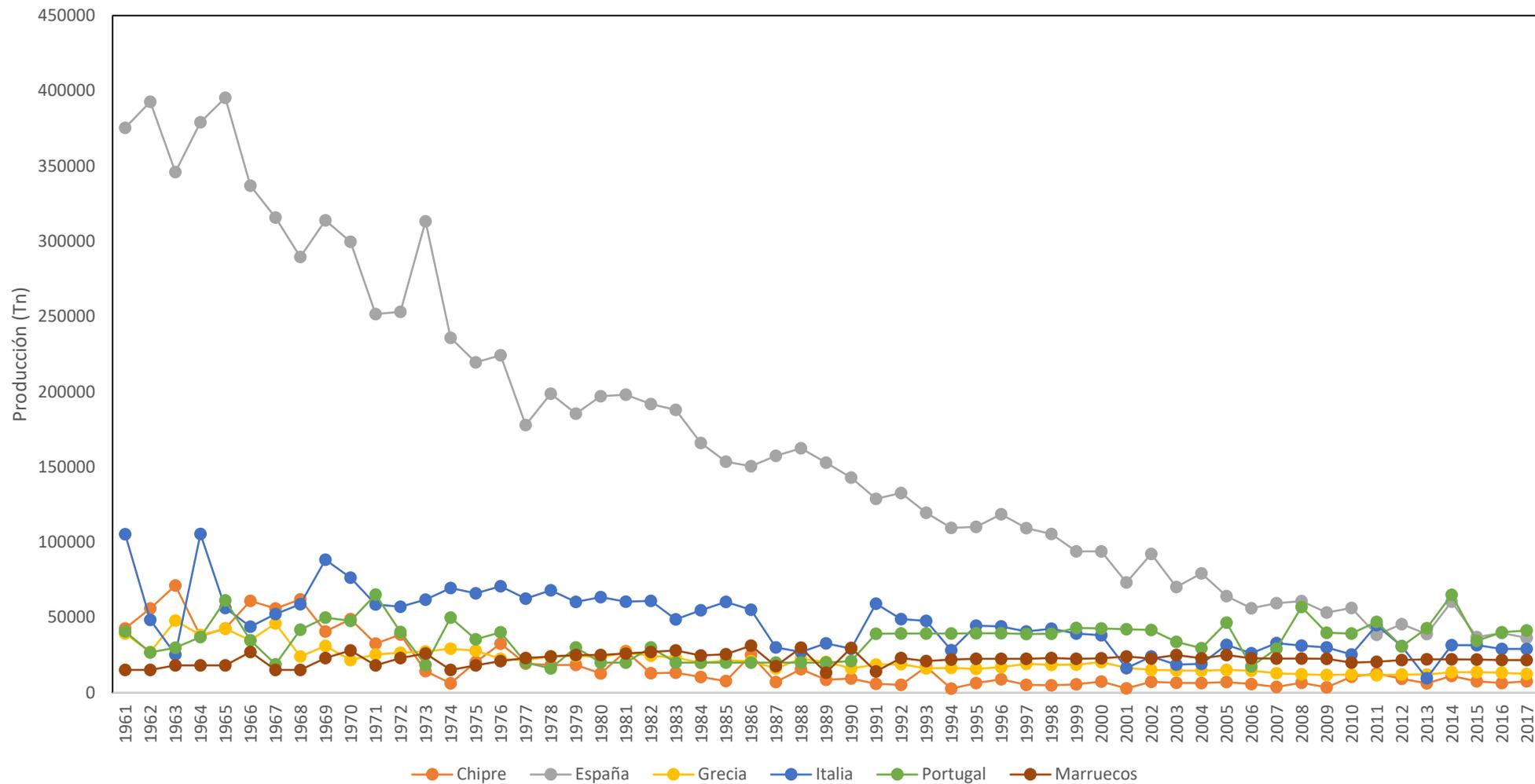
- AGRONEWSCOMUNITATVALENCIANA, 28/07/2021. AVA exige un plan especial de vigilancia ante la revalorización del cultivo de la algarroba. Disponible en: <https://www.agronewscomunitatvalenciana.com/>. Fecha de acceso: 15 agosto 2021.
- Bedca. Base de Datos Española de Composición de Alimentos <https://www.bedca.net/>
- FAO. Producción y productos avícolas. <http://www.fao.org/poultry-production-products/production/es/>
- FAOSTAT. Datos sobre alimentación y agricultura. <http://www.fao.org/faostat/es/#home>
- Grupo Operativo "Amigos por la gallina Murciana (AGAMUR)". <https://agamur.eu/>
- Las Provincias, 17/08/2020. El precio de la algarroba se dispara en el campo al crecer la demanda de sus derivados. Disponible en: <https://www.lasprovincias.es>. Fecha de acceso: 15 agosto 2021.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). <https://www.mapa.gob.es/>
- murciaplaza, 17/05/2021. La algarroba marca precios históricos y los productores de la Región tratan de sacar tajada. Disponible en: <https://murciaplaza.com/> Fecha de acceso: 15 agosto 2021
- Última Hora, 03/08/2020. El garrofín, el oro de la algarroba. Disponible en: <https://www.ultimahora.es>. Fecha de acceso: 15 agosto 2021
- Última Hora, 25/06/2020. Algarrobos en auge. Disponible en: <https://www.ultimahora.es>. Fecha de acceso: 15 agosto 2021

## 7. ANEXOS

### ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Evolución de la producción mundial de algarroba ( <i>Ceratonia siliqua</i> L.).....	52
<b>Anexo 2.</b> Composición de 100 g de pollo, muslo y pechuga de pollo.....	53
<b>Anexo 3.</b> Resultados numéricos obtenidos para el estudio de secuenciación masiva del microbioma cecal.....	54

**Anexo 1.** Evolución de la producción mundial de algarroba (*Ceratonia siliqua* L.).



**Figura 15.** Evolución de la producción mundial de algarroba (*Ceratonia siliqua* L.). Fuente: elaboración propia a partir de datos de FAOSTAT.

**Anexo 2.** Composición de 100 g de pollo, muslo y pechuga de pollo.

**Tabla 16.** Composición de 100 g de pollo, muslo y pechuga de pollo

Unidades		Pollo entero, con piel, crudo	Muslo de pollo, con piel, crudo	Pechuga de pollo, con piel, crudo
<b>Proximales</b>				
kcal	Energía	167	110	105
g	Proteínas	20,85	19,5	23,1
g	Agua (humedad)	70,3	77,1	75,7
g	Grasa total (lípidos totales)	9,25	3,4	1,2
g	SFA	2,66	1,4	0,33
g	MUFA	2,63	1,4	0,3
g	PUFA	4,37	0,49	0,28
mg	Colesterol	110	68,3	58
<b>Minerales</b>				
mg	Calcio	0	12,4	22,8
mg	Hierro	0,74	1,5	1,5
mg	Potasio	220	204	255
mg	Magnesio	25	21	22,4
mg	Sodio	63	82	65
mg	Fósforo	248	151	196
µg	ioduro	1,1	6,9	1,8
µg	Selenio	16,6	13,5	traza
mg	Zinc	0,8	0,8	1,4
<b>Vitaminas</b>				
µg	Vitamina A	24	traza	0,34
µg	Vitamina D	traza	traza	traza
mg	Vitamina E	traza	0,1	0,27
mg	Niacina	9,9	7,8	8,7
mg	Riboflavina	0,1	0,2	0,12
mg	Vitamina B1 Tiamina	0,063	0,1	0,1
µg	Vitamina B-12	0,34	traza	0,35
mg	Vitamina B-6	0,53	0,42	0,35
mg	Vitamina C	traza	1,7	traza
µg	Ácido fólico	4	11,4	4,8

SFA: Ácidos grasos saturados; MUFA: Ácidos grasos monoinsaturados; PUFA: Ácidos grasos poliinsaturados. Fuente: Bedca.

**Anexo 3.** Resultados numéricos obtenidos para el estudio de secuenciación masiva del microbioma cecal.

**Tabla 17.** Familias, géneros y especies de microorganismos con diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos.

		log2FoldChange <sup>+</sup>	p-value	p-ajustado
<b>Familia</b>	<i>Thiotrichaceae</i>	8,562174	0,000008	0,000283
	<i>Succinivibrionaceae</i>	-1,940353	0,000009	0,000283
	<i>Porphyromonadaceae</i>	-0,485221	0,003258	0,07279
	<i>Bacteroidaceae</i>	-0,540159	0,008124	0,136073
	<i>Prolixibacteraceae</i>	-5,151790	0,020297	0,271986
	<i>Brachyspiraceae</i>	-2,384486	0,029430	0,328632
	<i>Erysipelotrichaceae</i>	1,103570	0,037658	0,332836
	<i>Sphingomonadaceae</i>	6,176789	0,041530	0,332836
	<i>Peptococcaceae</i>	1,437512	0,047489	0,332836
<b>Género</b>	<i>Anaerobiospirillum</i>	-2,22565	0,000019	0,000879
	<i>Flavonifractor</i>	-2,52575	0,003694	0,075084
	<i>Faecalibacterium</i>	-1,04829	0,004897	0,075084
	<i>Parabacteroides</i>	6,38327	0,006843	0,078689
	<i>Collinsella</i>	1,48732	0,020453	0,175149
	<i>Olsenella</i>	1,51362	0,022846	0,175149
<b>Especie</b>	<i>Faecalibacterium_prausnitzii</i>	-1,35334	0,000775	0,040316
	<i>Olsenella_profusa</i>	3,67578	0,031979	0,438620
	<i>Anaerobiospirillum_succiniciproducens</i>	-6,02774	0,046890	0,438620

<sup>+</sup> Cuando el log2FoldChange es numéricamente negativo, el control (DC) es mayor que el tratamiento (DA).