

# Mejora del perfil de ácidos grasos en productos de cabra canaria mediante la inclusión dietaria de aceite de *Echium plantagineum*

---

## Improvement on the fatty acids profile in canary goats products by dietary inclusion of *Echium plantagineum* oil



**M<sup>a</sup> Mercedes González Morales**  
Universidad de La Laguna  
Facultad de Ciencias: Sección Biología  
Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología  
Tutorizado por Covadonga Rodríguez González  
Co-tutorizado por Jesús Villora Ruiz

Resumen

Abstract

## **1. Introducción**

- 1.1 Panorama actual de la alimentación en el mundo
- 1.2 Importancia de los lípidos en la nutrición humana
- 1.3 Metabolismo de ácidos grasos LC-PUFA
- 1.4 Principales fuentes de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga
- 1.5 Características esenciales de la carne de cabrito. La cabra canaria
- 1.6 Aceites vegetales como alternativa. La cabra como animal generador de LC-PUFA
- 1.7 Aceite de Echium

## **2. Objetivos:**

- 2.1 Objetivo general
- 2.2 Objetivos específicos

## **3. Materiales y Métodos**

- 3.1 Diseño experimental
- 3.2 Alimentación y dietas experimentales
- 3.3 Monitorización
- 3.3 Extracción lipídica
- 3.4 Determinación del perfil de ácidos grasos
- 3.5 Análisis estadístico

## **4. Resultados**

- 4.1 Curvas de crecimiento y consumo
- 4.2 Perfil de ácidos grasos en músculo de cabrito
- 4.3 Componentes principales de los ácidos grasos
  - 4.3.1 Gráfico de dispersión

## **5. Discusión**

## **6. Conclusiones**

## **7. Conclusions**

## **8. Bibliografía**

## **9. Agradecimientos**

## PROYECTO GANAECIUM

El actual trabajo de investigación ha sido desarrollado en el marco del proyecto: “Valorización de especies vegetales endémicas de Canarias del género Echium como alimento funcional para el ganado autóctono y evaluación de la calidad de sus producciones” cuyo acrónimo es GANAECIUM.

El proyecto GANAECIUM ha sido financiado en convocatoria competitiva por las entidades “Caja Canarias Fundación” y “Obra Social La Caixa”. Con un período de duración de 3 años, abarcando desde el 01/09/2020 hasta el 01/09/2023 con una cuantía total de 59.976,80 euros.

Es un proyecto multidisciplinar desarrollado en las instalaciones pertenecientes a la unidad de producción animal, pastos y forrajes en zonas áridas y subtropicales del Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA), en el Laboratorio de Fisiología Animal del Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología (Facultad de Ciencias, sección Biología) de la Universidad de la Laguna ULL, el Instituto de Acuicultura de la Universidad de Stirling (Escocia, Reino Unido) y la Fundación Instituto Canario de Investigación del Cáncer (FICIC).

Además, la empresa Graneros de Tenerife S.A (Grupo Capisa) colabora en el proyecto aportando su amplia experiencia en alimentación animal y cediendo los diferentes tipos de piensos utilizados para la alimentación del ganado, así como las bases desengrasadas para la elaboración de las dietas experimentales.

## Resumen

La acuicultura es una de las actividades agroalimentarias más destacadas por ofrecer productos ricos en proteínas y nutrientes como los ácidos omega-3 LC-PUFA (principalmente EPA, 20:5n-3 y DHA 22:6n-3), esenciales para numerosos procesos fisiológicos y para preservar la salud humana. Sin embargo, la acuicultura de peces carnívoros no resulta tan sostenible a causa de la necesidad de utilizar grandes cantidades de harinas y aceites de pescado para la alimentación de estos peces de cultivo. Por tanto, se están buscando fuentes alternativas de omega-3 LC-PUFA, como el uso de aceites vegetales capaces de sustituir parcialmente los aceites de pescado o de fomentar incluso, la obtención de LC-PUFA a través de la propia maquinaria enzimática de animales marinos de bajo nivel trófico o de herbívoros terrestres. Estos animales terrestres como el cabrito y el pollo, en principio, presentan la dotación genética necesaria para sintetizar EPA y DHA a partir de precursores omega-3 de 18 átomos de carbono.

Frente al aceite de soja (que contiene principalmente ácido linoleico; LA, 18:2n-6), los aceites de linaza y *Echium plantagineum* contienen elevadas cantidades de ácido linolénico (LNA, 18:3n-3). El *Echium* contiene ácido estearidónico (SDA, 18:4n-3), un importante precursor de omega-3 LC-PUFA además de ácido gamma-linolénico (GLA, 18:3n-6) que, si bien, es un omega-6, junto al SDA, posee importantes propiedades nutracéuticas y farmacológicas.

El presente TFG compara el efecto de la adición de aceite de *Echium plantagineum*, aceite de linaza o aceite de soja a un lacto-reemplazante desengrasado, sobre el perfil de ácidos grasos de la carne de cabrito (músculo *Longissimus dorsi*). Tras el tratamiento se evidencia un efecto modulador de la síntesis de omega-3, al aumentar los niveles de omega-3 PUFA (LNA y EPA, entre otros) y disminuir los de omega-6 PUFA como el LA y ácido araquidónico (ARA, 20:4n-6), en la carne de los animales alimentados con los aceites de linaza y *Echium*.

Palabras clave: omega-3 PUFA, EPA, DHA, *Echium*, soja, linaza, cabrito de raza Canaria

## Abstract

Aquaculture is one of the most prominent agri-food activities for offering products rich in protein and nutrients such as LC-PUFA omega-3 fatty acids (mainly EPA, 20:5n-3 and DHA 22:6n-3), essential for numerous physiological processes and to preserve human health. However, aquaculture of carnivorous fish is no longer as sustainable due to the need of large amounts of fishmeal and fish oil to feed these farmed fish. Therefore, alternative sources of omega-3 LC-PUFA are being sought, such as the use of vegetable oils capable of partially substituting fish oils or even promoting the biosynthesis of LC-PUFA through the enzymatic machinery of low trophic level marine animals or terrestrial herbivores. These animals, such as kids and chickens, have the necessary genetic equipment to synthesize EPA and DHA from omega-3 C18 fatty acid precursors.

Compared to soybean oil (which contains mainly linoleic acid; LA, 18:2n-6), linseed and *Echium plantagineum* oils contain high amounts of linolenic acid (LNA, 18:3n-3). *Echium* gender also contains stearidonic acid (SDA, 18:4n-3), an important precursor of omega-3 LC-PUFA, and gamma-linolenic acid (GLA, 18:3n-6) which, even being an omega-6, together with SDA, has important nutraceutical and pharmacological properties.

This study compares the effect of adding *Echium plantagineum* oil, linseed oil or soybean oil to a defatted milk replacer, on the fatty acid profile of kid meat (*Longissimus dorsi* muscle). After the treatment, a modulating effect on omega-3 synthesis is evident, by increasing the levels of omega-3 PUFA (LNA and EPA, among others) and decreasing those of omega-6 PUFA such as LA and arachidonic acid (ARA, 20:4n-6), in the meat of animals fed with linseed and *Echium* oils.

Keywords: omega-3 PUFA, EPA, DHA, *Echium*, flaxseed, soybean, Canarian goat kid

## **1.Introducción**

### **1.1 Panorama actual de la alimentación en el mundo**

Se estima que la población mundial continuará en ascenso hasta alcanzar 9,7 billones para 2050. Este crecimiento de la población ocasionará la necesidad de nuevas alternativas enfocadas en la producción de fuentes alimentarias de origen vegetal y animal. Actualmente se ha intensificado la agricultura y sobre todo la acuicultura para poder abastecer a toda la población. La acuicultura ha obtenido gran éxito dentro del marco de la alimentación de peces respecto a la pesca tradicional y la agricultura (FAO, 2009). La búsqueda de organismos procedentes del mar radica no solo en su contenido de proteína altamente digerible, sino en su importancia en cuanto a su elevado aporte de ácidos grasos omega-3 poliinsaturados de cadena larga (n-3 LC-PUFA), como el ácido eicosapentaenoico (EPA, 20:5n-3) y el ácido docosahexaenoico (DHA, 22:6n-3), los cuales destacan por infinidad de procesos fisiológicos esenciales (Zárate et al., 2017).

Sin embargo, la acuicultura de peces carnívoros no resulta tan sostenible ambientalmente, al tener que depender de animales marinos para la producción y utilización de harinas y aceites de pescado en su alimentación (FAO, 2022). Por tanto, es importante buscar nuevas estrategias y alternativas para la reducción del impacto global de estas actividades además del equilibrio de dietas saludables y beneficiosas para el consumo humano.

### **1.2 Importancia de los lípidos en la nutrición humana**

Los lípidos constituyen uno de los macronutrientes necesarios en la nutrición humana, ya que poseen una serie de funciones importantes en el organismo tanto estructural como de reserva. Por ejemplo, son fundamentales en la formación de estructuras celulares como las membranas y proveen de ácidos grasos esenciales necesarios para la síntesis de los eicosanoides y de otros derivados bioactivos (Valenzuela et al., 2002; 2003).

Entre las moléculas lipídicas destacan los ácidos grasos, clasificados en función de su longitud de cadena, del grado de insaturación y de la posición del doble enlace más cercano al metilo terminal, dando lugar a tres series principales denominadas omega-3, 6 y 9. Los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) son ácidos grasos que se caracterizan por la presencia de 2 o más dobles enlaces y de 18 o más átomos de carbono. Entre los PUFA

que presentan 18 átomos de carbono destacan el ácido alfa-linolénico (LNA, 18:3n-3) y el ácido linoleico (LA, 18:2n-6), particularmente abundantes en los vegetales del hoja verde o en las semillas de oleaginosas, respectivamente. Los PUFA que constan de 20 o más átomos de carbono y 3 o más dobles enlaces, se denominan ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (LC-PUFA), entre los que destacan el ácido eicosapentaenoico o EPA (20:5n-3) y el ácido docosahexaenoico o DHA (22:6n-3) entre los omega-3 LC-PUFA y el ácido araquidónico (ARA; 20:4n-6) entre los omega-6 LC-PUFA, biológicamente más activos (Valenzuela et al., 2002; 2003).

En la mayoría de los mamíferos, incluido el ser humano y ciertos vertebrados marinos, la síntesis de estos ácidos es muy limitada, por lo que deben ser incluidos en la dieta para un correcto funcionamiento del organismo (Rodríguez-Cruz et al., 2005). Además, múltiples estudios demuestran que la deficiencia dietaria de omega-3 y el exceso de omega-6 están estrechamente relacionada con procesos inflamatorios diversos como la diabetes, obesidad, alergias etc. (Zárate et al., 2017). Asimismo, los omega-3 apuntan beneficios directos asociados a sus propiedades antiinflamatorias, efectos protectores cardiovasculares, reducción de depresión y suicidio retraso en el inicio de la degeneración neurológica asociada al envejecimiento y reducción de ciertos tipos de cáncer. También promueven el desarrollo fetal y mejoran las funciones cognitivas en los bebés (Bernardi et al., 2016).

En la actualidad una de las mayores causas de mortalidad de la población es debida a enfermedades cardiovasculares, que se han asociado al modo de vida (dieta, ejercicio, estrés), existiendo estudios que relaciona la cardiopatía con una deficiencia en la ingesta de ácidos de omega-3 (Carrero et al., 2005). Este fenómeno se relaciona principalmente con un mayor consumo de ácidos grasos C18 omega-6 aportados en la dieta occidental, lo que provoca una sobre acumulación de LA y una sobreproducción de ARA y derivados. La necesidad de aportar LC-PUFA n-3 a la dieta recomienda aumentar el consumo de pescado para conseguir una ratio dietaria omega-6/omega-3 óptima de aproximadamente 4/1 (Zárate et al., 2017).

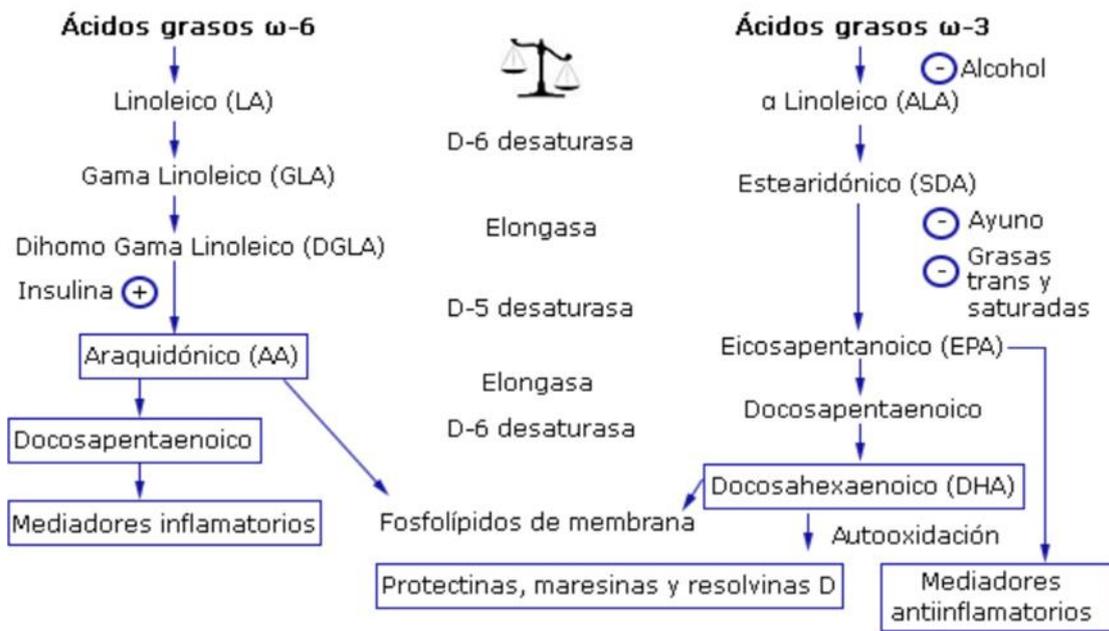
### **1.3 Metabolismo de los LC-PUFAs**

El metabolismo de los lípidos es similar en todos los vertebrados. (Mathews y Van Holde, 2002; Strayer et al., 2003; Lehninger, 2006). En concreto, en el metabolismo de los ácidos grasos participan principalmente 2 tipos de enzimas: las desaturasas, encargadas de añadir

un doble enlace a un ácido graso y las enlongasas, encargadas de catalizar una reacción de condensación para ampliar en dos carbonos una cadena de un ácido graso (Ward y Singh, 2005)

Así el LA, (fig 1) es el precursor del ARA mientras que el LNA lo es de EPA y DHA. Estos ácidos grasos compiten por las enzimas encargadas del proceso de desaturación, delta 5 y delta 6, y por las encargadas de alargar la cadena hidrocarbonada. El mayor nivel de competición enzimática se produce a nivel de ARA y EPA. Las enzimas suelen tener mayor afinidad por ácidos omega-3 aunque, ante una alta cantidad de omega-6 puede inhibirse la conversión de LNA en EPA y DHA, promoviendo la formación de ARA.

**Figura 1.** Rutas de síntesis de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga.



A partir de LA (18:2n-6) se sintetiza en gran proporción el ARA, sin embargo, la síntesis de DHA a partir de LNA es más larga, lo que hace que la tasa de conversión de EPA en DHA sea tan baja (0,05%) (Pawlosky et al., 2001).

Por su parte LNA, a través de la D6 desaturasa da lugar a ácido estearidónico (SDA, 18:4n-3), que por la acción de una elongasa se transforma en ácido eicosatetraenoico, este a su vez se transforma en EPA por la acción de la desaturasa 5. El EPA mediante una elongasa, se transforma en ácido docosapentanoico (DPA, 22: 5n-3) que mediante varias reacciones enzimáticas dará lugar finalmente al ácido DHA.

Los PUFA C18, LA y LNA, no pueden ser sintetizados *de novo* en humanos y en algunos animales, debido a la deficiencia de ciertas desaturasas capaces de insertar dobles enlaces entre las posiciones  $\Delta 12$  y  $\Delta 15$  (Tocher, 2015). Aun así, los mamíferos pueden modificar los ácidos grasos C18 esenciales y la actividad de las enzimas involucradas en los procesos de elongación, desaturación y descarboxilación de estos precursores de 18 átomos de carbono LNA y LA, posibilitando cierta modulación dietaria y ambiental de la síntesis de EPA y DHA (Castro et al., 2016).

#### **1.4 Principales fuentes de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga**

El medio marino es la principal fuente de ácidos grasos n-3 LC-PUFA, especialmente EPA y DHA los cuales se obtienen a través de la bioacumulación en la cadena trófica marina, desde el fitoplancton que es su principal productor (Tacon y Metian, 2013). En el caso de los peces teleósteos han perdido la capacidad enzimática  $\Delta 5$  para sintetizar LC-PUFA por lo que los obtienen directamente de la cadena trófica a través del consumo de algas, especies vegetales que sí son capaces de sintetizarlas.

Por lo tanto, las mayoría de las especies marinas van a presentar una capacidad reducida para elongar y desaturar ácidos grasos de 18 átomos de carbono, presentando sin embargo un alto requerimiento de estos ácidos grasos que garantizan la fluidez y permeabilidad y funcionalidad de las membranas especialmente en ambientes fríos, salinos y profundos (Tocher, 2015). Esto resulta en una dificultad a la hora de alimentar a animales marinos estrictamente carnívoros de una manera sostenible sin la utilización de harinas de pescado, ya que las fuentes vegetales terrestres solo aportan los precursores C18 omega-3, pero nunca EPA o DHA (Rodríguez et al., 2012).

Sin embargo, las pesquerías marinas en todo el mundo se encuentran estancadas, con el 63% de las poblaciones de peces evaluadas que requieren acciones de recuperación. Además, la acuicultura representa casi la mitad de todos los peces destinados al consumo humano en 2012 (FAO, 2014), lo que está provocando la búsqueda de nuevas estrategias independientes del medio marino que satisfagan las necesidades nutricionales y fisiológicas de los animales de cultivo y de los consumidores.

Los herbívoros terrestres como la ganadería caprina y aviar, no tienen acceso directo a los ácidos grasos EPA, DHA y ARA en su dieta, ya que estos no se encuentran presentes en ella. No obstante, constituyen una buena alternativa debido a que, según su

configuración genética, poseen las enzimas necesarias para sintetizar EPA, ARA y DHA a partir de precursores de 18 átomos de carbono, como el LA para la serie n-6 y LNA para la serie n-3 (Pérez et al., 2021).

Teniendo esto en cuenta, enriquecer la carne de cabrito con omega-3 LC-PUFA podría ser una buena estrategia desde el punto de vista de la nutrición y la salud humana. Aumentar la ingesta de LNA y disminuir la de LA a partir de plantas locales, podría generar fuentes cárnicas autóctonas de Canarias enriquecidas en omega-3, como la procedente de cabrito de razas de Canarias que, a su vez, podría contribuir a mejorar la sostenibilidad y la economía circular, preservando la biodiversidad del archipiélago.

### **1.5 Características esenciales de la carne de cabrito. La cabra canaria.**

La carne de cabrito contiene una proteína de calidad biológica importante, ya que tiene en su composición alrededor de un 40% de aminoácidos esenciales. Se trata de una carne magra con menos de 5 gramos de grasa por cada 100 gramos de alimento. En cuanto al contenido lipídico, contiene según la USDA (United States Department of Agriculture) un 40% menos de grasa saturada que el pollo.

En cuanto a la ganadería canaria, el sector de las ovejas y cabras representa el 11% de la producción final de ganado en España, si se tiene en cuenta el subsector cárnico y lácteo como conjunto. El censo de las cabras en los últimos 5 años se ha estabilizado en torno a 2,6 millones y está en segundo lugar después de Grecia con 210,238 pertenecientes a las Islas Canarias en 2021 (Portal de estadísticas ganaderas, Gobierno de Canarias, 2022). La utilización de las especies indígenas de las Islas Canarias aporta un valor incalculable desde el punto de vista económico, social y medioambiental.

Muchas de las producciones de las Islas están basadas en estas especies, ya que cuentan con un alto grado de adaptabilidad a las duras condiciones ambientales, por lo que el mantenimiento de la población de este ganado es esencial para la conservación del ecosistema del archipiélago (Ministerio de agricultura, 2022).

En Canarias hay reconocidas 3 razas de cabras: Majorera, procedente de Fuerteventura, Palmera referente a la Palma y tinerfeña, referente a Tenerife. Esta última además podría dividirse en los extremos norte y sur debido a la diferencia del clima. Claramente el norte con un ambiente húmedo y el sur con un ambiente más árido.

### La cabra tinerfeña norte.

La variedad del norte se encuentra más adaptada a zonas húmedas y frías característico del área norte de Tenerife. En cuanto a su morfología se caracterizan por presentar extremidades largas, un marcado biotipo lechero con ubres globulares y pigmentación oscura. En esta especie la producción de carne es una actividad secundaria. Los colores predominantes de esta especie son el negro y el marrón y siempre pelo largo. La cabeza es grande y alargada y los cuernos comienzan paralelos y hacia atrás para volverse posteriormente divergentes. El sistema de cría en el norte es de producción intensiva con el uso de pastoreo en fincas con acceso al pasto

### Cabra tinerfeña sur.

La variedad del sur está adaptada a áreas áridas característico de la zona sur de la isla. Respecto a su morfología, presentan proporciones alargadas, también con un marcado biotipo lechero con las mismas características que las del norte. En el caso de la variedad sur, los pelajes son policromos con negro y castaño como colores predominantes. El pelaje es corto, con posibilidad de pelo largo en las extremidades y/o en la espalda. La cabeza es de tamaño mediano y corta, con un perfil rectilíneo a subcóncavo. Los cuernos son de tipo Prisca

### Cabra Palmera.

Se encuentra principalmente en la Palma. Se explota por su alta producción de leche, lo que contribuye a la elaboración del queso palmero. En cuanto a su morfología, son animales eumétricos, subcóncavos o rectos, largos y muy equilibrados. Tienen grandes cualidades para adaptarse a un entorno difícil, manteniendo una buena producción de leche de acuerdo con su biotipo. El color predominante del pelaje es rojo, en diferentes tonalidades y combinaciones, a menudo intensificándose en las extremidades. Es común observar la presencia de pelliza, calzón (lana a medio crecimiento) y a veces arpos (pelo largo en el cuello). La cabeza es pequeña, con ojos vivaces y de forma triangular, con un tupé más o menos desarrollado en casi todos los ejemplares. Los cuernos son del tipo espiral heterónoma, abiertos desde el nacimiento, adquiriendo características espectaculares en los machos. La presencia de una barba es normal tanto en machos como en hembras. La oreja es de tamaño mediano y orientación horizontal, normalmente

superando la altura de los ojos (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Catálogo oficial de Razas (ARCA)).

### Cabra majorera

Es una raza autóctona de Fuerteventura, con ejemplares distribuidos por todas las Islas Canarias, con una presencia predominante en Fuerteventura y Gran Canaria. Es una raza perfectamente adaptada a las áreas áridas del Archipiélago, en las islas de Fuerteventura y Lanzarote, y en el sur de Gran Canaria. Sin embargo, también se adapta a áreas húmedas de las cumbres y medianías, lo que le permite adaptarse a cualquier tipo de producción intensiva, semi-intensiva o extensiva. El objetivo principal de producción de esta raza es la producción de leche para su procesamiento en queso. La carne se obtiene de los terneros, que se sacrifican cuando pesan entre 5 y 7 kg, y de los animales adultos, que se descartan para la producción de leche. En cuanto a su morfología, son animales longilíneos y subhipermétricos, generalmente de perfil recto o subconvexo. Tienen un biotipo marcadamente lácteo y su principal característica es su adaptación a la aridez. Presentan un pelaje policromo, con predominio de capas compuestas, tanto uniformes como discontinuas, y membranas mucosas altamente pigmentadas. El pelaje es corto, aunque la presencia de raspil (pelos largos y ásperos) y barba es frecuente en los machos, algunos con mamellas. La presencia de pilosidad erizada es normal en los machos. Tienen una cabeza grande, con orejas largas y cuernos arqueados que a veces se retuercen en el extremo distal (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Catálogo Oficial de Razas (ARCA)).

### **1.6 Aceites vegetales como alternativa. La cabra como animal generador de LC-PUFA.**

En la ganadería comercial, se usan principalmente piensos basados en cereales, semillas y aceites muy ricos en omega-6, generando productos muy desbalanceados en cuanto al perfil de ácidos grasos y el ratio n-6/n-3 (Alberti et al., 2012). La relación entre los ácidos grasos n-6 y n-3 en la ingesta dietética ha adquirido gran importancia en la nutrición humana debido a sus grandes beneficios citados anteriormente del omega-3. Además, este balance dietario es muy importante, ya que, como se ha mencionado anteriormente, LA y LNA, precursores del resto de LC-PUFA compiten por las mismas enzimas, por lo que el perfil de ácidos grasos de las dietas de estos animales será vital para conseguir alimentos más saludables.

En las dietas de los cabritos cuando no hay lactancia, tradicionalmente se utilizan lactoreemplazantes, con elevadas cantidades de ácidos grasos saturados y/o aceites como la soja o la colza, que tienen principalmente LA además de ácidos grasos saturados. Una posible alternativa para mejorar los perfiles de ácidos grasos de los productos de la cabra es el suministro en la dieta de aceite de linaza, una planta que presenta un alto contenido de LNA (Figuroa et al., 2008). Además, como novedad se ha valorado la posibilidad de incluir en la dieta aceite de *Echium plantagineum*, endemismo vegetal de las Islas Canarias, rico en ácidos grasos como el ácido gamma linolénico (GLA, 18:3n-6) y el SDA, además, contiene también importantes cantidades de LNA (Guil-Guerrero., 2000; 2001).

Basado en todo el conocimiento recopilado anteriormente, surgió el proyecto GANAECIUM, en el que se pretende poner en valor especies vegetales endémicas Canarias como el *Echium plantagineum*, para ser utilizadas como alimentación funcional en gallinas, pollos, cabras y cabritos, con el objetivo de mejorar los perfiles de ácidos grasos en huevo, carne y leche.

En concreto, el presente TFG se centra en el experimento realizado con cabrito, utilizando concretamente el músculo *Longissimus dorsi*, con el objetivo de evaluar si una dieta rica en precursores n-3 es capaz de modular hacia un mayor contenido de EPA y DHA el perfil de ácidos grasos de este producto, a la vez que reducir la cantidad de ácidos grasos de la serie n-6 como el ARA. El estudio de la modulación dietaria de los animales será beneficioso tanto para la economía de Canarias como para la conservación de la biodiversidad de especies al reducirse el impacto de la acuicultura, y fomentarse la economía circular con el aprovechamiento y cultivo de plantas locales de interés.

### **1.7 Aceite de Echium**

Las plantas de género *Echium* contienen un perfil lipídico de alta calidad nutricional y farmacológica. Además de contar con importantes cantidades de ALA, estas plantas presentan dos ácidos grasos inusuales como son el GLA (18:3n-6) y el SDA (18:4n-3). Se les atribuye la capacidad de frenar la producción de derivados proinflamatorios de ARA, generando sus propios eicosanoides beneficiosos. Además, los *Echium* poseen una combinación de ácidos grasos idóneas para fomentar la producción de omega-3 y el control de la proinflamación generada por los derivados eicosanoides del araquidónico (Guil-Guerrero et al., 2000; 2001).

En el presente proyecto se compara el perfil de ácidos grasos de la carne de cabritos de raza canaria, para contrastar la capacidad moduladora en la síntesis de omega-3 LC-PUFA de tres aceites vegetales incluidos en su dieta: aceite de *Echium plantagineum*, aceite de linaza o aceite de soja.

## **2. Objetivos:**

**2.1 Objetivo general:** evaluación lipídica de carne de cabrito de raza canaria alimentado con dieta suplementada con 3 tipos diferentes de aceites vegetales (soja, linaza y *Echium plantagineum*)

**2.2 Objetivos específicos:** estudio de la capacidad moduladora en carne de cabrito por parte del aceite de soja, linaza y *Echium plantagineum* a través de:

- Evaluación de contenido de lípido total en músculo *Longissimus dorsi* de cabrito
- Evaluación del perfil de ácidos grasos en músculo *Longissimus dorsi* de cabrito.

### **3. Material y métodos**

#### **3.1 Diseño experimental**

En el marco del proyecto GANAECIUM, la primera parte del estudio actual fue llevada a cabo en las instalaciones de la finca El Pico, perteneciente al Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA). Para el experimento, se utilizaron un total de 24 cabritos machos de las razas de cabras canarias majorera, palmera y tinerfeña. Desde el nacimiento y hasta la semana 8 de vida, los 24 animales fueron mantenidos en grupo. A partir de la semana 8, los animales fueron divididos en 3 grupos balanceados y homogéneos de 8 animales cada uno, acorde al peso y la raza y se empezaron a suministrar las dietas experimentales. Se configuraron 3 grupos o lotes experimentales: grupo soja (n=8) utilizado como grupo control en el presente experimento; grupo linaza (n=8) y grupo Echium (n=8).

#### **3.2 Alimentación y dietas experimentales**

Durante los dos primeros días de vida, los animales fueron alimentados de manera artificial con calostro pasteurizado. A partir del segundo día, y hasta la semana 8, los animales fueron alimentados con lactancia artificial, mediante el uso de un lactoreemplazante en polvo (LR), con la ayuda de biberones con tetina. Durante estas primeras 8 semanas, los 24 individuos comieron exactamente la misma dieta. Para la preparación, se utilizaron 200 gramos de LR de la marca bacilactol diluidos en 1 litro de agua. En la tabla 1 se muestra el perfil de ácidos grasos de las dietas que ingirieron los animales durante las 8 primeras semanas de vida.

**Tabla 1.** Perfil de ácidos grasos (%) y contenido de Lípido Total (LT) del lactoreemplazante bacilactol listo para consumir (200 gramos por litro de agua).

<b>Ácidos Grasos %</b>	<b>Media</b>	<b>SD</b>
<b>SFAs</b>	57,17	0,55
10:00	0,55	0,12
12:00	10,97	0,83
14:00	6,31	0,06
16:00	34	0,3
18:00	4,69	0,07
<b>MUFAs</b>	33,41	0,28
16:1n-9	0,19	0,03
16:1n-7	0,4	0,06
18:1n-9	30,7	0,46
18:1n-7	1,75	0,36
<b>n-6 PUFAs</b>	8,22	0,09
18:2n-6	8,19	0,08
18:3n-6	0	0
20:2n-6	0	0
20:3n-6	0	0
20:4n-6	0,02	0,02
22:4n-6	0	0
22:5n-6	0,01	0,01
<b>n-3 PUFAs</b>	0,28	0,02
18:3n-3	0,27	0,01
18:4n-3	0	0
20:3n-3	0	0
20:4 n-3	0	0
20:5n-3	0	0
22:5n-3	0	0
22:6n-3	0,01	0,01
<b>n-6 LC-PUFAs</b>	0,02	0,03
<b>n-3 LC-PUFAs</b>	0,01	0,01
<b>n-6/n-3</b>	30,82	2,24
<b>18:2 9cis11trans</b>	0	0
<b>LT</b>	3,42	0,19

Los resultados se muestran como media  $\pm$  desviación estándar (n=3). LT, Lípido total; SFAs, Ácidos Grasos Saturados; PUFAs, Ácidos Grasos Poliinsaturados; LC-PUFAs, Ácidos Grasos Poliinsaturados de Cadena Larga.

A partir de la semana 9, se conformaron los 3 grupos experimentales, de manera que cada grupo recibió una dieta diferente. Estas dietas se prepararon a partir de una misma base,

compuesta de leche desnatada de cabra en polvo (LCD) y LR (común a los 3 lotes) a la que se le adicionaron distintos aceites vegetales, según se indica a continuación.

**Grupo soja:** (25 ml de aceite de soja + 100 gramos LR + 100 gramos LCD) por litro de agua.

**Grupo linaza:** (25 ml de aceite de linaza + 100 gramos LR + 100 gramos LCD) por litro de agua.

**Grupo Echiium:** (25 ml de aceite de *Echium plantagineum* + 100 gramos LR + 100 gramos LCD) por litro de agua.

Con el objetivo de que los animales tuvieran una buena tolerancia y aceptación a las nuevas dietas, este cambio se hizo de manera gradual, subiendo poco a poco las dosis de aceite, hasta llegar a la dosis objetivo de 25 mililitros por cada litro de agua. Las dietas fueron suministradas con cubos de lactancia, monitorizando los consumos para poder evaluar las ingestas.

Además, los animales de los 3 lotes tuvieron acceso *ad libitum* a brotes de alfalfa cuando empezaron a tener desarrollado el rumen. La alfalfa se suministró simplemente como un complemento a las dietas.

Durante el transcurso del experimento, se tomaron muestras aleatorias de cada tratamiento (n=3) para analizar el perfil de ácidos grasos. Estos datos se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2.** Perfil de ácidos grasos de la dieta control (soja), las dietas experimentales (linaza y Echium) y la alfalfa suministrada.

Ácidos grasos %	SOJA			ECHIUM			LINAZA			ALFALFA		
	Media	±	SD	Media	±	SD	Media	±	SD	Media	±	SD
<b>SFAs</b>	32,79	±	3,15	26,68	±	2,03	24,06	±	0,83	35,14	±	0,19
<b>16:0</b>	22,90	±	2,29	18,47	±	1,53	16,04	±	0,59	24,44	±	0,25
<b>18:0</b>	4,95	±	0,21	4,67	±	0,07	4,37	±	0,04	4,39	±	0,06
<b>MUFAs</b>	31,17	±	1,45	25,50	±	1,28	26,70	±	0,25	13,17	±	1,12
<b>16:1n-9</b>	0,15	±	0,02	0,11	±	0,01	0,15	±	0,04	5,75	±	0,54
<b>16:1n-7</b>	0,30	±	0,03	0,25	±	0,02	0,24	±	0,03	0,54	±	0,05
<b>18:1n-9</b>	28,11	±	1,32	22,57	±	1,22	24,41	±	0,27	5,50	±	1,47
<b>18:1n-7</b>	1,84	±	0,14	1,13	±	0,08	1,34	±	0,02	0,68	±	0,10
<b>n-6 PUFAs</b>	31,61	±	4,11	20,93	±	1,03	15,20	±	0,58	19,36	±	0,44
<b>18:2n-6</b>	30,86	±	4,06	13,78	±	0,38	14,55	±	0,25	18,86	±	0,41
<b>18:3n-6</b>	0,13	±	0,03	6,87	±	0,64	0,09	±	0,00	0,07	±	0,07
<b>20:2n-6</b>	0,05	±	0,05	0,05	±	0,00	0,04	±	0,04	0,08	±	0,07
<b>20:3n-6</b>	nd			nd			nd			nd		
<b>20:4n-6</b>	nd			nd			nd			0,13	±	0,12
<b>22:4n-6</b>	nd			0,05	±	0,01	nd			nd		
<b>22:5n-6</b>	nd			nd			nd			nd		
<b>n-3 PUFAs</b>	3,38	±	0,63	26,15	±	2,37	31,19	±	1,20	27,60	±	1,32
<b>18:3n-3</b>	3,29	±	0,63	18,36	±	1,57	30,75	±	1,47	26,99	±	1,38
<b>18:4n-3</b>	0,06	±	0,05	7,77	±	0,78	0,15	±	0,01	0,24	±	0,03
<b>20:3n-3</b>	nd			nd			nd			nd		
<b>20:4n-3</b>	nd			nd			nd			nd		
<b>20:5n-3</b>	nd			nd			nd			0,09	±	0,08
<b>22:5n-3</b>	nd			nd			nd			nd		
<b>22:6n-3</b>	nd			nd			nd			0,13	±	0,12
<b>n-6 LC-PUFAs</b>	0,05	±	0,05	0,10	±	0,01	0,20	±	0,32	0,21	±	0,15
<b>n-3 LC-PUFAs</b>	0,04	±	0,07	0,02	±	0,03	0,28	±	0,28	0,38	±	0,22
<b>n-6/n-3</b>	9,41	±	0,51	0,80	±	0,04	0,49	±	0,03	0,70	±	0,05
<b>LT</b>	2,63	±	0,37	3,17	±	0,34	3,50	±	0,27	1,96	±	1,16

Los resultados se presentan como media  $\pm$  desviación estándar (n=3). LT, lípido total, SFAs, ácidos grasos saturados; MUFAs, ácidos grasos monoinsaturados; PUFAs, ácidos grasos poliinsaturados.

El tratamiento soja se caracteriza por una elevada presencia de omega-6 (en torno al 32%) en comparación con el resto de tratamientos. En el tratamiento Echium se aprecia la presencia de SDA y GLA, dos ácidos grasos característicos de esta especie vegetal,

presente en cantidades mínimas en el resto de tratamientos. Por otro lado, el tratamiento linaza apunta a un mayor porcentaje LNA, precursor del resto de omega-3 LC-PUFA.

### **3.3 Monitorización**

Antes de comenzar a suministrar las dietas experimentales, se pesaron los animales de los 3 lotes. Además, los animales fueron pesados 2 veces durante el transcurso del experimento y en el momento justo antes del sacrificio. Se tomaron estos datos con el objetivo de evaluar la ganancia de peso de cada uno de los 3 lotes experimentales. Además, con el objetivo de evaluar la aceptación de las dietas, se cuantificó la ingesta dietaria de los 3 grupos.

### **3.4 Sacrificio y procesamiento**

Los cabritos fueron sacrificados a las 12 semanas. Tras el sacrificio las canales se transportaron refrigeradas hasta el laboratorio de la granja experimental de la finca El Pico, lugar donde se realizó el despiece. Los músculos fueron mantenidos en frío y se llevaron hasta el laboratorio de Fisiología Animal de la facultad de Ciencias de la Universidad de la Laguna, donde se conservaron en ultracongelación hasta el momento del procesamiento.

### **3.5 Extracción lipídica**

Para la extracción lipídica se pesaron alrededor de 600-800 mg de músculo de cabrito *Longissimus dorsi*. A partir de este momento en adelante, se trabajó manteniendo las muestras en hielo para evitar la alteración del perfil lipídico (Christie., 2003). Se añadieron 4 ml de cloroformo-metanol, se agitó en el vortex y se dejó unos 5 minutos actuando.

En un tubo de ensayo aparte se preparan otros 6 ml de cloroformo-metanol, la cantidad restante hasta llegar a 10 ml. El tubo de muestra se agita con ultraturrax, se añade una parte de los 6 ml de cloroformo-metanol para poder triturar y obtener la porción de lípido total. Este proceso se repitió hasta 3 veces, lavando bien para arrastrar todo el lípido. Entre muestra y muestra se lava el ultraturrax con cloroformo-metanol (2:1). Se añade 2 ml de KCl, el cual debe encontrarse en la nevera y se agita en un vortex. Tras añadir el KCl se centrifuga a 1500 rpm durante 5 minutos a 4°C.

Posteriormente se prepararon nuevos tubos de ensayo con embudos y filtros humedecidos en cloroformo-metanol (2:1). Los filtros nos ayudarán a limpiar cualquier impureza a la

hora del trasvasado. (Filter-Lab, Barcelona, España) Se recoge la parte inferior con la ayuda de una pipeta Pasteur y se echa en el tubo pasando el contenido por el filtro humedecido.

Posteriormente se seca completamente el contenido con nitrógeno. Con ello obtenemos la parte de lípido total de las muestras. Mientras se secaba el contenido, se pesó y anotó el peso exacto de los viales pequeños.

Cuando se secó por completo, se adicionó un poco de cloroformo-metanol al tubo seco, se enjuagó y se traspasó al tubo pequeño ya pesado. Se repite este proceso de enjuague hasta 3 veces. Se evapora de nuevo el contenido de nitrógeno todo el contenido del vial pequeño. Una vez seco, se introduce el bote sin tapa en un desecador y se deja secar hasta el día siguiente.

Al día siguiente se pesa el vial de nuevo y se calcula el lípido total por diferencia de peso. A continuación se disuelven de nuevo los lípidos a 20 mg/ml en cloroformo:metanol (2:1) con BHT utilizando la jeringuilla Hamilton. Al terminar se lava la jeringuilla con cloroformo-metanol y por último con acetona. Se llena con nitrógeno el tubo, se cierra el vial y se congela a  $-20^{\circ}\text{C}$ .

### **3.6 Determinación del perfil de ácidos grasos**

Usando otra fracción del líquido extraído previamente, se realizó una transmetilación del mismo, por catálisis ácida, para romper los enlaces éster entre los esqueletos hidrocarbonados y los ácidos grasos y obtener así ácidos grasos libres y permitir que estos se unan con un grupo metilo  $-\text{CH}_3$ , convirtiéndose en ésteres metílicos de ácidos grasos o FAMES (fatty acid methyl ester). Este proceso les confiere una capacidad volátil, lo que hace que sean analizables en una cromatografía de gases.

Para el proceso de transmetilación de un vial partimos de una concentración de 10 mg/ml de lípidos en cloroformo-metanol (2:1) con BHT. Extraemos del vial 1 mg de lípidos lo que corresponde a 100 microlitros ya que se encuentra a 10 mg/ml y se disponen en un tubo de ensayo previamente marcado. Para ello se utiliza una hamilton de 100 microlitros, por lo que se enjuaga antes y después de la toma de muestra.

Posteriormente, se añade 5% de estándar interno el 19:0 del total del lípido, en este caso serían 50 microlitros y se evapora el contenido con nitrógeno.

Añadimos posteriormente 1 ml de Tolueno al extracto de lípido seco y se agita en vortex. Se añaden 2 ml de sulfúrico al 1% en metanol (v/v) y agitar de nuevo en el vortex. Se llena el tubo con nitrógeno y se tapa herméticamente, se utiliza un trozo de papel colocado entre la tapa y el tubo para que haga de tope y no se suelte el tapón. Se deja reaccionar en un bloque calefactor a 50°C hasta el día siguiente.

Al día siguiente se retira del calefactor y se deja enfriar. Se añaden 2 ml de  $\text{KHCO}_3$  al 2%. Además se añaden 5 ml de Hexano:Éter 1:1 con BHT al 0,01% y se agita en el vortex. Se centrifuga a 1500 rpm 5 minutos a 4°C. Es importante retirar siempre las tapas de los tubos una vez se introducen en la centrífuga y que siempre esté balanceada.

Después de centrifugar las muestras se obtienen dos fases, la fase orgánica superior y la segunda fase con los solventes. Se transfiere la fase orgánica superior a un segundo tubo rotulado. Volvimos a lavar el tubo 1. En este caso se añaden 5 ml de Hexano: éter 1:1 sin BHT al tubo 1, agitamos en el vortex. Se vuelve a centrifugar el tubo 1 a 1500 rpm 5 minutos a 4°C. Se recoge la fase superior y se añade también al tubo 2. Posteriormente, se evapora el contenido con nitrógeno, sellamos el tubo 2 con nitrógeno y conservamos en el congelador.

La purificación de los ésteres metílicos obtenidos se llevó a cabo por el proceso de TLC (cromatografía en capa fina) con la ayuda de FAMES de un estándar conocido. Se cargó la TLC con 1mg/cm de cada muestra. Se utiliza como solvente una disolución de hexano, éter y ácido acético (90:10:1). Una vez desarrolladas las placas, se tiñó con iodina (1% en  $\text{CHCl}_3$ ) sólo la banda correspondiente al estándar y la parte superior de toda la placa, donde debe aparecer una zona más opaca que corresponde al BHT, pudiendo de esta forma identificar la localización de los FAMES, que se desarrollan inmediatamente debajo del BHT y cuya banda será raspada juntamente con la sílice subyacente a esa banda. La iodina interactúa con los ácidos grasos, de ahí que solo se tiña la banda de estándar que se incluye precisamente para poder localizar la franja de placa donde se situarán los FAMES de las muestras problema.

Esta sílice se recoge en un tubo de ensayo al que se añaden 8 ml de hexano-éter (1:1) y 2 ml de hexano-éter con 0,01% BHT. Se centrifuga a 1500 rpm, 5 minutos a 4°C, se traspasa la fase superior a otro tubo de ensayo y se evapora totalmente el solvente bajo atmósfera de nitrógeno. Finalmente se disuelve la muestra con 900 microlitros de

isohexano y se almacena en viales de cristal en atmósfera de nitrógeno hasta la posterior determinación del perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases.

La cromatografía de gases se llevó a cabo en un cromatograma de gases con inyección en columna y detector de ionización de llama FID ( Flame Ionitacion Detector). Se mantuvo un método sistemático de selección de mínimo 35 picos de área detectables en cada muestra, variando así la sensibilidad del sistema en cada muestra. La identificación de cada ácido graso se realizó con ayuda de una mezcla de patrones de ácidos grasos desconocidos, o dudosa, fue determinada por cromatografía de gases acoplada a un espectrómetro de masas (DQSII, Thermo Scientific, Milan, Italia). El contenido de cada ácido graso en las muestras fue expresado en porcentaje del total de ácidos grasos, si bien la inclusión de un 5% del 19:0 en el proceso de transmetilación, permitió establecer el contenido absoluto de cada ácido graso en la muestra.

### **3.7 Análisis estadístico**

Los resultados se presentan como media  $\pm$  desviación estándar (SD). Se ha realizado un test ANOVA de un factor para verificar si se encontraba efecto en los tratamientos sobre cada una de las variables dependientes. La normalidad se ha verificado mediante los contrastes de Kolmogorov-Smirmof (Zar, 1999) y Shapiro-Wilks. Por otro lado, la homocedasticidad (homogeneidad de varianzas) se ha confirmado con el test de Levene. La existencia de diferencias significativas entre grupos se realizó mediante el test de Tukey. Para comprobar aquellos casos en los que no se consiguió estabilizar la varianza se utilizó el test de robustez de la varianza de Welch y de Brown y Forsythe.

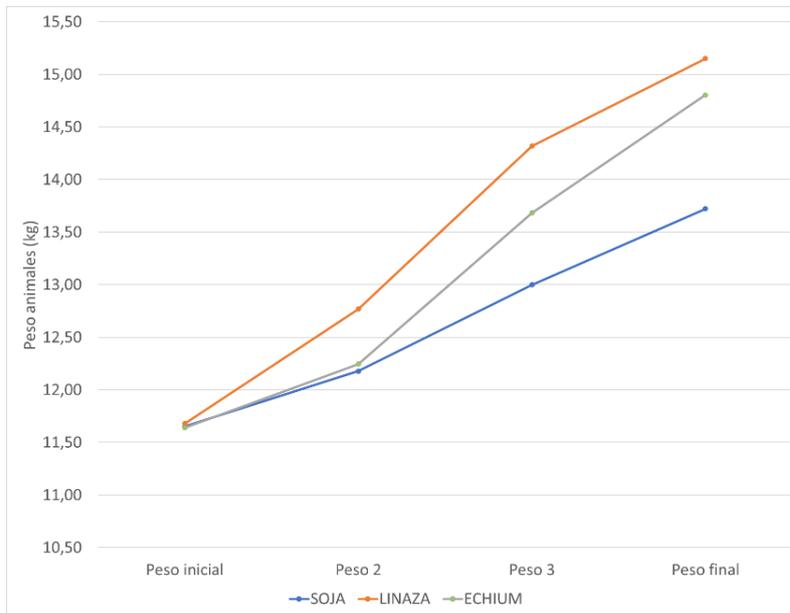
La inspección de la matriz de correlación mostró que hay correlaciones significativas y suficientemente altas. El estudio estadístico se llevó a cabo con el programa IBM SPSS Statistics 25.0. Para todos los análisis las diferencias fueron consideradas significativas para valores de  $p < 0,05$ .

## 4. Resultados

### 4.1 Curvas de crecimiento y consumos

En la figura 2 se recoge el incremento de peso (en kilogramos) de los animales de los 3 grupos experimentales. El peso inicial hace referencia al momento en el que comenzaron a suministrarse las dietas experimentales mientras que el peso final se refiere a justo antes del sacrificio.

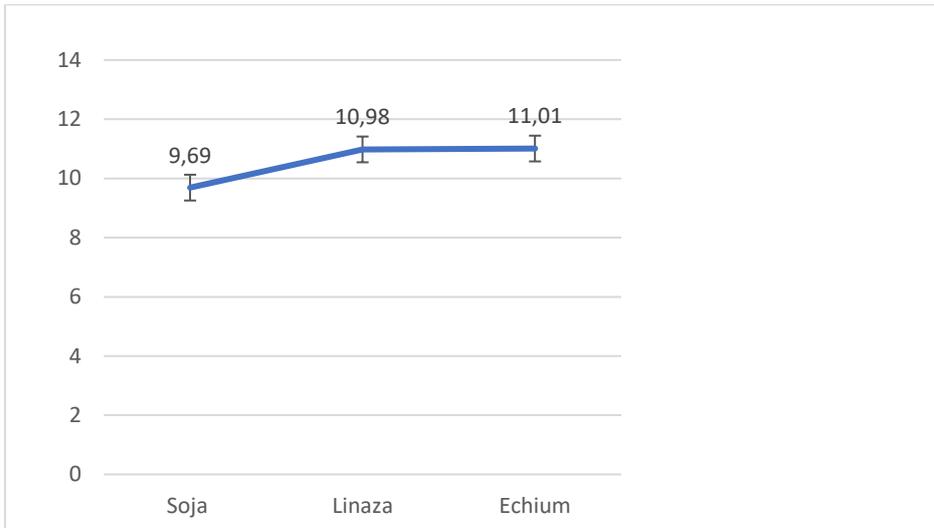
**Figura 2.** Curvas de crecimientos de los animales de los 3 grupos experimentales.



El peso inicial de los 3 tratamientos es muy similar, sin embargo, con el transcurso de los días se aprecia un ligero mayor aumento de peso en el tratamiento linaza y Echium frente a soja, aunque sin mostrar diferencias significativas, debido a la gran variabilidad de los pesos entre los animales de un mismo grupo. A su vez, los animales del lote linaza presentaron unos pesos mayores al finalizar el experimento y un incremento más ligeramente más rápido que los del grupo Echium, tampoco sin mostrar diferencias significativas.

En la figura 3 se observa el consumo, en ml, de las 3 dietas experimentales.

**Figura 3.** Consumo (mililitros) de las dietas experimentales.



No se aprecian diferencias significativas entre las ingestas de las 3 dietas experimentales. De hecho, la dieta Echium es la que presenta un mayor consumo, lo que se traduce en que los animales no han tenido ningún tipo de rechazo.

#### 4.2 Análisis del perfil de ácidos grasos en músculo

En la siguiente tabla 3 se muestra la cantidad de lípido total (% de lípido) y el perfil de ácidos grasos, en porcentaje, en músculo (*Longissimus dorsi*) de los diferentes tratamientos.

Es importante referenciar el porcentaje de lípido total obtenido donde no se aprecian diferencias significativas entre tratamientos. Cabe destacar ligeramente un mayor contenido en el músculo del grupo Echium (1,35%) frente a linaza (1,21%) y por último el grupo soja (1,14%).

En la tabla 3 también se recogen los porcentajes presentes en el perfil de ácidos grasos un aporte similar de ácidos grasos saturados (SFAs), donde destacan por cantidad, los ácidos grasos palmítico (16:0) y láurico (12:0). Por otro lado, los ácidos grasos monoinsaturados (MUFAs) también presentan un aporte similar entre tratamientos, destacando la presencia el ácido oleico (18:1n-9), entre un 23 y 27%, correspondiendo al grupo soja y Echium respectivamente.

**Tabla 3:** Lípido Total (LT) y perfil de ácidos grasos (%) en músculo (*Longissimus dorsi*) de cabrito.

Ácidos grasos (%)	SOJA			LINAZA			ECHIUM		
	media	±	SD	media	±	SD	media	±	SD
<b>SFAs</b>	31,53	±	2,17	32,33	±	2,87	34,16	±	2,96
<b>12:0</b>	0,56	±	0,25	0,80	±	0,36	0,68	±	0,30
<b>16:0</b>	17,27	±	2,49	19,08	±	2,03	19,73	±	1,96
<b>18:0</b>	10,45	±	1,66	8,71	±	1,03	9,98	±	0,53
<b>16:0 DMA</b>	5,75	±	1,92	4,49	±	1,11	3,18	±	1,50
<b>18:0 DMA</b>	1,15	±	0,52	0,82	±	0,18	0,67	±	0,34
<b>MUFAs</b>	28,86	±	6,08	32,07	±	3,19	33,64	±	6,49
<b>16:1n-9</b>	0,51	±	0,09	0,58	±	0,05	0,61	±	0,13
<b>16:1n-7</b>	1,49	±	0,55	1,94	±	0,41	1,76	±	0,55
<b>18:1n-9</b>	22,93	±	6,05	25,65	±	3,42	26,93	±	6,01
<b>18:1n-7</b>	3,12	±	0,55	3,07	±	0,48	3,51	±	0,29
<b>n-6 PUFAs</b>	28,30	±	5,01	23,18	±	3,51	22,22	±	6,29
<b>18:2n-6</b>	17,60	±	2,78	14,86	±	1,50	14,45	±	2,80
<b>18:3n-6</b>	0,17	±	0,05a	0,22	±	0,05a	0,55	±	0,08b
<b>20:2n-6</b>	0,48	±	0,24b	0,31	±	0,04a	0,23	±	0,12a
<b>20:3n-6</b>	0,52	±	0,20	0,40	±	0,08	0,51	±	0,16
<b>20:4n-6</b>	7,87	±	3,17	6,33	±	1,92	5,81	±	2,84
<b>22:4n-6</b>	1,27	±	0,60	0,80	±	0,19	0,76	±	0,38
<b>22:5n-6</b>	0,37	±	0,21	0,26	±	0,09	0,20	±	0,13
<b>n-3 PUFAs</b>	2,32	±	0,37a	5,07	±	0,93b	4,67	±	1,19b
<b>18:3n-3</b>	0,74	±	0,24a	2,76	±	0,61c	1,93	±	0,32b
<b>18:4n-3</b>	nd			0,15	±	0,04a	0,38	±	0,05b
<b>20:3n-3</b>	nd			0,14	±	0,05	0,12	±	0,03
<b>20:4n-3</b>	nd			nd			0,12	±	0,01
<b>20:5n-3</b>	0,29	±	0,07	0,59	±	0,18	0,72	±	0,38
<b>22:5n-3</b>	1,03	±	0,27	1,21	±	0,29	1,18	±	0,54
<b>22:6n-3</b>	0,25	±	0,08	0,22	±	0,09	0,21	±	0,10
<b>n-6 LC-PUFAs</b>	10,52	±	4,40	8,10	±	2,26	7,22	±	3,62
<b>n-3 LC-PUFAs</b>	1,57	±	0,39	2,16	±	0,59	2,36	±	1,06
<b>n-6/n-3</b>	12,20	±	0,61b	4,62	±	0,62a	4,75	±	0,35a
<b>LT</b>	1,14	±	0,29	1,21	±	0,36	1,35	±	0,42

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar (n=5 soja, n=5 linaza, n=5 Echium); LT, lípido total; SFA, ácidos grasos saturados; MUFA, ácidos grasos monoinsaturados; PUFA, ácidos grasos poliinsaturados; LC-PUFA, ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga.

Respecto a los n-6 PUFA, el tratamiento soja es el que presenta mayor porcentaje (28,30%) frente a 23,18% de linaza y 22,22% de Echium. El tratamiento soja presenta, además, mayor porcentaje de omega-6 LC-PUFA que el resto, encontrándose diferencias significativas entre grupos. Así, el grupo soja genera carne con un 10,52% de n-6 LC-

PUFA, frente a un 8,10% y 7,22% de los tratamientos linaza y Echimium respectivamente. Aunque sin diferencias significativas, se aprecian ligeras diferencias en cuanto al contenido de LA entre dietas, destacando el tratamiento soja (17,60%), frente a 14,86% y 14,45% de linaza y Echimium, respectivamente. Además, se observan diferencias significativas entre tratamientos respecto al ácido GLA y el ácido 20:2n-6. La dieta de aceite Echimium presenta un mayor contenido GLA (0,55%) frente a un 0,22% y 0,17% de linaza y soja respectivamente. Por su parte el 20: 2n-6 se encuentra en mayor porcentaje en soja (0,48%) frente a los grupos linaza (0,31%) y Echimium (0,21%). En cuanto al ARA, se muestran diferencias entre los 3 grupos, siendo el tratamiento soja el que mayor porcentaje presenta (7,87%) En contraste, linaza y Echimium presentan valores de 6,33% y 5,81% siendo ligeramente inferior este último.

En referencia al sumatorio n-3 PUFA, se encuentran diferencias significativas entre grupos. En este sentido, se establecen 2 grupos donde, por un lado, estaría el tratamiento soja (2,32%) y por otro lado los tratamientos linaza y Echimium, con unos porcentajes de 5,07 y 4, 4,67% respectivamente. Observando los ácidos grasos individualmente, se aprecian diferencias significativas en LNA y SDA. En relación con el primero, hay 3 grupos con diferencias estadísticas, siendo en orden ascendente soja (0,74%), Echimium (1,93%) y linaza (2,76%). El ácido graso SDA no fue detectado en el grupo soja, mostrando diferencias significativas entre los otros 2 grupos, siendo el de menor contenido el tratamiento linaza (0,15%) frente al grupo Echimium destacando por arriba (0,38%). No se han detectado diferencias significativas en los ácidos grasos n-3 LC-PUFA entre grupos, aunque si hay datos interesantes que merece la pena comentar. Empezando por el sumatorio, el grupo soja es el que menos n-3 LC-PUFA genera, frente a los otros dos tratamientos, destacando ligeramente el grupo Echimium (2,36%) frente al grupo linaza (2,16%). Solamente se ha detectado el ácido graso 20:4n-3 en la carne procedente del tratamiento Echimium. Además, se entró en la carne del grupo Echimium, más del doble de EPA que en el grupo soja (0,72% frente a 0,29%), quedando el grupo linaza en un punto intermedio (0,59%). Para cerrar la serie n-3, no se han observado variaciones en los contenidos de los ácidos grasos 22:5n-3 ni DHA. Por último, mencionar la importancia del ratio n-6/n-3. El valor más alto corresponde al grupo soja con un 12,20 un valor muy alto propio de los productos procedentes de la ganadería industrial. Por otro lado, los tratamientos linaza y Echimium han conseguido disminuir significativamente el ratio a valores muy inferiores, siendo 1,21 y 1,35 respectivamente.

### 4.3 Componentes principales de los ácidos grasos

**Tabla 4.** Componentes principales CP1 y CP2 (Método de rotación: Normalización Equamax con Kaiser)

<b>Componentes Principales</b>		
<b>Ácidos Grasos</b>	<b>Componente 1 (CP1)</b>	<b>Componente 2 (CP2)</b>
12:0	-0,858	-0,01
14:0	-0,963	0,058
14:1n-5	-0,439	0,539
16:0 DMA	0,86	-0,388
16:0	-0,893	0,244
16:1n-9	-0,826	0,221
16:1n-7	-0,946	0,002
17:0	0,313	0,231
17:1n-7	-0,195	-0,074
18:0 DMA	0,901	-0,321
18:1n-9 DMA	0,861	-0,166
18:0	0,756	-0,092
18:1n-9	-0,95	0,055
18:1n-7	0,492	0,424
18:2n-6	0,576	-0,296
18:3n-6	-0,091	0,809
18:3n-3	-0,231	0,646
18:4n-3	-0,252	0,852
20:0	0,495	-0,519
20:1n-9	0,455	0,539
20:2n-6	0,772	-0,429
20:3n-6	0,908	0,165
20:3n-3	-0,019	0,871
20:4n-3	-0,087	0,748
20:4n-6	0,955	-0,136
20:5n-	0,402	0,85
22:0	0,644	-0,175
22:4n-6	0,922	-0,301
22:5n-6	0,889	-0,261
22:5n-3	0,79	0,485
24:0	0,494	-0,783
22:6n-3	0,901	0,105
24:1n-9	0,828	-0,074

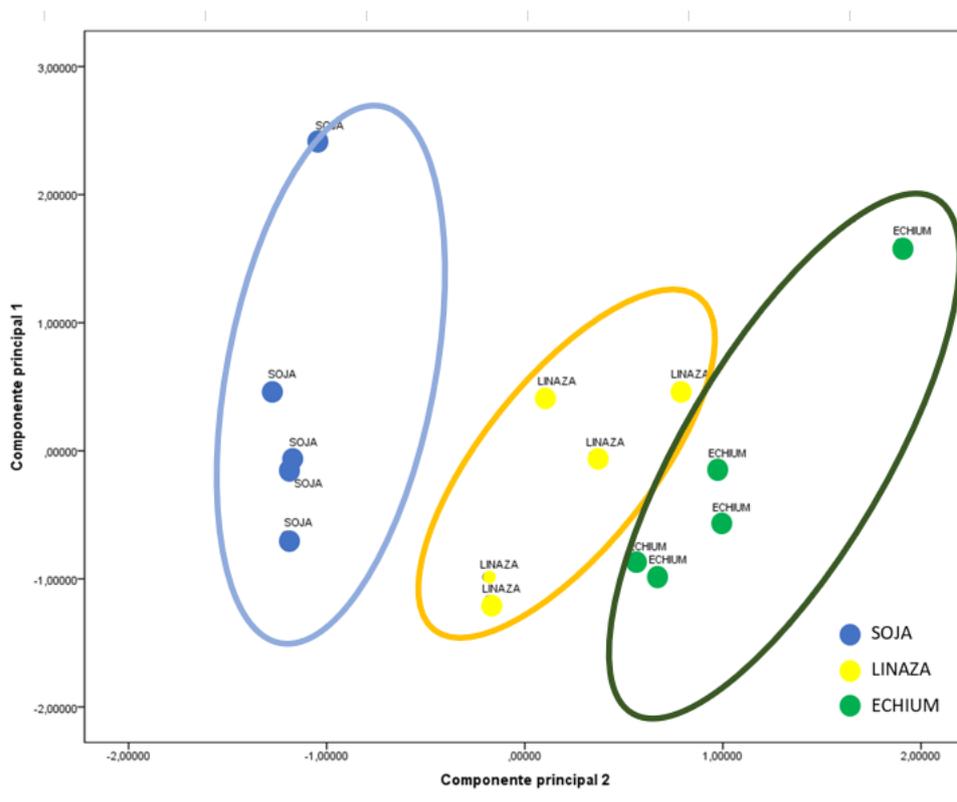
La Tabla 4 muestra los valores obtenidos de reducir los datos de ácidos grasos a solamente 2 variables, denominadas como componentes.

Las dos componentes utilizadas explican el 70% de la varianza. Por un lado, la componente 1 (CP1), explica el 49.12% y por otro lado la componente 2 (CP2) explica el 20,30%. Para ello se ha utilizado la rotación Equamax. Cabe destacar que un 70% de la varianza indica una fuerte correlación entre las variables.

La CP1(eje de ordenadas) se correlaciona positivamente con los ácidos grasos de la familia omega-6 y LC-PUFA y se correlaciona negativamente con los ácidos grasos saturados como el 12:0, 16:0 y 18:0, mientras que la CP2(eje de abscisas) está correlacionada negativamente con los ácidos grasos saturados de nuevo y positivamente con los LC-PUFA omega-3 y el GLA.

### 4.3.1 Gráfico de dispersión

**Figura 4.** Gráfico de dispersión de ácidos grasos.



En el gráfico de dispersión se observa una clara agrupación entre los individuos de un mismo grupo, lo que se traduce en una alta reproducibilidad en los resultados obtenidos del experimento. Se puede observar la presencia de 3 grupos, correspondiendo a los lotes experimentales. Más situado a la izquierda aparece el grupo soja, lo que se traduce en que, en general, estos animales han generados más ácidos grasos saturados. De izquierda

a derecha aparecen en este orden los grupos linaza y Echim, y aunque estos 2 últimos están muy próximo, parece que hay una demostración visual de que los individuos de este último grupo han generado cantidades significativamente mayores de n-3 LC-PUFA y GLA con respecto a los otros 2 tratamientos.

## 5. Discusión

Dentro de los PUFAs de la serie omega-6 el ácido graso mayoritario en los tres tratamientos es el LA seguido de ARA, su producto de elongación y desaturación. Este último no ha sido incorporado en la dieta, lo que indica que el cabrito posee la maquinaria enzimática para elongar el LA hasta ARA, como ocurre en el pollo (Dal Bosco et al., 2012; Castro et al., 2016). La bibliografía disponible respalda esta conversión de PUFA 18 C en especies de ganado. Algunos estudios han valorado la suplementación de LC-PUFA para poder modificar el perfil lipídico disminuyendo los ácidos grasos saturados (Urbano et al., 2014). Además, se han estudiado los efectos en la modulación dietaria en leche de cabra tras el suministro de aceites vegetales en la dieta demostrando una modulación dietaria a favor de LC-PUFA n-3 (Chilliard, 2014).

Este hecho fue demostrado en hepatocitos de variedades de pollo incubados con ácidos grasos por investigadores que participan en el proyecto GANAECIUM, que apoyan que otro vertebrado y herbívoro terrestre de consumo presenten las mismas capacidades (Pérez et al 2021).

A pesar de que las cantidades de LA reflejadas en el músculo de cabrito son similares, las concentraciones de ARA son significativamente superiores en el tratamiento soja respecto a los tratamientos linaza y Echim. El mismo caso se da con la biosíntesis de ácidos grasos 22:4n-6 y 22:5n-6, en menor proporción en los tratamientos de Echim y linaza, lo que apunta a que un menor aporte dietario de C18 omega-6 frente a un mayor aporte de C18 omega-3, promueve el incremento de producción y deposición tisular de omega-3 LC-PUFA y viveversa. Por tanto, se refleja una modulación dietaria en el músculo de cabrito alimentado con Echim, con una menor producción y acumulación de ARA, coincidiendo con diversos estudios en los que se ha realizado una modulación dietaria como en los hepatocitos de doradas (*Sparus aurata*) y lubinas (*Dicentrarchus labrax*) en el que se evidencia una mejora en el perfil de ácidos grasos con una dieta sustituida al 50% con aceite de *Echium plantagineum* (Díaz López et al., 2010; Alí et al., 2019). Es importante reducir los niveles de ARA producidos a partir de su precursor en las dietas

suministradas a los cabritos, donde queda reflejado esta disminución notoria de los niveles de ARA.

Si se consigue reducir significativamente los niveles de omega-6 y de este precursor de eicosanoides proinflamatorios en el músculo de cabrito, directo para consumo humano, ya se ha logrado una mejora en el perfil lipídico con un mayor consumo de ácidos grasos poliinsaturados omega-3 y una proporción más adecuada de omega-6/omega-3 acercándola a esos valores recomendados de 4:1, asociados a un menor número de enfermedades cardiovasculares, primera causa de mortalidad en la actualidad (Carrero et al., 2005)

Resultan llamativas además, las diferencias significativas con el ácido graso 18:3n-6 donde se aprecia un mayor porcentaje en el tratamiento *Echium* siendo incluso más del doble que en el tratamiento control soja. El GLA, ácido característico de *Echium plantagineum* proporciona propiedades nutrigénicas y farmacológicas como antiinflamatorias y antitrombóticas (Guil-Guerrero et al.,2000; Finch, 2010) por lo que su aumento favorece procesos antiinflamatorios.

En relación a los PUFAs de la serie omega-3, destaca el precursor de la serie omega-3, ALA. Es un ácido que se encuentra en alto porcentaje en aceite de linaza (McEntee,2002). A pesar de no incluirse en la dieta su derivado eicosanoico, EPA es sintetizado y depositado en el músculo del cabrito. Cabe destacar que a pesar de presentar el tratamiento linaza mayor porcentaje del precursor, es el tratamiento *Echium* el que genera mayor cantidad de EPA. En cualquier caso, sin haber sido incorporados en la dieta, el EPA y en menor medida el DHA, se denota de nuevo la síntesis de LC-PUFA por parte del cabrito. Por tanto, se incrementan los niveles de omega-3 frente a omega-6 en los tratamientos linaza y *Echium* provocando una producción de omega-3 LC-PUFA en el músculo a la vez que disminuyendo la de omega-6 LC-PUFA.

Es curioso en ambos tratamientos cómo la linaza a pesar de aportar más cantidad del precursor produce menor porcentaje de EPA frente al tratamiento de *Echium*. La posible explicación vendría dada por un ácido muy característico en *Echium plantagineum*, el SDA 18:4n-3. La bibliografía aportada ha demostrado que el SDA ingerido en la dieta es fácilmente elongado a 20:4n-3, favoreciendo luego su desaturación hasta EPA en eritrocitos humanos y fosfolípidos plasmáticos, incluso esa tasa de conversión es superior que desde LNA. Además, el SDA muestra efectos similares a los de EPA en lo referente

a la prevención de enfermedades cardiovasculares, siendo además eficaz en el tratamiento de afecciones dérmicas como el acné y la dermatitis (Cervero et al., 2011).

Por tanto, una alta cantidad de precursores de omega-6 como el LA desfavorece la transformación de ALA en EPA como se ha reflejado en el músculo de cabrito. Además, una mayor ingesta de SDA aportado por *Echium plantagineum*, aumenta la eficacia en la producción de EPA, ya que al ahorrarse un paso en la ruta evidencia que la desaturasa 6 es un paso limitante en la velocidad debido a la competición de LA y LNA como sustratos. (Guil-Guerrero et al., 2000).

Es decir, cuanto más equilibrada sea la dieta en relación de omega-6/omega-3 incluyendo precursores como el 18:4n-3, más se facilita la biosíntesis de los omega-3 LC-PUFA. Esto es esencial porque los destinos metabólicos más importantes de los PUFAs son procesos de elongación y desaturación para transformar los PUFA dietéticos C18 de las plantas en LC-PUFA fisiológicamente esenciales. A su vez, la transformación de estos productos en diferentes mediadores lipídicos eicosanoides y docosanoides, mediante la acción de ciclooxigenasas (COX) y las lipooxigenasas (LOX). (Zárate et al., 2017) es muy importante en el control de la inflamación y es también una conversión competitiva entre los ácidos grasos por las mismas enzimas.

Estos mediadores incluyen eicosanoides destacando prostanglandinas, leucotrienos y tromboxanos), siendo los derivados de ARA los más activos en los procesos proinflamatorios. Por el contrario los eicosanoides derivados del EPA y los docosanoides (maresinas, protectinas, resolvinas, etc.) derivados del DHA, tienen una acción eminentemente antiinflamatoria (Zárate et al., 2017).

En el perfil lipídico del músculo de cabrito no se llega a observar una producción significativa de DHA, aunque en los tratamientos linaza y *Echium* se observa un porcentaje más elevado de EPA y cierta tendencia al alza en la producción de 22:5n-3, otro precursor de docosanoides, y esto ocurre en concreto, en el grupo *Echium*. Por lo que, aunque la síntesis de DHA en el cabrito es reducida, al menos en el tiempo de experimentación, mediante la dieta suplementada con aceite de *Echium plantagineum* se ha conseguido sobretudo un aumento en la producción de EPA.

En nuestro estudio se ha evidenciado que un balance adecuado de LA y LNA aportado por los tratamientos linaza y *Echium* modula el perfil de ácidos grasos a LC-PUFA omega-3 particularmente hacia la formación de EPA.

En resumen, un suministro dietético balanceado de ácidos grasos omega-6/omega-3 aportado por las dietas vegetales locales ricas en omega-3 como las variedades Canarias de *Echium* o de otras borragináceas, produciría una mejora en el perfil de ácidos grasos omega-3 en el músculo de cabrito y otras producciones ganaderas (leche y queso). En el presente estudio se ha demostrado al menos que el aceite de *Echium plantagineum* es capaz de modular un incremento de EPA y una disminución de ARA en carne de cabrito como se ha evidenciado en pollo (Pérez et al., 2021), siendo posible que un tiempo más prolongado hubiera arrojado también incrementos significativos de DHA. La obtención de productos alimentarios de origen animal de razas autóctonas ofrece una alternativa sostenible contribuyendo a la conservación de la biodiversidad y a la potenciación de recursos endémicos y autóctonos de las Islas Canarias como es el caso del *Echium plantagineum* y las tres razas de cabra canaria, importantísimas dentro del sector cárnico.

## 6. Conclusiones

1. La ausencia de diferencias en la curva de crecimiento de los animales, así como en las ingestas, confirman que el uso de aceites ricos en ácidos grasos omega-3 no afectan negativamente a los parámetros de engorde frente a la dieta control con soja, similar a las utilizadas en ganadería industrial. A su vez, se confirma que los animales no han tenido rechazo hacia ninguna de las dietas diseñadas para este experimento.
2. En un período de doce semanas se ha logrado observar un efecto modulador del perfil de ácidos grasos en carne de cabrito.
3. La presencia de ARA, EPA y DHA en carne, parecer confirmar la presencia de una maquinaria enzimática activa para la elongar y desaturar a sus precursores LA y ALA incorporados en la dieta.
4. Se ha comprobado que tanto el aceite de linaza como el aceite de *Echium plantagineum* podrían ser una buena alternativa al aceite de soja para generar carne con menos cantidad de ácidos grasos omega-6 a la vez que aumentar los contenidos de ácidos grasos omega-3.

5. La modulación dietaria a favor de la biosíntesis de omega-3 LC-PUFA es ligeramente mayor con la dieta experimental *Echium* que con la de linaza.

6. Los resultados obtenidos señalan la importancia de utilizar una óptima proporción 18:2n-6/18:3n-3 en las dietas de los cabritos. Esta proporción podría favorecer una la producción de carne más saludable desde el punto de vista lipídico y nutricional.

## 7. Conclusions

1. The absence of differences in the animals growth curve as well as the ingestions, confirms that the usage of oils rich in omega-3 fatty acids doesn't decrease the fattening against the control diet, similar to those used in industrial cattle raising. At the same time, it is confirmed that the animals haven't shown rejection towards any of the designed diets for this experiment.

2. In a period of twelve weeks, it has been observed a modular effect in the fatty acids profile in goatling meat.

3. The presence of ARA, EPA and DHA in meat, seems to confirm the presence of an active enzymatic machinery to elongate and denatured their LA and ALA precursors incorporated in their diet.

4. It has been checked that flax oil as *Echium plantagineum* oil could be a good alternative to soy oil to generate meat with less omega-6 fatty acids content at the same time that increases the omega-3 contents.

5. The dietary modulation in favour of omega-3 LC-PUFA biosynthesis is slightly greater with the *Echium* experimental diet than with the flax oil diet.

6. The obtained results point at the importance of using an optimal proportion of 18:2n-6/18:3n-3 in goatling diets. This proportion might favor a healthier meat production from a lipidical and nutritional standpoint.

## 8. Bibliografía

- Albertí Lasalle, P. 2012. Influencia de la alimentación con altos niveles de ácidos grasos insaturados en la calidad de la canal y de la carne de terneros sacrificados a dos niveles de acabado. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza.
- Bernardi, D. M., Bertol, T. M., Pflanzner, S. B., Sgarbieri, V. C., & Pollonio, M. A. R. 2016.  $\omega$ -3 in meat products: benefits and effects on lipid oxidative stability. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(8), 2620-2634.
- Carrero, J.J., Martín-Bautista, E., Baró, L., Fonollá, J., Jiménez, J., et al. 2005. Efectos cardiovasculares de los ácidos grasos Omega-3 y alternativas para incrementar su ingesta. *Nutrición Hospitalaria*, 20(1), 63-69.
- Castro, L. F. C., Tocher, D. R., & Monroig, O. 2016. Long-chain polyunsaturated fatty acid biosynthesis in chordates: Insights into the evolution of Fads and Elovl gene repertoire. *Progress in lipid research chain polyunsaturated fatty acids in human health. Clinical and Translational Medicine*, 62, 25-40.
- Castro, L. F., Tocher, D. R., & Monroig, O. 2016. Long-chain polyunsaturated fatty acid biosynthesis in chordates: Insights into the evolution of Fads and Elovl gene repertoire. *Progress in lipid research*, 62, 25-40.
- Chilliard, Y., Toral, P. G., Shingfield, K. J., Rouel, J., & Leroux, C. 2014. Effects of diet and physiological factors on milk fat synthesis, milk fat composition and lipolysis in the goat: A short review. *Small Ruminant Research*, 122(1-3), 31-37.
- Christie, W.W., 2003. Lipid Analysis. Third ed. *The Oily Press, Bridgewater, UK*, pp. 205-224.
- Díaz López, M. d. I. M. 2010. *Sustitución parcial de aceite de pescado por aceite de echium plantagineum l. En la dieta de doradas de cultivo, sparus aurata l. Influencia sobre el crecimiento, estado de salud y metabolismo lipídico*. Tesis Doctoral, Universidad de La Laguna.
- FAO. 2009. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), Roma.
- FAO. 2022. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. *Hacia la transformación azul, Roma*.
- Figuerola, F., Muñoz, O., & Estévez, A. M. 2008. La linaza como fuente de compuestos bioactivos para la elaboración de alimentos. *Agro sur*, 36(2), 49-58.
- Guil-Guerrero, J. L., Gómez-Mercado, F., Garcia-Maroto, F., & Campra-Madrid, P. 2000. Occurrence and characterization of oils rich in  $\gamma$ -linolenic acid: Part I: Echium seeds from Macaronesia. *Phytochemistry*, 53(4), 451-456.
- Guil-Guerrero, J. L., Gómez-Mercado, F., Rodríguez-García, I., Campra-Madrid, P., & García-Maroto, F. 2001. Occurrence and characterization of oils rich in gamma-linolenic acid (III): the taxonomical value of the fatty acids in Echium (Boraginaceae). *Phytochemistry*, 58(1), 117-120.
- Finch, J., Munhutu, M. N., & Whitaker-Worth, D. L. 2010. Atopic dermatitis and nutrition. *Clinics in dermatology*, 28(6), 605-614.

-Lehninger, 2006. Principios de Bioquímica, 4.a Ed. D.L. Nelson y M. M. Cox. Ediciones Omega, S.A.

-M.F. McEntee, J. Whelan: Polyunsaturated fatty acids in biology and diseases. Dietary polyunsaturated fatty acids and colorectal neoplasia. *Biomed. Pharmacother.* 2002, 56: 380-3 M.J. James, V.M. Ursin, L.G. Cleland: Metabolism of stearidonic acid in human subjects: Comparison with the metabolism of other n-3 fatty acids. *Am. J. Clin. Nutr.* 2003, 77: 1140-1145.87.

-Mathews, C.K., Van Holde, K.E., Ahern K.G., 2002. Bioquímica, 3.a Ed., Addison-Wesley

-Nording, M.L., Yang, J., Georgi, K., 2013. Variación individual en los perfiles lipídicos de sujetos sanos en respuesta a los ácidos grasos omega-3. *PLoS ONE*, 8(10), e76575.

-Nording, M.L., Yang, J., Georgi, K., Hegedus Karbowski, C., German, J.B., et al. 2013. Individual variation in lipidomic profiles of healthy subjects in response to omega-3 Fatty acids. *PloS one*, 8(10), e76575.

-Pawlosky RJ, Hibbein JR., Novotny JA, Salem N Jr. Physiological compartmental analysis of alpha-linolenic acid metabolism in adult humans. *J Lipid Res* 2001; 42: 1257-65.

-Pinazo-Duran, M.D., & Boscá-Gomar, L.2012. Propiedades antiinflamatorias de los ácidos grasos poliinsaturados omega-3: Indicaciones en oftalmología. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, 87(7), 203-205.

-Tacon, A. G., y Metian, M. 2013. Fish matters: importance of aquatic foods in human nutrition and global food supply. *Reviews in Fisheries Science*, 21(1), 22-38

-Tocher, D. R. 2015. Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective. *Aquaculture*, 449, 94-107.

-Urbano, SA, Ferreira, MA, Oliveira, JPF, Junior, DL & Andrade, RPX 2014. Fuentes de grasa sobre la modulación del perfil de ácidos grasos de la carne de pequeños rumiantes. *Archivos de Zootecnia* , 63( 241), 147-171.

-Valenzuela B, Alfonso, Sanhueza C, Julio, Nieto ,K., et al 2002. EL USO DE LÍPIDOS ESTRUCTURADOS EN LA NUTRICIÓN: UNA TECNOLOGÍA QUE ABRE -Tocher, D. R. 2015. Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective. *Aquaculture*, 449, 94-107.

-Venegas-Calcrón, M., Sayanova, O., & Napier, J. A. 2010. An alternative to fish oils: Metabolic engineering of oil-seed crops to produce omega-3 long chain polyunsaturated fatty acids. *Progress in lipid research*, 49(2), 108-119.

NUEVAS PERSPECTIVAS EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS INNOVADORES. *Revista chilena de nutrición*, 29(2), 106-115.

-Valenzuela, A., & Nieto, S. 2003. Ácidos grasos omega-6 y omega-3 en la nutrición perinatal: su importancia en el desarrollo del sistema nervioso y visual. *Revista chilena de pediatría*, 74(2), 149-157.

-Zárate, R., Jaber-Vasdekis, N., Tejera, N., Pérez, J.A, & Rodríguez, C. 2017. Significance of long chain polyunsaturated fatty acids in human health. *Clinical and Translational Medicine*.

Consultas web

<https://metabolicas.sjdhospitalbarcelona.org/noticia/acidos-grasos-poliinsaturados-pufas>

## **9. Agradecimientos**

Expresar mi gratitud al proyecto GANAECIUM por brindarme esta oportunidad por ser parte de un proyecto de investigación tan bonito como este.

Por último, agradecer el apoyo incondicional de mi familia, amigos y mi pareja durante esta etapa universitaria.