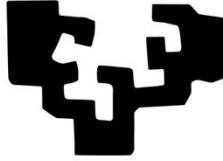


eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

FARMAZIA
FAKULTATEA
FACULTAD
DE FARMACIA

Grado de Nutrición Humana y Dietética
Curso académico 2021/2022

TRABAJO DE FIN DE GRADO

**EFEECTO DEL TIPO DE PROTEÍNA DIETÉTICA, ANIMAL O
VEGETAL, SOBRE LAS ADAPTACIONES MUSCULARES
GENERADAS POR UN PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO
DE FUERZA**

Autora:

Lucía González Martínez

ÍNDICE

RESUMEN

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	3
3.	METODOLOGÍA.....	3
4.	DESARROLLO	5
4.1.	Antecedentes y estado actual del tema.....	5
4.1.1.	<i>Papel de la nutrición en la síntesis de proteína muscular</i>	<i>7</i>
4.1.2.	<i>Cantidad óptima de proteína para la hipertrofia.....</i>	<i>9</i>
4.1.3.	<i>Capacidad anabólica de la proteína dietética</i>	<i>10</i>
4.2.	Objetivos del proyecto.....	13
4.3.	Desarrollo del proyecto	13
4.3.1.	<i>Diseño experimental y metodología</i>	<i>13</i>
4.3.2.	<i>Análisis estadístico.....</i>	<i>16</i>
4.3.3.	<i>Plan de contingencia.....</i>	<i>16</i>
4.3.4.	<i>Perspectiva de género</i>	<i>16</i>
5.	CONCLUSIONES.....	17
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17
7.	ANEXOS	25
7.1.	Anexo I: Programa de entrenamiento de fuerza.....	25

RESUMEN

La proteína de origen animal parece estimular la síntesis de proteína muscular en mayor medida que la proteína de origen vegetal. Esto se atribuye, por un lado, a la menor digestibilidad y cinética de los aminoácidos procedentes de proteínas vegetales y, por otro lado, al diferente contenido de aminoácidos esenciales de proteínas vegetales, especialmente de leucina, lisina y metionina.

En la actualidad, los efectos de una alimentación vegana sobre la ganancia de masa y fuerza muscular se siguen investigando. La mayoría de intervenciones realizadas hasta la fecha abordando este tema de investigación emplean protocolos de suplementación para investigar la ganancia de masa muscular tras un protocolo de entrenamiento de fuerza. Sin embargo, faltan investigaciones que estudien las ganancias de masa y fuerza muscular en dietas veganas sin uso de suplementos o si existen diferencias con y sin suplementación en dietas veganas.

Este proyecto consistirá en investigar los efectos de la fuente de proteína dietética (animal frente a vegetal), procedente exclusivamente de alimentos, sobre las adaptaciones generadas por un programa de entrenamiento de fuerza. Basándonos en la bibliografía existente se hipotetiza que la proteína dietética de origen vegetal es igual de efectiva que la proteína dietética de origen animal para las ganancias de fuerza y masa musculares en sujetos sanos bajo un plan de entrenamiento de fuerza.

Palabras clave: proteína dietética, proteína vegetal, masa muscular, fuerza muscular

1. INTRODUCCIÓN

La ganancia de masa y fuerza muscular se han convertido en los últimos años en el objetivo de muchas personas, no solo a nivel competitivo sino también a nivel de la población general. El culturismo, el levantamiento de potencia (powerlifting) y la halterofilia son deportes que, teniendo un mismo origen en la Antigua Grecia, han ido evolucionando y diferenciándose en deportes individuales a lo largo de los años, los cuales se juzgan en función de la cantidad de masa muscular (culturismo) y la fuerza muscular (levantamiento de potencia y halterofilia). En los tres la hipertrofia muscular es importante, aunque en diferente grado. En el momento actual se observa un auge del interés por ganar músculo, lo cual ha llevado a su vez a un aumento del interés por la proteína dietética. Por otro lado, en los últimos años se ha dado también un incremento del interés por las fuentes de proteína vegetal (1), impulsado por razones éticas, medioambientales o de salud; esto se ve reflejado en la mayor disponibilidad de alimentos, disponibles en el mercado, que son fuente de proteína de origen vegetal (1, 2). Sin embargo, en el contexto de la ganancia de masa y fuerza muscular, y en el ámbito deportivo en general, se da mayor relevancia a la proteína de origen animal y se considera que la proteína vegetal es peor, e incluso inadecuada (3).

El énfasis sobre la proteína de origen animal se debe a su mejor perfil de aminoácidos y a la mayor biodisponibilidad, lo que parece conferir una mayor capacidad anabólica en comparación con la proteína de origen vegetal (1-4). La capacidad anabólica de una proteína, es decir, su capacidad de estimular la síntesis proteica, viene determinada por la cantidad de aminoácidos presentes en plasma, especialmente del aminoácido leucina, la cual depende de la cantidad y composición de aminoácidos presentes en la proteína ingerida. La proteína de origen vegetal presenta, en su mayoría, un perfil incompleto de aminoácidos, menor contenido de leucina y otros aminoácidos esenciales, y menor biodisponibilidad; por todo esto se considera menos eficaz para estimular la síntesis de proteína muscular.

La ganancia de masa muscular o hipertrofia, sin embargo, depende no solo de la síntesis proteica sino también de la degradación de proteína muscular. Para aumentar la masa muscular se requiere un balance proteico positivo, es decir, la síntesis debe ser superior a la degradación proteica. Por tanto, la estimulación de la síntesis de proteína muscular, a pesar de ser un buen indicador de la síntesis de nueva proteína, no tiene en cuenta la degradación proteica, de manera que no puede considerarse como indicador de la ganancia de masa muscular.

Las investigaciones que han estudiado el efecto del origen de la proteína dietética sobre las adaptaciones musculares (5-17) ofrecen resultados dispares, aunque por lo general se observa que no existe diferencia significativa entre ambas fuentes cuando la cantidad de proteína ingerida es suficiente. Sin embargo, estas investigaciones son escasas y además emplean suplementación para el estudio comparativo de ambos tipos de proteínas. Hay que señalar que la proteína de los suplementos presenta características diferentes a las proteínas naturalmente presentes en los alimentos. Por un lado, se digieren y absorben más fácilmente, especialmente los suplementos de proteína vegetal, debido a la ausencia de otros compuestos que interfieran en estos procesos. Por otro lado, la concentración de proteína del suplemento es mayor que la del alimento intacto, lo que facilita alcanzar los requerimientos diarios establecidos para deportistas de fuerza, los cuales pueden ser difíciles de lograr a partir de los alimentos, especialmente en dietas hipercalóricas. A pesar de que estas investigaciones han aportado información sobre la eficacia de los suplementos de proteína vegetal en las adaptaciones musculares y aunque los suplementos proteicos son una opción válida para cubrir las necesidades proteicas diarias, sus resultados no pueden extrapolarse a dietas exentas de suplementación, por los motivos mencionados.

En este contexto, este trabajo plantea un proyecto de investigación para determinar el efecto de la ingesta de proteína dietética de origen animal frente a proteína dietética de origen vegetal en la ganancia de masa y fuerza muscular tras un programa de entrenamiento de fuerza, con el objetivo de conocer si la proteína de origen vegetal es, tal y como se piensa, menos efectiva que la de origen animal.

La elección de esta temática surge, en primer lugar y como ya se ha mencionado, porque no existen investigaciones que estudien los efectos de las diferentes fuentes de proteína dietética sobre las adaptaciones musculares a partir de una alimentación exclusivamente vegana y sin uso de suplementación. En segundo lugar, porque considero que a nivel de la población general hay mucha información errónea sobre la capacidad de la proteína de origen vegetal, y en general una alimentación exclusivamente vegetal, para cubrir las necesidades de los deportistas, sobre todo cuando los objetivos deportivos son la ganancia de masa y fuerza musculares. En tercer lugar, porque durante el grado a pesar de haber estudiado las características de las diferentes proteínas dietéticas no he tenido la oportunidad de estudiarlo en el contexto deportivo, lo que me ha llevado a querer estudiarlo en mayor profundidad. Y en cuarto y último lugar, porque tengo la intención de llevar a cabo esta investigación en el futuro. Para ello, este trabajo resulta necesario para tener conocimiento teórico y del estado actual del tema.

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

La hipótesis del presente proyecto es que la proteína dietética de origen vegetal, ingerida en cantidades suficientes, es igual de eficaz que la proteína dietética de origen animal para la ganancia de fuerza y masa musculares en sujetos sanos bajo un plan de entrenamiento de fuerza.

El objetivo general de este trabajo es diseñar un estudio de intervención en humanos para determinar el efecto del tipo de proteína dietética sobre las adaptaciones musculares a un entrenamiento de fuerza.

Los objetivos específicos planteados han sido los siguientes:

- Realizar una búsqueda bibliográfica de artículos y revisiones sobre la síntesis de proteína muscular, el papel de la nutrición en ella y la capacidad anabólica de la proteína dietética de origen vegetal, así como de los estudios existentes sobre el efecto de la proteína vegetal en la ganancia de masa y fuerza musculares.
- Definir y diseñar el protocolo de intervención.

3. METODOLOGÍA

La búsqueda bibliográfica para la realización de este trabajo se llevó a cabo a lo largo de febrero de 2022 utilizando como bases de datos PubMed, Scopus y SPORTDiscus y acotando la búsqueda a los 10 últimos años (2012-2022). Se excluyeron “libros” y “documentos” como tipos de artículo. Se emplearon los siguientes términos de búsqueda: “plant protein”, “plant based protein”, “vegan protein”, “skeletal muscle”, “muscle strength”, “muscular strength”, “strength training”, “strength exercise”, “resistance training”, “resistance exercise”, “muscle synthesis”, “muscle protein synthesis” con los operadores AND y OR. Se excluyeron los siguientes términos: “old”, “older”, “older adults”, “elderly”, “ageing” con el operador NOT.

Con esta búsqueda se encontraron 95 artículos. Después de la exclusión de duplicado (n = 22) se cribaron los resultados de acuerdo a los criterios de inclusión: a) artículos de revisión sobre las características y efectos musculoesqueléticos de las proteínas de origen vegetal y b) ensayos clínicos en humanos sanos y jóvenes (edad comprendida entre 18 - 60 años) que investiguen los efectos de la proteína de origen vegetal sobre la ganancia de fuerza y/o masa muscular. Los ensayos clínicos debían comparar la ingesta de proteína vegetal (grupo de estudio) con la ingesta de proteína animal y/o placebo (grupo control). Se excluyeron los ensayos clínicos que solo estudiaron la ingesta de proteína vegetal sobre las adaptaciones musculares sin grupo control. También se excluyeron los ensayos clínicos que solo

examinaron la capacidad de síntesis proteica muscular, balance proteico neto o incremento postprandial de la concentración plasmática de aminoácidos. Además de los ensayos clínicos obtenidos mediante la búsqueda, se incluyeron los estudios de investigación referenciados en los dos meta-análisis encontrados. Finalmente se seleccionaron 20 artículos para este trabajo: 7 artículos de revisión y 7 estudios de investigación (Figura 1). También se consultó la bibliografía de estos 20 artículos para ampliar el número de artículos de revisión sobre el tema.

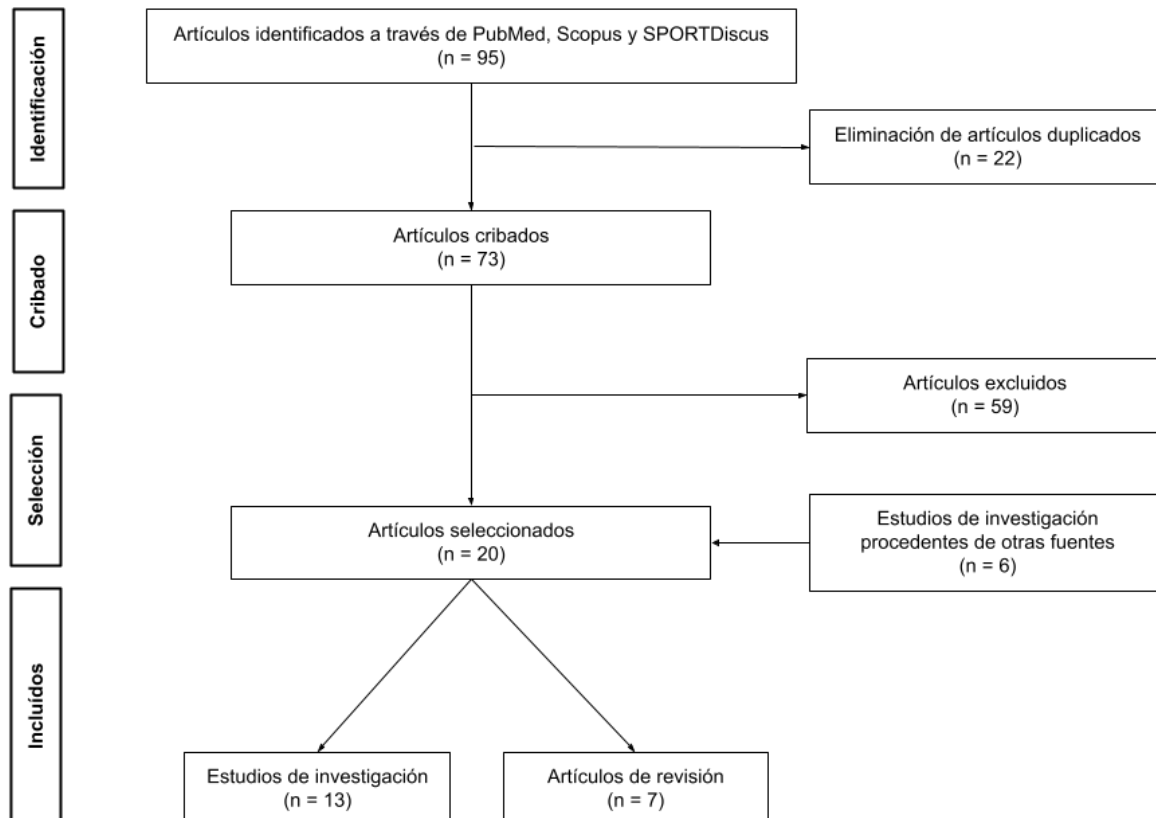


Figura 1: Diagrama de flujo de la búsqueda bibliográfica.

4. DESARROLLO

En este apartado del trabajo se abordarán distintos aspectos de la elaboración de un proyecto de investigación: a) antecedentes y estado actual del tema, b) objetivos, c) diseño experimental y metodología, d) análisis estadístico, e) plan de contingencia, f) perspectiva de género.

4.1. Antecedentes y estado actual del tema

El músculo esquelético es uno de los tres tipos de músculo, junto con el cardíaco y el liso, que forman el sistema musculoesquelético. El músculo esquelético está formado por agrupaciones de fibras musculares, cada una de las cuales consisten, a su vez, en agrupaciones de miofibrillas formadas por filamentos de proteínas contráctiles, llamados miofilamentos. Las fibras musculares se agrupan formando fascículos y estos también se agrupan formando el músculo en su totalidad. Tanto cada fibra muscular, cada fascículo como el músculo completo están rodeados de tejido conectivo que se continúa formando el tendón, que es una estructura de tejido conectivo grueso y potente que une el músculo con el hueso (Figura 2). Esta unión musculoesquelética es la que hace que la contracción muscular permita el movimiento del hueso (18).

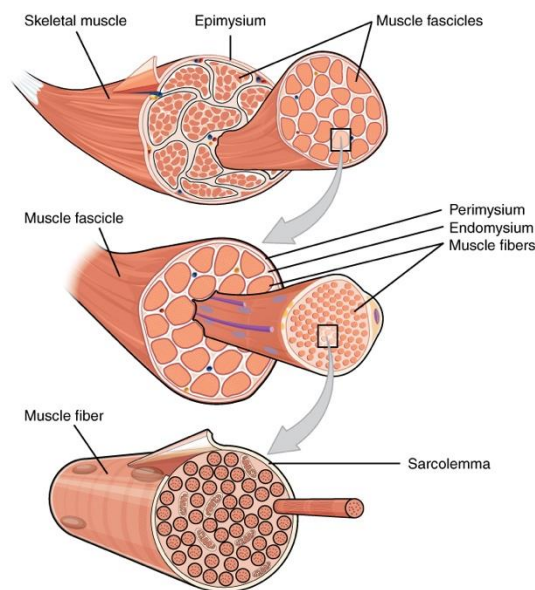


Figura 2: Estructura del músculo esquelético (19).

El músculo esquelético representa en torno al 40% del peso corporal de un individuo sano (20, 21). Su importancia en el mantenimiento de la salud no solo se debe a sus funciones mecánicas (mantener la postura, generar movimiento, permitir independencia funcional), sino también a sus funciones metabólicas; entre ellas, el músculo esquelético contribuye en gran medida al gasto energético total diario (20-22), genera calor para mantener la temperatura corporal y almacena glucosa y aminoácidos en forma de glucógeno y proteínas respectivamente. Gracias a su función de almacén, sirve de fuente de aminoácidos para otros tejidos y es capaz de sintetizar glucosa a partir de aminoácidos en caso de ayuno prolongado (20). Así, el mantenimiento del músculo esquelético es importante, además de para el rendimiento deportivo, también para la salud, y su pérdida está relacionada con un aumento de morbilidad y mortalidad y una disminución de la calidad de vida (21-23).

El mantenimiento de la masa muscular resulta del equilibrio entre la síntesis de proteína muscular y el catabolismo proteico muscular (20, 24). El músculo esquelético es un tejido altamente dinámico; a lo largo del día existe alternancia entre períodos de mayor degradación proteica, en periodos de ayuno, y periodos de mayor síntesis proteica, después de las comidas; pero el balance final es neutro, de manera que la cantidad de masa muscular permanece constante (25). Por otro lado, el músculo esquelético presenta una gran plasticidad (20, 26); es decir, tiene la capacidad de cambiar, aumentar o disminuir de tamaño, en respuesta a las diferentes demandas o estresores impuestos, ya sea ejercicio físico, lesión, o enfermedad. Los cambios que se producen en el músculo en respuesta a estas demandas se traducen en aumentos de tejido muscular, pérdida de tejido muscular y/o modificaciones en las características del músculo. Si el músculo es capaz de responder a las demandas impuestas con un aumento de la síntesis proteica se observa una ganancia de tejido (hipertrofia). Sin embargo, cuando las demandas superan la capacidad de síntesis del músculo, se observa una disminución de tejido muscular que resulta del encogimiento y/o de la pérdida (atrofia) de las fibras musculares (20, 26). La disminución de la masa muscular es un fenómeno que se observa en el envejecimiento y también en diferentes enfermedades. La pérdida de masa muscular tiene grandes repercusiones en la salud, pues implica una disminución tanto de funcionalidad (menor capacidad de contracción y de generar fuerza y potencia) como de almacén de aminoácidos, glucosa y diferentes moléculas efectoras, principalmente anti-inflamatorias (26). También puede ser la causa o la consecuencia de una determinada condición o enfermedad. En ambos casos, la pérdida de músculo disminuye la capacidad del organismo de hacer frente a diversas enfermedades, infecciones y al desgaste asociado a la edad u otras condiciones preexistentes o comorbilidades, por tanto, aumenta la morbilidad y mortalidad y disminuye la calidad de vida (22, 27).

En el ámbito deportivo, sin embargo, el interés se centra en la ganancia de masa muscular o la hipertrofia muscular. Esto se debe a que un mayor tamaño del músculo implica una mayor capacidad de ejercer más fuerza y potencia, mejorando así el rendimiento deportivo. La ganancia de masa muscular se consigue cuando la síntesis de proteína muscular es mayor que el catabolismo proteico muscular durante un periodo de tiempo prolongado (28); es decir, resulta de un equilibrio o balance proteico positivo. Los dos principales estímulos de la síntesis de proteína muscular son el aporte dietético de proteínas y el ejercicio físico de fuerza. (29). El ejercicio de fuerza es aquel en el que se emplea algún tipo de resistencia (objeto o masa) para generar la contracción muscular; la resistencia que el músculo debe superar para contraerse puede ser variable (mediante el uso de poleas o bandas elásticas), constante (mediante el uso de pesos libres) o estática/inamovible.

4.1.1. Papel de la nutrición en la síntesis de proteína muscular

Aunque una explicación exhaustiva de los mecanismos por los que el ejercicio de fuerza desencadena la hipertrofia muscular va más allá del alcance de este trabajo, sí es necesario mencionar los aspectos clave debido a que tanto el ejercicio de fuerza como el aporte dietético de aminoácidos activan las mismas vías de señalización de la síntesis de proteína (23, 25, 30-34). El ejercicio de fuerza actúa sobre la respuesta hipertrófica muscular a través de tres mecanismos: tensión mecánica, estrés metabólico y daño muscular, siendo el primero el mecanismo más importante (31). La tensión generada por la contracción muscular (tensión mecánica) representa una señal mecánica que en el músculo esquelético se convierte en una señal bioquímica; este proceso se conoce como mecanotransducción (Figura 3) (25, 31). La señal bioquímica desencadena una cascada de señales moleculares que activan diferentes vías de señalización anabólica intracelular y, en consecuencia, la síntesis proteica (25, 31). Uno de los complejos intracelulares más importantes en la estimulación de la síntesis proteica muscular es el complejo diana de rapamicina en células de mamífero 1 o mTORC1 (siglas en inglés), que parece intervenir en la síntesis proteica, en concreto en el inicio de la fase de traducción. mTORC1 se activa, además de por la contracción muscular ya mencionada, por las concentraciones plasmática e intramuscular de aminoácidos y por hormonas, entre ellas la insulina (30, 32). Esta activación da lugar a una sucesión de señales que finalmente ponen en marcha el inicio de la traducción para la síntesis de proteínas (25, 34).

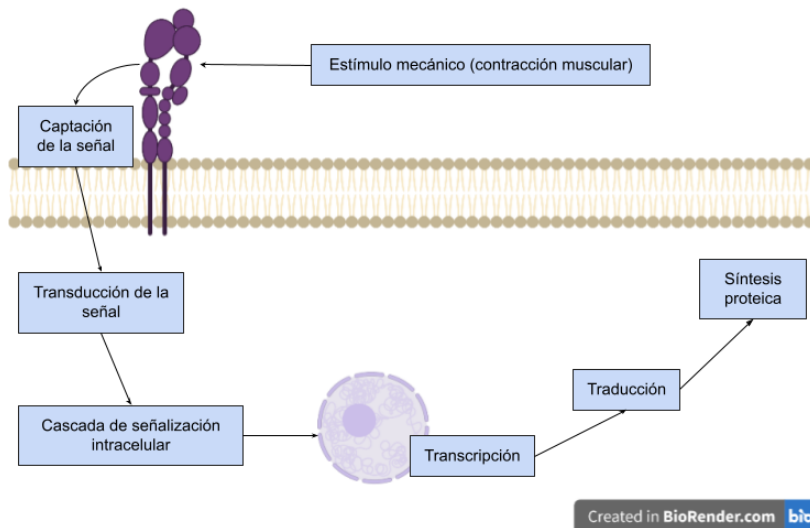


Figura 3: Proceso de mecanotransducción. Creado con BioRender.com
Adaptado de *Science and development of muscle hypertrophy*, 2016 (35).

Antes de continuar, es importante diferenciar la síntesis proteica muscular del aumento de masa muscular; maximizar la síntesis de proteína muscular no es lo mismo que maximizar la hipertrofia muscular. Como ya se ha mencionado, para lograr que el músculo aumente de tamaño es necesario que el balance proteico sea positivo, es decir, la síntesis de proteína debe ser mayor a la degradación proteica (36). Aunque el ejercicio físico actúa de señal para activar la síntesis de proteína muscular, también eleva su degradación (25, 36), de manera que en ausencia de sustrato disponible para crear nuevas proteínas el balance se mantiene negativo. Para lograr un balance proteico positivo, por tanto, es necesaria la presencia de aminoácidos en plasma procedentes de la dieta (24, 37). Los aminoácidos ejercen así dos funciones: por un lado, sirven de señal para activar la síntesis de proteína muscular y, por otro lado, sirven de sustrato para la misma. De todos los aminoácidos dietéticos, sólo el aumento de los aminoácidos esenciales es determinante para la activación de la síntesis proteica, ya que los aminoácidos no esenciales no parecen ser necesarios para ésta (30, 33, 37-39). Además, si bien es cierto que se requiere un aumento en la concentración de todos los aminoácidos esenciales para conseguir un efecto anabólico máximo, parece que el aminoácido esencial leucina es especialmente importante debido a su capacidad de estimular la síntesis proteica mediante la activación de mTORC1 de forma independiente al resto de aminoácidos (24, 30, 33).

4.1.2. Cantidad óptima de proteína para la hipertrofia

Si bien el papel fundamental de la proteína en la hipertrofia muscular es indiscutible, determinar la cantidad óptima resulta más difícil. Según la OMS la ingesta diaria recomendada de proteína para la población general es de 0,8 g/kg de peso corporal. Sin embargo, esta cantidad parece ser insuficiente para personas que realizan actividad física, sobre todo aquellas que realizan ejercicio de fuerza, puesto que el desgaste muscular es mucho mayor. Los requerimientos proteicos de los deportistas, además de garantizar un estado de salud óptimo, deben ser suficientes para reponer y reconstruir el músculo desgastado durante el entrenamiento y para generar nuevo músculo y aumentar la masa muscular (36, 40). Phillips *et al.* establecieron en 2004 (36), basándose en el método del balance de nitrógeno, una recomendación de 1,3 g/kg/día, siendo este el límite superior del intervalo de confianza. Sin embargo, debido a las subestimaciones del método a menudo se sugieren cantidades superiores de proteína (1,4 - 2,0 g/kg/día) (40). Además, también hay que tener en cuenta que los requerimientos proteicos de un deportista varían en función de la edad, el programa de entrenamiento, la composición corporal y la cantidad de energía ingerida en la dieta (40). Por estos motivos, la Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva (ISSN en inglés) establece las recomendaciones de proteína, además de en cantidades diarias, en términos de cantidad por toma (40), bien de forma absoluta (g totales/toma) o relativa (g/kg/toma) (40). Varias investigaciones han estudiado la relación dosis-respuesta entre la ingesta de proteína y la estimulación de síntesis proteica muscular para determinar la dosis óptima de proteína y concluyen que un mínimo de 20 g de proteína es necesario para estimular la síntesis. Observan que 10 g de proteína son insuficientes y que, en el extremo opuesto, 40 g de proteína generan una respuesta anabólica poco superior a 20 g de proteína (39-43). Así, con el fin de maximizar la síntesis de proteína muscular se recomienda la ingesta de 20 - 40 g de proteína por toma, en términos absolutos, o 0,25 g/kg de peso corporal por toma en términos relativos cada 3 - 4 h, en tantas tomas como sea necesario (40-44).

Por otro lado, al ser los aminoácidos esenciales los únicos implicados en la síntesis de proteína muscular, es importante tener en cuenta el contenido de estos en la proteína ingerida, sobre todo de leucina, con el objetivo de garantizar una síntesis muscular máxima. Las cantidades óptimas de aminoácidos esenciales y de leucina son entre 6 - 15 g y 1 - 3 g, por toma de proteína, respectivamente (39, 40, 43), que son las cantidades presentes en 20 g de proteína de alta calidad.

Por último, otra área de interés en la nutrición deportiva, de cara a mejorar el rendimiento y, sobre todo, a potenciar la ganancia de masa muscular, es el momento de ingesta de los diferentes nutrientes, especialmente de proteína y carbohidratos, conocido como "*timing* de

nutrientes” o “*nutrient timing*” en inglés (41, 42, 45, 46). Este concepto hace referencia al consumo de nutrientes alrededor de la sesión de entrenamiento (antes, durante y después) con el objetivo de maximizar las adaptaciones musculares al ejercicio y la reparación de tejidos. En este sentido, la ingesta de nutrientes después del ejercicio es el momento al que más importancia se le atribuye; debido a que el entrenamiento genera daño muscular y depleción de aminoácidos y glucógeno. La ingesta de nutrientes post-entrenamiento produce una recuperación mayor ya que los tejidos están más receptivos a dichos nutrientes (42). En relación con el ejercicio de fuerza son la proteína o los aminoácidos los protagonistas. Mientras que la ingesta de proteína o aminoácidos aumenta la síntesis proteica muscular durante un tiempo limitado (45 - 90 minutos) para luego volver a niveles basales, la contracción muscular genera un estímulo anabólico que dura de 24 - 48h, siendo el efecto mayor inmediatamente después del ejercicio. Esto implica que la ingesta de proteína a lo largo de las horas siguientes al entrenamiento produce picos anabólicos superiores a los generados únicamente por el ejercicio (33). Por otro lado, si bien se tiende a urgir la ingesta de proteína después del entrenamiento para aprovechar el mayor efecto anabólico del ejercicio (42, 45), esta no es necesario si se ha realizado una comida con proteína antes del ejercicio ya que los aminoácidos permanecen en plasma de 3 a 6 horas después de ser ingeridos (42).

De forma práctica, por tanto, se podría concluir que si bien la ingesta de proteína tras el entrenamiento puede producir una mayor estimulación de la síntesis muscular, la necesidad de ésta dependerá del tiempo que haya pasado desde la última comida pre-entrenamiento y de la composición de la misma (42). Además, debido a que la síntesis proteica permanece elevada hasta más de 24 horas, como resultado de la contracción muscular, es recomendable realizar múltiples ingestas de proteína durante este periodo de tiempo, en las cantidades ya mencionadas (20 - 40 g totales o 0.25 g/kg de peso corporal).

4.1.3. Capacidad anabólica de la proteína dietética

La capacidad de una proteína dietética de estimular la síntesis proteica muscular, es decir, su capacidad anabólica, está determinada por la elevación postprandial de aminoácidos plasmáticos que genera, la cual a su vez depende tanto de la cantidad de proteína aportada en la dieta como de la calidad de la misma (2). Es fácil de entender que diferentes cantidades de proteínas distintas generen respuestas anabólicas distintas. En lo que respecta al tipo de proteína, cuando se compara la capacidad anabólica de cantidades iguales de proteína animal y proteína vegetal se observa que la última genera una menor respuesta anabólica en el músculo esquelético (47-50). Esto significa que hay factores que hacen que a igualdad de cantidades la eficacia para estimular la síntesis proteica sea menor en la proteína de origen vegetal. Estos factores están relacionados con la calidad de la proteína, que depende de su

biodisponibilidad entre otros, es decir, de la proporción de aminoácidos absorbidos y utilizados por el organismo (51). La calidad de una proteína puede determinarse por varios métodos (52), siendo los más frecuentes la puntuación de aminoácidos corregida por la digestibilidad de las proteínas (protein digestibility corrected amino acid score o PDCAAS en inglés) y el índice de Aminoácidos Indispensables Digestibles (digestible indispensable amino acid score o DIAAS en inglés) (52). Aunque por lo general las proteínas de origen vegetal presentan valores menores en los índices anteriormente mencionados que las de origen animal (ej. el huevo y la leche tienen un PDCAAS de 1, mientras que la lenteja y el arroz tienen un PDCAAS de 0.73 y 0.52, respectivamente) hay excepciones con valores muy similares (la soja tiene un PDCAAS de 0.92 y la carne de ternera de 0.93). Sin embargo, su capacidad de estimular la síntesis de proteína muscular es menor (47, 48), incluso con valores de PDCAAS y/o DIAAS similares. Por tanto, no pueden utilizarse estos valores para determinar el potencial anabólico de una proteína, sino que hay que contemplar cada uno de los factores que condicionan su calidad: la composición de aminoácidos y el grado y la velocidad de digestión y absorción de los mismos (1).

Empezando por la composición de aminoácidos de la proteína, ésta va a determinar tanto el grado de estímulo anabólico como la presencia de precursores para sintetizar nuevas proteínas. Como ya se ha mencionado, solo los aminoácidos esenciales están implicados en la síntesis de proteínas, especialmente la leucina. Las fuentes de proteína vegetal tienen una menor concentración de aminoácidos esenciales totales que las de proteína animal y, además, muchas de estas concentraciones no alcanzan los requerimientos establecidos, como es el caso de la lisina y la metionina (1, 51). Sin embargo, aunque alcancen los requerimientos, sus concentraciones siguen siendo menores que las de las fuentes de proteína animal. La concentración insuficiente de algunos aminoácidos en la proteína no solo implica un menor aporte inicial de los mismos, sino también un menor aprovechamiento posterior para la síntesis de proteína muscular y una mayor oxidación. Esto parece ser debido a que la ingesta de una proteína con una distribución de aminoácidos irregular hace que haya una mayor proporción de aminoácidos libres que se destinan a la oxidación y a la producción de urea en lugar de a la síntesis proteica (53). El hecho de que para la síntesis de proteína muscular sean necesarios tanto un estímulo adecuado, como aminoácidos precursores suficientes (2, 54), explicaría que la capacidad anabólica de las fuentes de proteína vegetal sea menor que las de proteína animal. Efectivamente, el estímulo anabólico es menor, debido a la menor concentración de aminoácidos esenciales, principalmente de leucina, y la cantidad de precursores también es menor debido a la presencia de aminoácidos en cantidades insuficientes y a la mayor oxidación de aminoácidos y síntesis de urea.

Además de la composición de aminoácidos de la proteína, la capacidad anabólica también depende del grado y de la velocidad de digestión y absorción de dicha proteína (1, 2, 4). Así, cuanto mayor y más rápida sean la digestión y la absorción, más rápida es la elevación de la concentración de aminoácidos en sangre, lo que parece determinar el grado de estimulación anabólica (55, 56). Las proteínas de origen vegetal se absorben y digieren en menor medida y también lo hacen más lentamente que las de origen animal. Por ejemplo, mientras que el grado de absorción de proteínas animales es del 80-95%, el de proteínas de origen vegetal es del 65-75% (57, 58). Esto se atribuye principalmente a la presencia de factores antinutritivos en los alimentos vegetales; por ejemplo, el ácido fítico de las legumbres, cereales y semillas, interactúa con las proteínas y los inhibidores de proteasas presentes en las legumbres, cereales y patatas formando complejos con enzimas digestivos, que disminuyen la digestibilidad (4, 59). Sin embargo, cuando se purifica la proteína eliminando estos factores y se somete a diferentes tratamientos se observa un aumento del grado de digestión y de absorción y de la elevación en la concentración plasmática de aminoácidos (1, 2).

Teniendo en cuenta todo lo mencionado anteriormente podría concluirse que la proteína de origen vegetal resulta menos eficaz para estimular la síntesis de proteína muscular y, por tanto, podría pensarse que también es menos apta para conseguir los efectos deseados del entrenamiento sobre el rendimiento deportivo y la condición física. Debido a ello se han planteado diferentes formas de aumentar el potencial anabólico de la proteína vegetal, como ingerir una mayor cantidad, emplear formas procesadas o purificadas de la misma, enriquecer la proteína con aminoácidos libres o combinarla con fuentes de proteína animal, etc (1, 2). Sin embargo, que una proteína tenga una menor capacidad de estimular la síntesis de proteína muscular no implica que el resultado sobre el rendimiento deportivo y/o la condición física vaya a ser menor. Esto depende, básicamente, de si la proteína administrada es suficiente para estimular la síntesis proteica y para generar un balance proteico positivo. Numerosas investigaciones han querido estudiar precisamente esto; es decir, si la ingesta de proteína vegetal conduce a menores ganancias de masa muscular, fuerza, potencia, etc.

4.2. Objetivos del proyecto

El objetivo general de este proyecto consistirá en estudiar los efectos de la fuente de proteína dietética, animal o vegetal, sobre las adaptaciones musculares generadas mediante un programa de entrenamiento de fuerza. Dentro de este objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Comparar los cambios en la masa muscular y en la composición corporal tras la ingesta de proteínas de origen animal y vegetal.
2. Comparar los cambios en la fuerza muscular del tren superior y del tren inferior tras la ingesta de proteína de origen animal y vegetal.
3. Determinar la relación entre la cantidad de proteína dietética ingerida y la ganancia de fuerza muscular.
4. Determinar la relación entre la cantidad de proteína dietética ingerida y la ganancia de masa magra.
5. Determinar si las adaptaciones musculares a la proteína dietética y a un programa de entrenamiento de fuerza son diferentes en hombres y mujeres.

4.3. Desarrollo del proyecto

4.3.1. Diseño experimental y metodología

El estudio que se va a llevar a cabo es de tipo prospectivo longitudinal.

Para poder estudiar los efectos de la fuente de proteína dietética sobre las adaptaciones musculares generadas mediante un programa de entrenamiento de fuerza se reclutarán participantes que siguen habitualmente una alimentación omnívora para un grupo (control) y participantes con una alimentación exclusivamente vegana para el otro grupo (de estudio). El número de participantes será de 52, repartidos en dos grupos experimentales (control y estudio) a razón de una ratio de 1:1. Este cálculo se ha llevado a cabo utilizando el programa informático predictivo G* Power. Con este número de participantes se conseguirá una potencia estadística del 80% con un intervalo de confianza del 95%.

Los criterios de inclusión serán los siguientes:

- Edad comprendida entre 18 - 35 años
- Adherencia a una alimentación vegana durante al menos 1 año o alimentación omnívora
- Ausencia de lesiones o patologías
- Experiencia en entrenamiento de fuerza
- Abstención del uso de suplementos de proteína y/o creatina durante 1 mes antes del inicio de la intervención y durante la misma.

Los criterios de exclusión serán los siguientes:

- Uso de suplementos de proteína y/o creatina durante el mes previo al inicio de la intervención
- Uso previo de esteroides anabolizantes
- Embarazo
- Alergia a la soja.

El proceso de reclutamiento de los y las participantes en el estudio se realizará de forma indirecta mediante anuncios en gimnasios y redes sociales. Las personas interesadas rellenarán un formulario a través de la plataforma online Google Forms. Posteriormente se seleccionarán a los y las participantes atendiendo a los criterios de inclusión y exclusión.

Antes del inicio del estudio todos los y las participantes completarán tres recuerdos dietéticos de 24 horas (dos días no consecutivos entre semana y un día del fin de semana) para conocer su ingesta inicial de proteína. Además, los y las participantes completarán a lo largo de la intervención, cada 4 semanas, registros dietéticos adicionales para monitorizar la cantidad de proteína ingerida. Sus requerimientos energéticos de los y las participantes se estimarán calculando el gasto energético basal mediante la fórmula de Harris-Benedict y multiplicando el resultado por un factor de actividad de 1,5 - 1,7.

Los y las participantes en el proyecto consumirán una cantidad total de proteína de 1.4 - 1.8 g/kg de peso corporal al día a lo largo de toda la intervención (días de entrenamiento y días de descanso), de origen animal y vegetal o exclusivamente vegetal, repartida en varias tomas de 20 - 40 g de proteína/toma para optimizar la estimulación de la síntesis proteica. Además, también se tendrá en cuenta el contenido de leucina de las comidas, principalmente las realizadas después del entrenamiento. Con respecto al resto de macronutrientes (hidratos de carbono y lípidos) se les proporcionarán consejos orientativos, dándole especial importancia a la ingesta de carbohidratos antes y después del entrenamiento, con el fin de aportar la energía suficiente para el mismo y de reponer el glucógeno durante el periodo de post-entrenamiento.

La ingesta diaria de proteína dietética se valorará a través de los registros dietéticos. También, antes y después de la intervención (semana 0 y semana 13) se evaluarán el peso corporal y la composición corporal (masa grasa, masa magra, porcentaje de masa grasa, agua corporal total) de los y las participantes mediante un análisis de bioimpedancia. La fuerza muscular se evaluará mediante la prueba de la repetición máxima (1RM) en la prensa de piernas para el

tren inferior y el press banca para el tren superior; la ingesta diaria de proteína dietética se valorará a través de los registros dietéticos.

El programa de entrenamiento se llevará a cabo durante toda la duración de la intervención (12 semanas) y consistirá en un programa de entrenamiento de fuerza de cuatro días semanales dividido en dos días para el tren superior y dos días para el tren inferior con una progresión de la carga lineal, es decir, el volumen del entrenamiento disminuirá y la intensidad aumentará a lo largo de la intervención. Durante la primera mitad de la intervención (semana 1 a semana 6) los y las participantes realizarán 3 series de 10-12 repeticiones y durante la segunda mitad de la intervención (semana 6 a semana 12) realizarán 4 series de 6-8 repeticiones; el número de repeticiones será diferente en función del ejercicio. Antes del inicio de la intervención (semana -1) se realizará una demostración de los ejercicios incluidos en el programa de entrenamiento (Anexo I), explicando la técnica de ejecución. Además, se seguirá un modelo de autorregulación de la carga: dependiendo del número de repeticiones realizadas durante la última serie de cada ejercicio la carga se mantendrá igual, aumentará o disminuirá la próxima semana. Para asegurar el cumplimiento del programa de entrenamiento se proporcionará a los y las participantes del estudio acceso a un documento de *Google Sheets* donde registrarán las sesiones completadas, las repeticiones realizadas y la carga empleada en cada ejercicio.

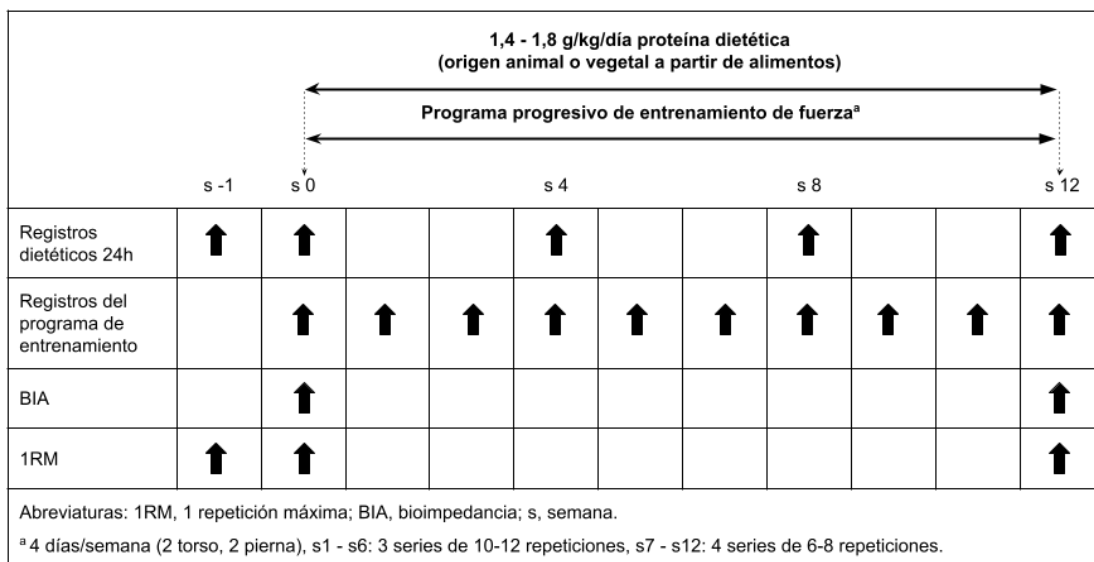


Figura 4: Cronograma del proyecto de investigación.

4.3.2. *Análisis estadístico*

En primer lugar, se estudiará si los resultados presentan una distribución normal, mediante el empleo del test Shapiro-Wilk. Cuando los resultados sigan una distribución normal, la comparación entre los dos grupos de participantes se llevará a cabo mediante el test de *t* de student de datos pareados y cuando no sigan una distribución normal mediante el test de Wilcoxon. Los estudios de correlación se realizarán mediante el test de Pearson. Los valores se expresarán como media \pm desviación estándar. Un valor de $P < 0.05$ se considerará significativo.

4.3.3. *Plan de contingencia*

En caso de que el número de participantes con una alimentación exclusivamente vegana no sea suficiente, el grupo vegano estará integrado por participantes con una alimentación vegana y participantes con una alimentación omnívora que durante la intervención seguirán una alimentación exclusivamente vegana. De ser así, esto se tendrá en cuenta en las conclusiones del estudio debido a las posibles adaptaciones fisiológicas que puedan darse como resultado de un cambio brusco de alimentación y al efecto residual de la ingesta previa de proteína de origen animal.

4.3.4. *Perspectiva de género*

La muestra del estudio será mixta, con el mismo número de hombres y mujeres en cada grupo (estudio y control). Esto permitirá estudiar, no solo si existen diferencias en las adaptaciones musculares para el origen de la proteína dietética, sino también si existen diferencias entre hombres y mujeres en la ganancia de masa y fuerza muscular.

Aunque en el momento actual hay bastantes investigaciones sobre las diferencias en la ganancia de masa y/o fuerza muscular entre hombres y mujeres, la evidencia presenta ciertas limitaciones debido a que la mayoría de estudios se realizan a corto plazo y/o emplean sujetos desentrenados. Esto implica que los resultados observados en el corto plazo no pueden extrapolarse al largo plazo e, igualmente, que los resultados observados en sujetos desentrenados no pueden extrapolarse a sujetos entrenados, ya que las adaptaciones musculares son diferentes. Los sujetos seleccionados para el proyecto tendrán experiencia previa en entrenamiento de fuerza (sujetos entrenados), lo que arrojará cierta evidencia sobre las diferencias en las ganancias de masa y/o fuerza muscular bajo estas condiciones.

5. CONCLUSIONES

El objetivo principal del proyecto de investigación planteado consiste en estudiar si la proteína de origen vegetal procedente exclusivamente de la dieta resulta menos eficaz que la proteína dietética de origen animal para la ganancia de masa y fuerza muscular tras un programa de entrenamiento de fuerza. Así, el proyecto planteado resulta novedoso, ya que los estudios que han analizado el mismo objetivo publicados hasta la fecha emplean suplementos proteicos.

Los resultados obtenidos ayudarán a conocer si realmente el origen de la proteína dietética influye en la ganancia de masa y fuerza muscular en sujetos sanos bajo el programa de entrenamiento planteado.

Además, el diseño experimental planteado permitirá estudiar si el efecto del origen de la proteína dietética sobre la ganancia de masa y fuerza muscular es diferente en hombres y mujeres y si las adaptaciones musculares en respuesta a un programa de entrenamiento de fuerza son diferentes en hombres y mujeres. Esto último aporta también novedad al proyecto debido a que la mayoría de los estudios revisados sobre los efectos del origen de la proteína emplean únicamente hombres como sujetos de estudio.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. van Vliet S, Burd NA, van Loon LJ. The Skeletal Muscle Anabolic Response to Plant-versus Animal-Based Protein Consumption. *J Nutr.* [Internet]. 2015 Jul 29 [citado 9 Feb 2022];145(9):1981–91. Disponible en: <https://academic.oup.com/jn/article/145/9/1981/4585688> DOI: 10.3945/jn.114.204305
2. Pinckaers PJM, Trommelen J, Snijders T, van Loon LJC. The Anabolic Response to Plant-Based Protein Ingestion. *Sports Med.* [Internet]. 2021 Sep [citado 14 Feb 2022];51(S1):59–74. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40279-021-01540-8> DOI: 10.1007/s40279-021-01540-8
3. Kerksick CM, Jagim A, Hagele A, Jäger R. Plant Proteins and Exercise: What Role Can Plant Proteins Have in Promoting Adaptations to Exercise? *Nutrients* [Internet]. 2021 Jun 7 [citado 9 Feb 2022];13(6):1962. Available from: <https://www.mdpi.com/2072-6643/13/6/1962> DOI: 10.3390/nu13061962
4. Berrazaga I, Micard V, Gueugneau M, Walrand S. The Role of the Anabolic Properties of Plant- versus Animal-Based Protein Sources in Supporting Muscle Mass Maintenance: A Critical Review. *Nutrients* [Internet]. 2019 Aug 7 [citado 16 Feb

- 2022];11(8):1825. Disponible: <https://www.mdpi.com/2072-6643/11/8/1825> DOI: 10.3390/nu11081825
5. Messina M, Lynch H, Dickinson JM, Reed KE. No Difference Between the Effects of Supplementing With Soy Protein Versus Animal Protein on Gains in Muscle Mass and Strength in Response to Resistance Exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* [Internet]. 2018 Nov [citado 29 Mar 2022];28(6):674–85. Disponible en: <https://journals.humankinetics.com/view/journals/ijsnem/28/6/article-p674.xml> DOI: 10.1123/ijsnem.2018-0071
 6. Lim MT, Pan BJ, Toh DWK, Sutanto CN, Kim JE. Animal Protein versus Plant Protein in Supporting Lean Mass and Muscle Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Nutrients* [Internet]. 2021 Feb 18 [citado 29 Mar 2022];13(2):661. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2072-6643/13/2/661> DOI: 10.3390/nu13020661
 7. Moon JM, Ratliff KM, Blumkaitis JC, Harty PS, Zabriskie HA, Stecker RA, et al. Effects of daily 24-gram doses of rice or whey protein on resistance training adaptations in trained males. *J Int Soc Sports Nutr.* [Internet]. 2020 Dec [citado 28 Marzo 2022];17(1). Disponible en: <https://jissn.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12970-020-00394-1> DOI: 10.1186/s12970-020-00394-1
 8. Lynch HM, Buman MP, Dickinson JM, Ransdell LB, Johnston CS, Wharton CM. No Significant Differences in Muscle Growth and Strength Development When Consuming Soy and Whey Protein Supplements Matched for Leucine Following a 12 Week Resistance Training Program in Men and Women: A Randomized Trial. *Int J Environ Res Public Health.* [Internet]. 2020 May 29 [citado 28 Mar 2022];17(11):3871. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/11/3871> DOI: 10.3390/ijerph17113871
 9. Joy JM, Lowery RP, Wilson JM, Purpura M, De Souza EO, Wilson SM, et al. The effects of 8 weeks of whey or rice protein supplementation on body composition and exercise performance. *Nutr J.* [Internet]. 2013 Jun 20 [citado 28 Mar 2022];12(1). Disponible en: <https://nutritionj.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-2891-12-86> DOI: 10.1186/1475-2891-12-86
 10. Hevia-Larraín V, Gualano B, Longobardi I, Gil S, Fernandes AL, Costa LAR, et al. High-Protein Plant-Based Diet Versus a Protein-Matched Omnivorous Diet to Support Resistance Training Adaptations: A Comparison Between Habitual Vegans and Omnivores. *Sports Med.* [Internet]. 2021 Feb 18 [citado 28 Mar 2022];51(6):1317–30. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40279-021-01434-9> DOI: 10.1007/s40279-021-01434-9

11. Sexton CL, Smith MA, Smith KS, Osburn SC, Godwin JS, Ruple BA, et al. Effects of Peanut Protein Supplementation on Resistance Training Adaptations in Younger Adults. *Nutrients* [Internet]. 2021 Nov 9 [citado 28 Mar 2022];13(11):3981. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2072-6643/13/11/3981> DOI: 10.3390/nu13113981
12. Hartman JW, Tang JE, Wilkinson SB, Tarnopolsky MA, Lawrence RL, Fullerton AV, et al. Consumption of fat-free fluid milk after resistance exercise promotes greater lean mass accretion than does consumption of soy or carbohydrate in young, novice, male weightlifters. *Am J Clin Nutr.* [Internet]. 2007 Aug 1 [citado 28 Mar 2022];86(2):373–81. Disponible en: <https://academic.oup.com/ajcn/article/86/2/373/4633050> DOI: 10.1093/ajcn/86.2.373
13. Bartholomae E, Incollingo A, Vizcaino M, Wharton C, Johnston CS. Mung Bean Protein Supplement Improves Muscular Strength in Healthy, Underactive Vegetarian Adults. *Nutrients* [Internet]. 2019 Oct 11 [citado 28 Mar 2022];11(10):2423. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2072-6643/11/10/2423> DOI: 10.3390/nu11102423
14. Volek JS, Volk BM, Gómez AL, Kunces LJ, Kupchak BR, Freidenreich DJ, et al. Whey Protein Supplementation During Resistance Training Augments Lean Body Mass. *J Am Coll Nutr.* [Internet]. 2013 Apr [citado 28 Mar 2022];32(2):122–35. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07315724.2013.793580?journalCode=uacn20> DOI: 10.1080/07315724.2013.793580
15. Candow DG, Burke NC, Smith-Palmer T, Burke DG. Effect of Whey and Soy Protein Supplementation Combined with Resistance Training in Young Adults. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* [Internet]. 2006 Jun [citado 28 Mar 2022];16(3):233–44. Disponible en: <https://journals.humankinetics.com/view/journals/ijsnem/16/3/article-p233.xml> DOI: 10.1123/ijsnem.16.3.233
16. Banaszek A, Townsend JR, Bender D, Vantrease WC, Marshall AC, Johnson KD. The Effects of Whey vs. Pea Protein on Physical Adaptations Following 8-Weeks of High-Intensity Functional Training (HIFT): A Pilot Study. *Sports* [Internet]. 2019 Jan 4 [citado 28 Mar 2022];7(1):12. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2075-4663/7/1/12> DOI: 10.3390/sports7010012
17. Mobley C, Haun C, Roberson P, Mumford P, Romero M, Kephart W, et al. Effects of Whey, Soy or Leucine Supplementation with 12 Weeks of Resistance Training on Strength, Body Composition, and Skeletal Muscle and Adipose Tissue Histological Attributes in College-Aged Males. *Nutrients* [Internet]. 2017 Sep 4 [citado 28 Mar 2022];9(9):972. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2072-6643/9/9/972> DOI: 10.3390/nu9090972

18. Dave HD, Shook M, Varacallo M. Anatomy, Skeletal Muscle [Internet]. Nih.gov. StatPearls Publishing; 2021 [citado 21 Feb 2022]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537236/>
19. OpenStax. Estructura de la fibra muscular [imagen de Internet]. 2016 May 16 [citado 29 May 2022]. Disponible en: <https://cnx.org/contents/FPtK1z mh@8.25:fEI3C8Ot@10/Preface>
20. Frontera WR, Ochala J. Skeletal Muscle: A Brief Review of Structure and Function. *Calcif Tissue Int.* [Internet]. 2014 Oct 8 [citado 15 Mar 2022];96(3):183–95. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00223-014-9915-y> DOI: 10.1007/s00223-014-9915-y
21. Sartori R, Romanello V, Sandri M. Mechanisms of muscle atrophy and hypertrophy: implications in health and disease. *Nat Commun.* [Internet]. 2021 Jan 12 [citado 27 Mar 2022];12(1). Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41467-020-20123-1> DOI: 10.1038/s41467-020-20123-1
22. Wolfe RR. The underappreciated role of muscle in health and disease. *Am J Clin Nutr.* [Internet]. 2006 Dec 1 [citado 15 Mar 2022];84(3):475–82. Disponible en: <https://academic.oup.com/ajcn/article/84/3/475/4648841?login=false> DOI: 10.1093/ajcn/84.3.475
23. Joannis S, Lim C, McKendry J, Mcleod JC, Stokes T, Phillips SM. Recent advances in understanding resistance exercise training-induced skeletal muscle hypertrophy in humans. *F1000Research* [Internet]. 2020 Feb 24 [citado 15 Mar 2022];9:141. Disponible en: <https://f1000research.com/articles/9-141/v1> DOI: 10.12688/f1000research.21588.1
24. Kumar V, Atherton P, Smith K, Rennie MJ. Human muscle protein synthesis and breakdown during and after exercise. *J Appl Physiol* [Internet]. 2009 Jun 1 [citado 15 Mar 2022];106(6): 2026-39. Disponible en: <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/jappphysiol.91481.2008> DOI: 10.1152/jappphysiol.91481.2008
25. Atherton PJ, Smith K. Muscle protein synthesis in response to nutrition and exercise. *J Physiol.* [Internet]. 2012 Mar 1 [citado 15 Mar 2022];590(5):1049–57. Disponible en: <https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1113/jphysiol.2011.225003> DOI: 10.1113/jphysiol.2011.225003
26. Argilés JM, Campos N, Lopez-Pedrosa JM, Rueda R, Rodriguez-Mañas L. Skeletal Muscle Regulates Metabolism via Interorgan Crosstalk: Roles in Health and Disease. *J Am Med Dir Assoc.* [Internet]. 2016 Sep [citado 11 Abr 2022];17(9):789–96. Disponible en: [https://www.jamda.com/article/S1525-8610\(16\)30113-X/fulltext](https://www.jamda.com/article/S1525-8610(16)30113-X/fulltext) DOI: 10.1016/j.jamda.2016.04.019

27. Prado CM, Purcell SA, Alish C, Pereira SL, Deutz NE, Heyland DK, et al. Implications of low muscle mass across the continuum of care: a narrative review [Internet]. *Ann Med.* 2018 [citado 15 Mar 2022]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07853890.2018.1511918> DOI: 10.1080/07853890.2018.1511918
28. Phillips SM. A Brief Review of Critical Processes in Exercise-Induced Muscular Hypertrophy. *Sports Med.* [Internet]. 2014 May [citado 21 Feb 2022];44(S1):71–7. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40279-014-0152-3> DOI: 10.1007/s40279-014-0152-3
29. Phillips SM. Protein requirements and supplementation in strength sports. *Nutrition* [Internet]. 2004 Jul [citado 15 Mar 2022];20(7-8):689–95. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0899900704001005?via%3Dihub> DOI: 10.1016/j.nut.2004.04.009
30. Pasiakos SM. Exercise and Amino Acid Anabolic Cell Signaling and the Regulation of Skeletal Muscle Mass. *Nutrients* [Internet]. 2012 Jul 10 [citado 26 Mar 2022];4(7):740–58. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2072-6643/4/7/740> DOI: 10.3390/nu4070740
31. Schoenfeld BJ. The Mechanisms of Muscle Hypertrophy and Their Application to Resistance Training. *J Strength Cond Res.* [Internet]. 2010 Oct [citado 23 Feb 2022];24(10):2857–72. Disponible en: https://journals.lww.com/nsca-jscr/Fulltext/2010/10000/The_Mechanisms_of_Muscle_Hypertrophy_and_Their.40.aspx DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181e840f3
32. Drummond MJ, Dreyer HC, Fry CS, Glynn EL, Rasmussen BB. Nutritional and contractile regulation of human skeletal muscle protein synthesis and mTORC1 signaling. *J Appl Physiol* [Internet]. 2009 Apr [citado 8 Mar 2022];106(4):1374–84. Disponible en: <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/jappphysiol.91397.2008> DOI: 10.1152/jappphysiol.91397.2008
33. Churchward-Venne TA, Burd NA, Phillips SM. Nutritional regulation of muscle protein synthesis with resistance exercise: strategies to enhance anabolism. *Nutr Metab (Lond).* [Internet]. 2012 May 17 [citado 22 Mar 2022];9(1). Disponible en: <https://nutritionandmetabolism.biomedcentral.com/articles/10.1186/1743-7075-9-40#citeas> DOI: 10.1186/1743-7075-9-40
34. Stipanuk MH. Leucine and Protein Synthesis: mTOR and Beyond. *Nutr Rev.* [Internet]. 2008 Jun 28 [citado 26 Mar 2022];65(3):122–9. Disponible en: <https://academic.oup.com/nutritionreviews/article/65/3/122/1847499?login=false> DOI: 10.1111/j.1753-4887.2007.tb00289.x.

35. Schoenfeld B. Science and development of muscle hypertrophy. United States of America: Human Kinetics; 2016. 30 p
36. Phillips SM. Protein requirements and supplementation in strength sports. Nutrition [Internet]. 2004 Jul [citado 14 Mar 2022];20(7-8):689–95. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0899900704001005?via%3Dihub> DOI: 10.1016/j.nut.2004.04.009
37. Børsheim E, Tipton KD, Wolf SE, Wolfe RR. Essential amino acids and muscle protein recovery from resistance exercise. Am J Physiol Endocrinol Metab. [Internet]. 2002 Oct 1 [citado 10 Mar 2022];283(4):E648-57. Disponible en: <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/ajpendo.00466.2001> DOI: 10.1152/ajpendo.00466.2001
38. Tipton K. Nonessential amino acids are not necessary to stimulate net muscle protein synthesis in healthy volunteers. J Nutr Biochem. [Internet]. 1999 Feb [citado 17 Mar 2022];10(2):89–95. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0955286398000874?via%3Dihub> DOI: 10.1016/S0955-2863(98)00087-4
39. Moore DR, Robinson MJ, Fry JL, Tang JE, Glover EI, Wilkinson SB, et al. Ingested protein dose response of muscle and albumin protein synthesis after resistance exercise in young men. Am J Clin Nutr. [Internet]. 2008 Dec 3 [citado 10 Mar 2022];89(1):161–8. Disponible en: <https://academic.oup.com/ajcn/article/89/1/161/4598235?login=false> DOI: 10.3945/ajcn.2008.26401
40. Jäger R, Kerksick CM, Campbell BI, Cribb PJ, Wells SD, Skwiat TM, et al. International Society of Sports Nutrition Position Stand: protein and exercise. J Int Soc Sports Nutr. [Internet]. 2017 Jan 3 [citado 21 Feb 2022];14(1). Disponible en: <https://jissn.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12970-017-0177-8> DOI: 10.1186/s12970-017-0177-8
41. Kerksick CM, Arent S, Schoenfeld BJ, Stout JR, Campbell B, Wilborn CD, et al. International society of sports nutrition position stand: nutrient timing. J Int Soc Sports Nutr. [Internet]. 2017 Jan 3 [citado 21 Feb 2022];14(1). Disponible en: <https://jissn.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12970-017-0189-4#citeas> DOI: 10.1186/s12970-017-0189-4
42. Aragon AA, Schoenfeld BJ. Nutrient timing revisited: is there a post-exercise anabolic window? J Int Soc Sports Nutr. [Internet]. 2013 Jan 29 [citado 19 Mar 2022];10(1). Disponible en: <https://jissn.biomedcentral.com/articles/10.1186/1550-2783-10-5> DOI: 10.1186/1550-2783-10-5

43. Langer H, Carlsohn A. Effects of Different Dietary Proteins and Amino Acids on Skeletal Muscle Hypertrophy in Young Adults After Resistance Exercise. *J Strength Cond Res*. [Internet]. 2014 Jun [citado 17 Feb 2022];36(3):33–42. Disponible en: https://journals.lww.com/nsca-sci/fulltext/2014/06000/effects_of_different_dietary_proteins_and_amino.5.aspx DOI: 10.1519/SSC.0000000000000057
44. Phillips SM. A Brief Review of Higher Dietary Protein Diets in Weight Loss: A Focus on Athletes. *Sports Med*. [Internet]. 2014 Oct 30 [citado 26 Mar 2022];44(S2):149–53. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40279-014-0254-y> DOI: 10.1007/s40279-014-0254-y
45. Schoenfeld BJ, Aragon AA, Krieger JW. The effect of protein timing on muscle strength and hypertrophy: a meta-analysis. *J Int Soc Sports Nutr*. [Internet]. 2013 Dec [citado 19 Mar 2022];10(1). Disponible en: <https://jissn.biomedcentral.com/articles/10.1186/1550-2783-10-53#citeas> DOI: 10.1186/1550-2783-10-53
46. Morton RW, McGlory C, Phillips SM. Nutritional interventions to augment resistance training-induced skeletal muscle hypertrophy. *Front Physiol*. [Internet]. 2015 Sep 3 [citado 19 Mar 2022];6. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2015.00245/full> DOI: 10.3389/fphys.2015.00245
47. Tang JE, Moore DR, Kujbida GW, Tarnopolsky MA, Phillips SM. Ingestion of whey hydrolysate, casein, or soy protein isolate: effects on mixed muscle protein synthesis at rest and following resistance exercise in young men. *J Appl Physiol* [Internet]. 2009 Sep 1 [citado 21 Feb 2022];107(3):987-92. Disponible en: <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/japplphysiol.00076.2009> DOI: 10.1152/japplphysiol.00076.2009
48. Yang Y, Churchward-Venne TA, Burd NA, Breen L, Tarnopolsky MA, Phillips SM. Myofibrillar protein synthesis following ingestion of soy protein isolate at rest and after resistance exercise in elderly men. *Nutr Metab (Lond)*. [Internet]. 2012 Jun 14 [citado 21 Feb 2022];9(1). Disponible en: <https://nutritionandmetabolism.biomedcentral.com/articles/10.1186/1743-7075-9-57> DOI: 10.1186/1743-7075-9-57
49. Wilkinson SB, Tarnopolsky MA, MacDonald MJ, MacDonald JR, Armstrong D, Phillips SM. Consumption of fluid skim milk promotes greater muscle protein accretion after resistance exercise than does consumption of an isonitrogenous and isoenergetic soy-protein beverage. *Am J Clin Nutr*. [Internet]. 2007 Apr 1 [citado 6 Mar 2022];85(4):1031–40. Disponible en:

<https://academic.oup.com/ajcn/article/85/4/1031/4648831?login=false>

DOI:

10.1093/ajcn/85.4.1031

50. Volek JS, Volk BM, Gomez AL, Kunces LJ, Kupchak BR, Freidenreich DJ, et al. Whey Protein Supplementation During Resistance Training Augments Lean Body Mass. *J Am Coll Nutr.* [Internet]. 2013 [citado 6 Mar 2022]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07315724.2013.793580?journalCode=uacn20> DOI: 10.1080/07315724.2013.793580
51. World Health Organization, United Nations University. Protein and amino acid requirements in human nutrition: Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. Geneva, Switzerland; 2002. 265 p. Report no. 935. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43411>
52. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation. Rome, Italy; 2013. 66 p. Report no. 92. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i3124e/i3124e.pdf>
53. Soetes Pb, de Jong Ch, Deutz Nep. The protein sparing function of the gut and the quality of food protein. *Clin Nutr.* [Internet]. 2001 Apr [citado 26 Mar 2022];20(2):97–9. Disponible en: [https://www.clinicalnutritionjournal.com/article/S0261-5614\(00\)90376-5/pdf](https://www.clinicalnutritionjournal.com/article/S0261-5614(00)90376-5/pdf) DOI: 10.1054/clnu.2000.0376
54. Gorissen SHM, Crombag JJR, Senden JMG, Waterval WAH, Bierau J, Verdijk LB, et al. Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates. *Amino Acids* [Internet]. 2018 Aug 30 [citado 26 Mar 2022];50(12):1685–95. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00726-018-2640-5> DOI: 10.1007/s00726-018-2640-5
55. Dangin M, Boirie Y, Garcia-Rodenas C, Gachon P, Fauquant J, Callier P, et al. The digestion rate of protein is an independent regulating factor of postprandial protein retention. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* [Internet]. 2001 Feb [citado 16 Feb 2022];280(2):E340–48. Disponible en: <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/ajpendo.2001.280.2.E340> DOI: 10.1152/ajpendo.2001.280.2.E340
56. Boirie Y, Dangin M, Gachon P, Vasson M-P, Maubois J-L, Beaufrère B. Slow and fast dietary proteins differently modulate postprandial protein accretion. *Proc Natl Acad Sci U S A.* [Internet]. 1997 Dec 23 [citado 17 Mar 2022];94(26):14930–5. Disponible en: <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.94.26.14930> DOI: 10.1073/pnas.94.26.14930
57. Kashyap S, Shivakumar N, Varkey A, Duraisamy R, Thomas T, Preston T, et al. Ileal digestibility of intrinsically labeled hen's egg and meat protein determined with the dual

stable isotope tracer method in Indian adults. Am J Clin Nutr. [Internet]. 2018 Oct 1 [citado 17 Mar 2022];108(5):980–7. Disponible en: <https://academic.oup.com/ajcn/article/108/5/980/5112878?login=false> DOI: 10.1093/ajcn/nqy178

58. Kashyap S, Varkey A, Shivakumar N, Devi S, Reddy B H R, Thomas T, et al. True ileal digestibility of legumes determined by dual-isotope tracer method in Indian adults. Am J Clin Nutr. [Internet]. 2019 Aug 2 [citado 17 Mar 2022];110(4):873–82. Disponible en: <https://academic.oup.com/ajcn/article/110/4/873/5543217?login=false> DOI: 10.1093/ajcn/nqz159

59. Sarwar Gilani G, Wu Xiao C, Cockell KA. Impact of Antinutritional Factors in Food Proteins on the Digestibility of Protein and the Bioavailability of Amino Acids and on Protein Quality. Br J Nutr. [Internet]. 2012 Aug [citado 17 Mar 2022];108(S2):S315–32. Disponible en: <https://www.cambridge.org/core/journals/british-journal-of-nutrition/article/impact-of-antinutritional-factors-in-food-proteins-on-the-digestibility-of-protein-and-the-bioavailability-of-amino-acids-and-on-protein-quality/052B66B8F1BA8DBBCEE94E3607A63402> DOI: 10.1017/S0007114512002371

7. ANEXOS

7.1. Anexo I: Programa de entrenamiento de fuerza

Tren superior 1	Tren superior 2	Tren inferior 1	Tren inferior 2
Press banca	Press hombro mancuerna	Sentadilla	Prensa de piernas
Press hombro en máquina	Press inclinado mancuerna	Peso muerto rumano mancuerna	Peso muerto convencional
Jalón al pecho unilateral	Jalón al pecho agarre prono	Curl femoral tumbado	Extensión de cuádriceps
Remo en polea agarre prono	Remo unilateral polea	Extensión de cuádriceps	Curl femoral sentado
Elevaciones laterales	Deltoides posterior unilateral polea	Sentadilla búlgara	Zancadas
Extensión de tríceps "sobre cabeza"	Curl de bíceps polea alta	Hip Thrust	Extensión cadera 45°
Curl de bíceps martillo mancuerna SS Curl de bíceps inclinado	Extensión de tríceps polea SS extensión de tríceps polea alejada	Gemelo piernas estiradas	Gemelo sentado
Semanas 1 - 6: 3 series x 10 - 12 repeticiones			
Semanas 7 - 12: 4 series x 6 - 8 repeticiones			
Abreviaturas: SS, superserie.			