

FACULTAD DE DEPORTES CAMPUS ENSENADA

**RELACIÓN DE SINODALES PARA EL EXAMEN PROFESIONAL
CON LA TESIS**

**Impacto de un método de entrenamiento de fuerza basado en tiempo bajo
tensión sobre masa muscular y fuerza en mujeres físicamente activas**

PARA CUBRIR LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE

Licenciado en Actividad Física y Deporte

PRESENTA:

**C. Manuel Alejandro Ceseña Peralta
Matricula: 00/357248**

**FECHA DEL EXAMEN PROFESIONAL: 14 DE DICIEMBRE DE 2022, EN
HORARIO DE 10:00 HORAS**

**PRESIDENTE:
SECRETARIO:
SINODAL:**

**Dr. Alberto Jiménez Maldonado.
Dr. Iván Rentería.
Dra. Barbara de Moura Mello Antunes.**

**A T E N T A M E N T E
“POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL SER”**

MACHADO

**MTRO. JUAN PABLO MACHADO PARRA
SUBDIRECTOR**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA
DE BAJA CALIFORNIA**



**FACULTAD DE
DEPORTES**

Universidad Autónoma de Baja California

FACULTAD DE DEPORTES CAMPUS ENSENADA

Impacto de un método de entrenamiento de fuerza basado en tiempo bajo tensión sobre masa muscular y fuerza en mujeres físicamente activas

Tesis


Para cubrir los requisitos necesarios para obtener el título de

Licenciado en Actividad Física y Deporte

Presenta

C. Manuel Alejandro Ceseña Peralta

Aprobada por:


Dr. Alberto Jiménez Maldonado
Director


Dr. Iván Rentería
Co-Director


Dra. Barbara de Moura Mello Antunes
Sinodal



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE DEPORTES CAMPUS ENSENADA

**IMPACTO DE UN MÉTODO DE ENTRENAMIENTO DE FUERZA BASADO EN
TIEMPO BAJO TENSIÓN SOBRE MASA MUSCULAR Y FUERZA EN MUJERES
FÍSICAMENTE ACTIVAS**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE LICENCIADO EN ACTIVIDAD FÍSICA Y
DEPORTE**

PRESENTA:

C. MANUEL ALEJANDRO CESEÑA PERALTA

DIRECTOR: DR. ALBERTO JIMÉNEZ MALDONADO

CODIRECTOR: DR. IVÁN RENTERÍA

Ensenada, Baja California., a Diciembre de 2022

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. Introducción	3
1.1 Fuerza como capacidad física y sus diferentes manifestaciones.....	3
1.2 Métodos de entrenamiento de fuerza.....	6
1.3 Adaptaciones fisiológicas y bioquímicas al entrenamiento de fuerza en mujeres.....	10
2. Antecedentes	14
2.1 Método del tiempo bajo tensión y sus adaptaciones fisiológicas.....	14
3. Justificación	18
4. Pregunta de investigación	18
5. Hipótesis	18
6. Objetivos generales	19
7. Objetivos específicos	19
8. Metodología	19
8.1 Diseño experimental.....	19
8.2 Participantes.....	19
8.3 Procedimientos.....	20
8.4 Análisis estadístico.....	29
9. Resultados	29
10. Discusión	35
11. Conclusión	37
12. Referencias	39
13. Anexos	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. La fuerza como capacidad física fundamental	4
Figura 2. Gráfico tipo de diferentes manifestaciones de la fuerza muscular.....	5
Figura 3. Esquema teórico del estrés metabólico y mecánico sobre el músculo esquelético	10
Figura 4. Curso temporal de las adaptaciones inducidas por el entrenamiento de fuerza.....	11
Figura 5. Efecto acumulativo células satélites.....	12
Figura 6. Actividad sintética miofibrilar en el musculo vasto lateral durante el entrenamiento tiempo muscular bajo tensión	16
Figura 7. Índice sintético de proteínas fraccionales en la mitocondria del músculo vasto lateral.....	17
Figura 8. Respuesta electromiografía del músculo en referencia a diferentes protocolos de entrenamiento.	18
Figura 9. Procedimiento toma de perímetro del brazo en relajación.....	22
Figura 10.- Procedimiento toma de perímetro del brazo en flexión.....	22
Figura 11. Procedimiento toma de perímetro de la cadera.....	22
Figura 12. Procedimiento toma de perímetro de muslo medio.....	23
Figura 13. Procedimiento toma de perímetro de pantorrilla.....	23
Figura 14. Ilustración posición y preparación dispositivo Gymaware.....	24
Figura 15. Ilustración rango de objetivo en aplicación Gymaware.	25
Figura 16. Descripción ejercicio remo con barra olímpica.....	26
Figura 17. Descripción ejercicio press banca plano con barra olímpica.....	27
Figura 18. Descripción ejercicio sentadilla con barra olímpica.....	28
Figura 19. Descripción ejercicio peso muerto con barra olímpica.....	29
Figura 20. Potencia muscular absoluta en los ejercicios de press banca plano, peso muerto y sentadilla	32
Figura 21. Velocidad de ejecución press banca plano, peso muerto y sentadilla.....	33
Figura 22. Niveles de potencia muscular en press banca plano, peso muerto, sentadilla	32
Figura 23. Velocidad ejecución press banca plano, peso muerto y sentadilla	36
Figura 24. Nivel estimado de fuerza máxima Press Banca, Sentadilla con barra y Remo ...	36
Figura 25. Angulo de fase, masa muscular.....	37

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Método de intensidades máximas I .	6
Tabla 2. Método de intensidades máximas II	6
Tabla 3. Método de repeticiones I	7
Tabla 4. Método de Repeticiones II	7
Tabla 5. Variables en Repeticiones III	7
Tabla 6. Características de los métodos excéntrico - concéntrico de Cometti	9
Tabla 7. Características del método excéntrico - concéntrico explosivo	10
Tabla 8. Programa de entrenamiento grupo TUT	29
Tabla 9. Programa de entrenamiento grupo Tradicional	30
Tabla 10. Datos demográficos de los participantes pre test	31
Tabla 11 Datos demográficos de los participantes post test	32
Tabla 12. Datos perímetros de área muscular	33
Tabla 13. Datos de Volumen Total de Carga	37

RESUMEN

El entrenamiento de fuerza considerando el tiempo bajo tensión T.U.T. (Time under tensión) es un método que ha resultado eficaz para mejorar la fuerza y la masa muscular en población masculina. Contrariamente, sus efectos e impactos en variables relacionadas a la masa muscular y fuerza muscular, en población femenina, no están del todo identificados. Por consecuencia, el presente trabajo de tesis tuvo como objetivo evaluar el impacto de un modelo de entrenamiento de fuerza basado en T.U.T. sobre la masa muscular y fuerza muscular en mujeres físicamente activas. Se reclutó a 6 mujeres sanas (edad: 21.6 ± 1.9 años, IMC = $23.4 \pm 1,0$ kg/m²) quienes participaron en el proyecto, en el diseño del estudio fueron considerados 3 grupos experimentales divididos aleatoriamente: Control: Sin intervención; Entrenamiento tradicional (tempo de ejecución: 1,0,1 s), y entrenamiento T.U.T., (tempo de ejecución 1,0,3 s). Ambos protocolos de entrenamiento de fuerza tuvieron una duración de 4 semanas con 5 sesiones de entrenamiento de una hora, con intensidades de trabajo al 75% de una repetición máxima (1RM). La fuerza máxima de miembros superiores e inferiores fue evaluada por medio de la prueba de 1RM. Por otra parte, la potencia absoluta, potencia relativa y velocidad de ejecución en los ejercicios de press banca plano, remo con barra, sentadilla con barra y peso muerto (30% de RM) fueron evaluados con un transductor de posición lineal (GymAware). La masa muscular fue determinada por el método de impedancia bioeléctrica (InBody 770). El volumen de entrenamiento fue significativamente menor en el grupo T.U.T. con referencia al entrenamiento tradicional. Similarmente, se observó un efecto significativo del tiempo en referencia a la ganancia de masa muscular total ($F(1,3)=11.19$, $p=0.04$). La potencia absoluta, y la fuerza máxima no mostraron diferencias significativas durante la intervención. Los resultados obtenidos indican que el entrenamiento de fuerza basado en T.U.T. tiene efectos positivos sobre la composición corporal empleando un menor volumen total de carga movilizad. Sumado a lo anterior, el entrenamiento T.U.T. no parece tener efectos negativos en la potencia y fuerza máxima en mujeres físicamente activas. Estos resultados pueden ser de importancia para entrenadores o preparadores físicos, ya que implica variables con alta aplicación en la metodología del entrenamiento deportivo.

Palabras clave: Entrenamiento, Tiempo bajo tensión, Fuerza, Masa muscular, Potencia, Mujer.

ABSTRACT

Strength training considering time under tension (T.U.T.) is a method that has proven it's effectiveness on the enhancement of strength and muscle mass in male population. Contrary, the effects on variables related to strength and muscle mass in female population, have not been addressed. Therefore, this thesis project aimed to assess the impact of a strength training model based on T.U.T in body composition and muscle strength in physically active women. Six healthy women (age: 21.6 ± 1.9 years, BMI = 23.4 ± 1.0 kg/m²) were recruited, whom participated in the study, for the experimental design of the project, the subjects were randomly divided into 3 groups: Control: Without intervention; Traditional training (execution time: 1.0.1 s); and T.U.T. training, (execution time 1.0.3 s). Both strength training protocols lasted 4 weeks, and the workloads were established at 75% of a maximum repetition (1RM). The maximum strength of lower and upper body was determined by mean values of the 1RM test. On the other hand, absolute power, relative power and execution speed in the flat bench press, barbell row, barbell squat and deadlift (30% RM) exercises were assessed with a linear position transducer (GymAware). Muscle mass was assessed by bioelectrical impedance method (InBody 770). The main results of the study indicate that T.U.T. based strength training has positive effects on muscle mass and body composition, performing a lower volume of mobilized workload In addition to the latter, T.U.T. training does not seem to have a negative effect on power and maximum strength in physically active women. This results highlight the importance of T.U.T. based strength training for coaches or trainers, since it involves variables with a high application in the sports training methodology.

Keywords: Training, Time under tension, Strength, Muscle Mass, Power, Woman,

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Fuerza como capacidad física y sus diferentes manifestaciones

Como capacidad física, la fuerza muscular es la capacidad de vencer una resistencia externa o reaccionar contra la misma mediante una tensión muscular (Kuznetsov, 1989; Ehlenz 1990; Manno, 1991; Harre y Hauptmann, 1994; Zatsiorsky, 1995). Dependiendo de la forma en la que se produzca la tensión muscular y el tiempo de aplicación de esta, se desarrollará un tipo de fuerza u otra (Gutiérrez Dávila, 2015). En términos generales, la manifestación de la fuerza muscular se produce por la activación del sistema nervioso central sobre el aparato locomotor activo (músculo esquelético) que actúa sobre el aparato locomotor pasivo (huesos, tendones y ligamentos) produciendo movimiento por medio de la energía liberada por diferentes vías energéticas como son la vía aeróbica, anaeróbica láctica y aláctica (Verkhoshansky,1999). De esta manera, la posibilidad de producir movimiento estará condicionada por la disponibilidad de energía que permita al musculo esquelético generar los niveles de fuerza necesarios para ejecutar la acción deseada (Kuznetsov, 1989).

Existen dos mecanismos en permanente interacción para la generación de fuerza: la fuerza interna que es producida por los músculos esqueléticos, y la fuerza externa, producida por la resistencia de los cuerpos al modificar su inercia, ya sea en estado de reposo o movimiento (González-Badillo & Gorostiaga, 2002). Como resultado de esta interacción entre fuerzas internas y externas surge el concepto de fuerza aplicada. La fuerza que se manifiesta en los gestos deportivos es la fuerza aplicada, esta capacidad es el resultado de la acción muscular sobre las resistencias externas, que pueden ser el propio peso corporal o cualquier otra resistencia o artefacto ajeno al sujeto. De acuerdo a lo expresado por Tous (2007), la fuerza es la única cualidad física básica a partir de la cual se pueden expresar las demás capacidades físicas (Figura 1).

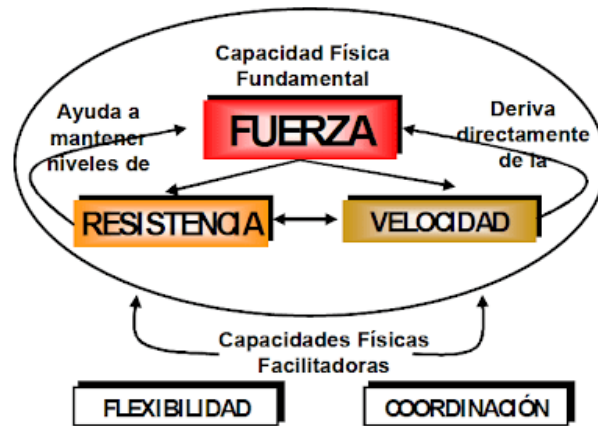


Figura 1. La fuerza como capacidad física fundamental (Tomada de Tous, 2007)

Considerando la relevancia de esta capacidad física, se ha descrito que el empleo de metodologías adecuadas para el desarrollo de las distintas manifestaciones de la fuerza contribuye a maximizar el rendimiento físico de deportistas en múltiples especialidades (Wong, et al. 2010; García-Pallarés, et al. 2009; Tanaka et al. 1998). A continuación, se describen las clasificaciones de fuerza:

Fuerza máxima: definida como la capacidad que tiene el aparato neuromuscular y musculoesquelético de generar la máxima tensión muscular posible sin tomar en cuenta el tiempo que dura dicha tensión (Weineck, 2005). Para Weineck (2005) la posibilidad de mejorar la fuerza máxima depende del tamaño de la sección transversal fisiológica del músculo, la coordinación intermuscular (coordinación entre los músculos que colaboran en un movimiento dado) y la coordinación intramuscular.

Fuerza resistencia: es la capacidad de generar un trabajo durante un periodo de tiempo ante una resistencia submáxima. Esta cualidad demanda una mayor utilización de las vías energéticas alácticas y lácticas. Este tipo de fuerza depende de la fuerza máxima que puede ejercer el sujeto, la resistencia o carga a vencer y la coordinación intramuscular (a mayor coordinación menos fatiga).

Fuerza rápida: se entiende como la capacidad de superar una resistencia a una elevada velocidad de contracción (Forteza, 1997). Con respecto a lo anterior, se identifica que la fuerza rápida, está estrechamente relacionada con la potencia muscular, definida como el producto de la fuerza por la velocidad del movimiento. Su unidad de medida desde el punto de vista biomecánico es el Watio (W). Su definición se correlaciona con la definición dada por la teoría y práctica del entrenamiento deportivo de la fuerza explosiva (se entiende

como la capacidad de superar una resistencia a una alta velocidad de contracción (Forteza, 1997). La figura 2 muestra un esquema en el cual se remarcan puntos importantes para considerar o clasificar los diferentes tipos de fuerza muscular.

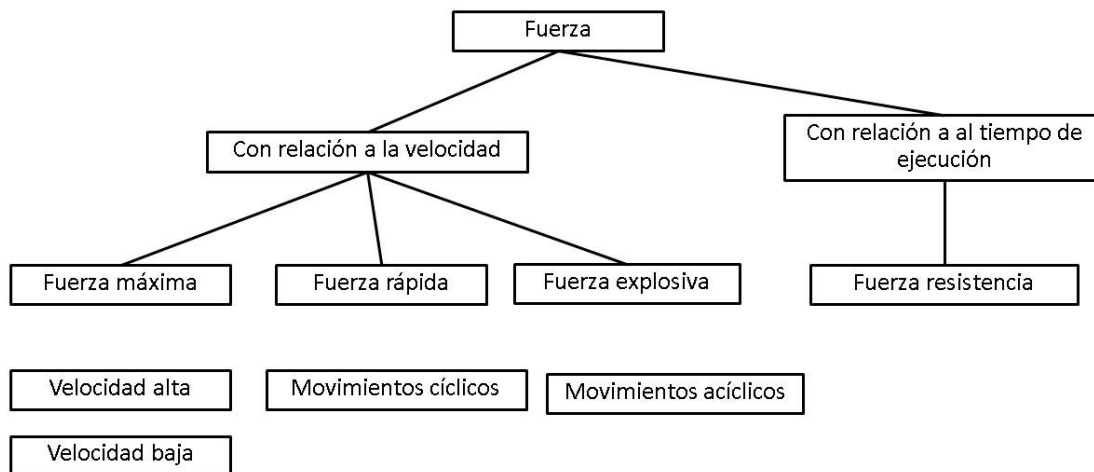


Figura 2. Gráfico tipo de diferentes manifestaciones de la fuerza muscular (Modificado de Forteza, 1997)

1.2 Métodos de entrenamiento de fuerza

De manera práctica, ha quedado demostrado que el entrenamiento de la fuerza siguiendo determinados métodos en relación a la programación de las cargas de trabajo (series, repeticiones, número de sesiones, intensidad y el tipo de ejercicios), y bajo la estrecha supervisión de preparadores físicos y entrenadores calificados, no solo permite al deportista alcanzar un mayor rendimiento físico a corto plazo, sino que también contribuye a consolidar un proyecto de vida deportiva (Faigenbaum et al., 2009; Stratton et al., 2007). Por todo ello, es necesario establecer una metodología adecuada para favorecer el máximo desarrollo de la fuerza muscular y de esta manera contribuir a favorecer distintos parámetros de la salud del deportista, e incrementar su rendimiento tanto en el entrenamiento como en la competición. El método de entrenamiento por series es el más empleado, tanto en los entrenamientos orientados a la hipertrofia como a la fuerza muscular, posiblemente debido a la popularidad que adquirió en los años 80's en el mundo del fisiculturismo y la musculación gracias a Joe y Ben Weider (Benito, 2008). Ejemplo de lo anterior, sería el método señalado por González-Badillo y Gorostiaga (2002), que es un diseño comprensible, enfocado a desarrollar diferentes manifestaciones de la fuerza máxima (Tabla 1).

Tabla 1. Método en régimen de contracción concéntrica trabajados a intensidades máximas I (modificado de González-Badillo y Gorostiaga, 2002).

Intensidad	Series efectivas	Reps	Descanso entre series	Velocidad ejecución concéntrica
90-100% 1RM	4-8	1-3	3-5 min	Máxima/Explosiva

El objetivo de este método es el incremento de la fuerza máxima sin el desarrollo de la hipertrofia muscular. Las variables de la carga de entrenamiento son la intensidad que se establece entre el 90% y el 100% para una repetición máxima (1RM), con un volumen de 4 a 8 series, 1 a 3 repeticiones por serie, y a máxima velocidad en la ejecución. Los efectos de este método son el incremento en la fuerza debido a su impacto sobre los factores nerviosos, aumento de la fuerza explosiva, reduce la inhibición del sistema nervioso central, y mejora la coordinación intramuscular (Verkhoshansky,1999). Los mismos autores, proponen el método de intensidades máximas II (Tabla 2). La finalidad de este segundo método, es el incremento de la fuerza máxima con un bajo aumento de la masa muscular por los bajos niveles de hipertrofia que produce. Las variables de la carga de entrenamiento son la intensidad entre el 85% y el 90% del 1RM, con un volumen de 4 a 5 series, 3 a 5 repeticiones por serie, y una máxima velocidad en la ejecución. Los efectos de este método son menores al primer método en lo que se refiera al desarrollo de la fuerza explosiva, reducción de la inhibición del sistema nervioso central, y coordinación intramuscular González-Badillo y Gorostiaga (2002).

Tabla 2. Método de intensidades máximas II (modificado de González-Badillo y Gorostiaga, 2002).

Intensidad	Series efectivas	Reps	Descanso entre series	Velocidad ejecución concéntrica
85-90% 1RM	3-5	4-5	3-5 min	Máxima posible

Además de los métodos anteriores, se ha diseñado el método de repeticiones I (Tabla 3). Este protocolo tiene como objetivo principal la mejora en la fuerza máxima, acompañada de hipertrofia media y un menor impacto sobre los factores nerviosos. Las variables de la carga de entrenamiento son una intensidad entre el 80% y el 85% del 1RM, con un volumen de 3 a 5 series, realizando 5 a 7 repeticiones por serie, y una máxima o media velocidad de ejecución. La tensión muscular máxima solo se alcanza en las últimas repeticiones de cada serie.

Tabla 3. Método de repeticiones I (modificado de González-Badillo y Gorostiaga, 2002).

Intensidad	Series efectivas	Reps	Descanso entre series	Velocidad ejecución concéntrica
80-85% 1RM	3-5	5-7	3-5 min	Media o alta. Máxima posible

El método de repeticiones II (Tabla 4), es una variación del primer método de entrenamiento por repeticiones, este subtipo de método de entrenamiento de la fuerza tiene la finalidad el incrementar la fuerza máxima y la hipertrofia muscular. Las variables de la carga son intensidad del 70% al 80% del 1RM, un volumen de 3 a 5 series, 6 a 12 repeticiones por serie, la velocidad en la ejecución debe ser media-alta o la máxima posible. Los efectos principales de este método es el de establecer una mayor amplitud de unidades motoras reclutadas y agotadas.

Tabla 4. Método de Repeticiones II (modificado de González-Badillo y Gorostiaga, 2002).

Intensidad	Series efectivas	Reps	Descanso entre series	Velocidad ejecución concéntrica
70-80% 1RM	3-5	6-12	2-5 min	Media o alta. Máxima posible

El método de repeticiones alcanza un tercer subtipo, denominado método de repeticiones III (Tabla 5). El protocolo tiene como objetivo el acondicionamiento muscular general desarrollando elevados niveles de hipertrofia muscular. Su diseño está basado en un método básico de entrenamiento de la fuerza con una intensidad del 60% al 75% del 1RM, un volumen de 3 a 5 series, con 6 a 12 repeticiones por serie, la velocidad en la ejecución es media. No se llega al fallo muscular en las series de trabajo.

Tabla 5. Variables en Repeticiones III (modificado de González-Badillo y Gorostiaga, 2002).

Intensidad	Series efectivas	Reps	Descanso entre series	Velocidad ejecución concéntrica
60-75% 1RM	3-5	6-12	3-5 min	Media. No máxima posible

Como se mencionó anteriormente, por su relevancia en el deporte y en el desempeño físico, la fuerza es la capacidad física condicional mayormente estudiada. Por lo tanto, otros autores (Bosco, 2000, Weineck, 2005 y Cometti 2001), han nombrado a los métodos

de entrenamiento según el tipo de contracción muscular. De esta forma se tiene al método isométrico, concéntrico, excéntrico, excéntrico-concéntrico y pliométrico.

Método isométrico

El método isométrico se basa en la ejecución de contracciones musculares de forma estática produciendo altos niveles de tensión muscular. De forma aislada, solo adquiere cierta relevancia en deportes que requieren el mantenimiento de la postura corporal como el tiro, la gimnasia artística o el esquí alpino por mencionar algunos. Combinando este método de entrenamiento estático de la fuerza en conjunto con otros métodos basados en contracciones concéntricas o con acciones motrices de tipo explosivo, se puede obtener mejores resultados de rendimiento físico en el deporte de competición (Bosco, 2000). No obstante, este tipo de entrenamiento presenta algunos inconvenientes como la nula neocapilarización del músculo, la falta de procesos intermusculares-coordinativos entre el SNC (Sistema nervioso central) y la musculatura, la ganancia de fuerza solo se produce en el ángulo de trabajo, existe un estancamiento muy temprano en el aumento de la fuerza máxima, teniendo influencias negativas sobre la amplitud de movimiento (Bosco, 2000, Caballero, 2003)

Métodos excéntricos

Este sistema de entrenamiento también se conoce con el nombre de entrenamiento dinámico negativo (Weineck, 2005). En la contracción excéntrica se produce tensión cuando el músculo está en la fase de alargamiento, produciéndose una mayor tensión muscular y, por tanto, una mayor fuerza con respecto a la fuerza muscular producida durante la fase concéntrica de la contracción muscular (Tinwala et al., 2017). En este tipo de contracción, a la capacidad contráctil del músculo se une la resistencia de los puentes de actina y miosina al ser estirados. Las características generales del sistema excéntrico se pueden resumir en los siguientes principios: 1) Es recomendable aplicarlo en combinación con los métodos concéntricos, 2) El trabajo excéntrico no debe desarrollarse durante un periodo de entrenamiento superior a las 3 semanas, y 3) El entrenamiento excéntrico debe periodizarse en la planificación de entrenamiento meses antes de las etapas de competición (Kaneko et al., 1983).

Pliometría

El entrenamiento o ejercicios pliométricos inician con una fase de estiramiento rápido del músculo , seguido por un acortamiento del mismo músculo (Johnson et al., 2011). A este tipo de actividad muscular, también se le conoce como el ciclo estiramiento-acortamiento (Patel, 2014). En este sistema las variables de la carga son: intensidad entre el 70% y 90% de 1RM, con un volumen de 3 a 5 series, una ejecución de 5 a 10 repeticiones, la velocidad de la ejecución debe ser máxima/explosiva, la potencia de ejecución debe descender muy poco. Con relación a la intensidad de la carga, la resistencia que hay que vencer con más frecuencia en el entrenamiento de pliometría es el propio peso corporal. Sin embargo, no es la única, ya que existen variantes en esta modalidad de entrenamiento (Verkhoshansky et al., 1999).

Métodos excéntricos-concéntricos

A partir del trabajo excéntrico puro, Cometti (citado por Benito, 2008) habla de que esta metodología excéntrica-concéntrica consiste en enfatizar la fase excéntrica con cargas iguales o superiores al 1RM ya sea de manera isométrica o concéntrica, dependiendo del método, seguido de una fase concéntrica con menor resistencia, pero realizada sin ayuda. La tabla 6 explica más a detalle las características de este método de entrenamiento de fuerza

Tabla 6. Características de los métodos excéntrico - concéntrico de Cometti (2001).

Nombre método	Características
Excéntrico - concéntrico	Cargas excéntricas del 100% de 1RM concéntrico, seguidas de cargas concéntricas del 50% de 1RM concéntrico.
120-80 esta relación parece ser la más indicada para el desarrollo de la fuerza máxima	Cargas excéntricas del 120% de 1RM isométrico, seguidas de cargas concéntricas del 80% 1RM concéntrico.

De acuerdo con lo anterior, se ha descrito una variación del método excéntrico - concéntrico. A esta variación, le nombraron método excéntrico-concéntrico explosivo (González-Badillo y Gorostiaga 2002). En esta variación de entrenamiento, se elimina el control de la fase excéntrica, dejando caer el peso hasta la fase concéntrica que se realiza de manera explosiva aprovechando la energía cinética de la ejecución del movimiento.

Esta idea hace que el desarrollo de la fuerza máxima no sea tan alta como en el método excéntrico puro como señala Cometti (2001); sin embargo, este método de entrenamiento mejora notablemente la frecuencia de impulso y el índice de manifestación de la fuerza (IMF), lo que le hace especialmente útil para lanzadores, saltadores de altura y longitud o deportes de lucha y contacto (Platonov, 2001) (Tabla 7).

Tabla 7. Características del método excéntrico - concéntrico explosivo (González-Badillo y Gorostiaga, 2002)

Intensidad	Series efectivas	Reps	Descanso series	Velocidad fase concéntrica
70-90% 1RM	4-6	6-8	5 min	Explosiva

1.3 Adaptaciones fisiológicas y bioquímicas al entrenamiento de fuerza en mujeres.

El entrenamiento de la fuerza y de la potencia, representa un gran estímulo al sistema musculoesquelético. Este tipo de estrés físico activa una serie de mecanismos fisiológicos implicados con la activación del músculo (Figura 3).

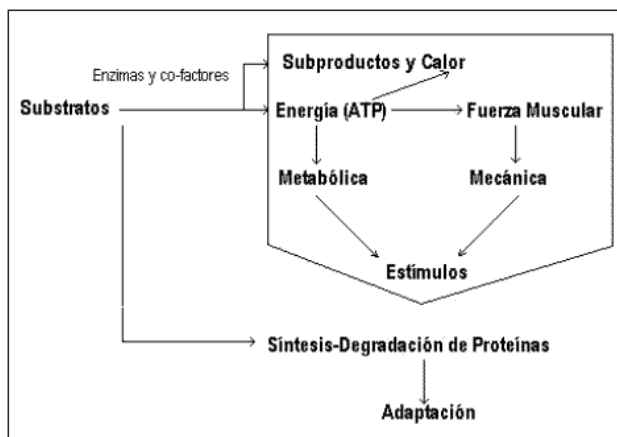


Figura 3. Esquema teórico del estrés metabólico y mecánico sobre el músculo esquelético durante y después de la actividad física. (Tomada de Coyle et al., 2000)

Las primeras adaptaciones al entrenamiento de fuerza se presentan a nivel neural, aumentando el reclutamiento de unidades motoras que inervan las fibras musculares sumado una mayor frecuencia de reclutamiento, es decir la cantidad de impulsos nerviosos por segundo que llegan a las fibras musculares provenientes de la neurona motora.

Posterior a las adaptaciones nerviosas, se generan adaptaciones estructurales en el sistema muscular (hipertrofia). (Figura 4).

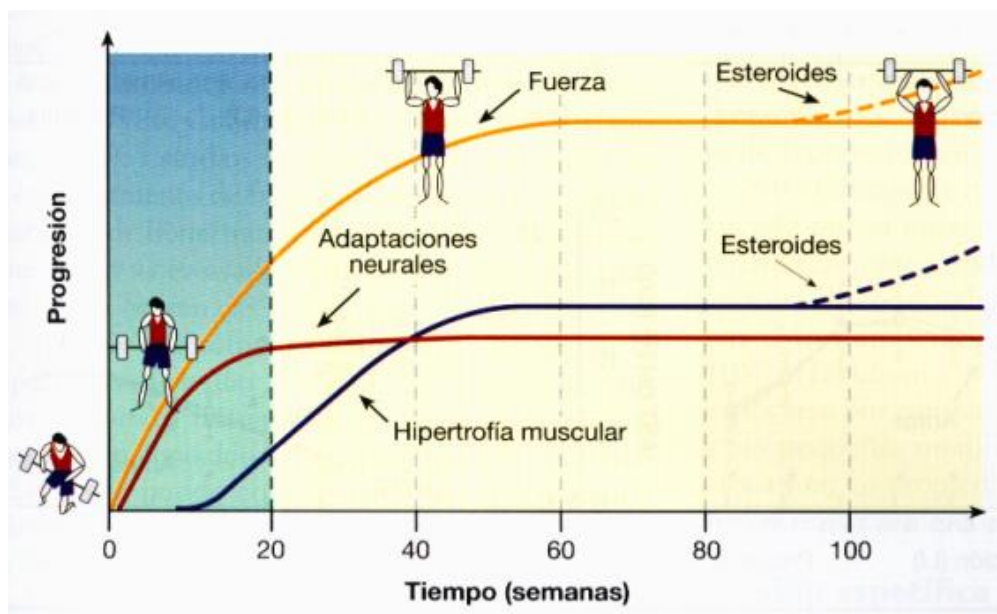


Figura 4. Curso temporal de las adaptaciones inducidas por el entrenamiento de fuerza (Tomada de López-Chicharro et al., 2001).

Para lograr una completa activación motora es necesario que todas las unidades motoras hayan sido reclutadas y que todos los impulsos cuenten con una frecuencia óptima para realizar un reclutamiento efectivo, por lo tanto, se genere más fuerza. De esta manera el sistema nervioso está preparado para realizar una correcta activación de los impulsos nerviosos y adaptarse a las distintas demandas musculares que representa la actividad física. Por consiguiente, este óptimo funcionamiento del SNC puede mantenerse o mejorar a través del entrenamiento, provocando, una mejora en la coordinación intermuscular e intramuscular. Marcando la influencia positiva del entrenamiento en las adaptaciones neuromusculares (López Chicharro,2001).

Considerando lo anterior, las ganancias de fuerza pueden lograrse sin cambios estructurales en los músculos, pero no sin adaptaciones nerviosas (López-Chicharro et al., 2001). Estas adaptaciones pueden ser a corto y a largo plazo. A corto plazo tienen un alto componente del sistema nervioso e incluyen una mejor coordinación, un mejor aprendizaje, y un incremento en la activación de los principales músculos implicados. A largo plazo tienen que ver con la hipertrofia del músculo o del grupo muscular entrenado.

Seguidamente la hipertrofia muscular se entiende como el aumento del área transversal de las fibras musculares, esto gracias a un aumento de la síntesis proteica y la disminución de la degradación de las proteínas contráctiles actina y miosina, sumado otras proteínas estructurales como la titina y la nebulina que también se sintetizan proporcionalmente a los cambios de los miofilamentos (Kraemer, 1999). Durante el proceso hipertrófico, los elementos contráctiles aumentan de tamaño y la matriz extracelular se expande para soportar el crecimiento. Este crecimiento se produce mediante la adición de sarcómeros, aumento de elementos no contráctiles, fluido sarcoplasmático y refuerzos de las células satélite (Schoenfeld ,2016).

A causa del daño muscular se presenta un aumento en la actividad de las células satélite, que son pequeñas células mononucleadas del músculo, estas células son movilizadas para comenzar el proceso de regeneración (Jeffery et al., 2013). Después de la activación de las células satélite, se observa una respuesta proliferativa por consiguiente las células activadas se someten a un ciclo mitótico el cual se entiende como la división de células. En segunda instancia, las células activadas se diferencian como mioblastos. Así, estos mioblastos pueden fusionarse con otros para formar nuevas miofibrillas o incorporarse en las miofibrillas estimuladas por el daño muscular. Existe evidencia de que la IGF-I producida de manera autocrina-paracrina (Figura 5), puede ser importante en este proceso de regeneración (Jeffery et al., 2013).

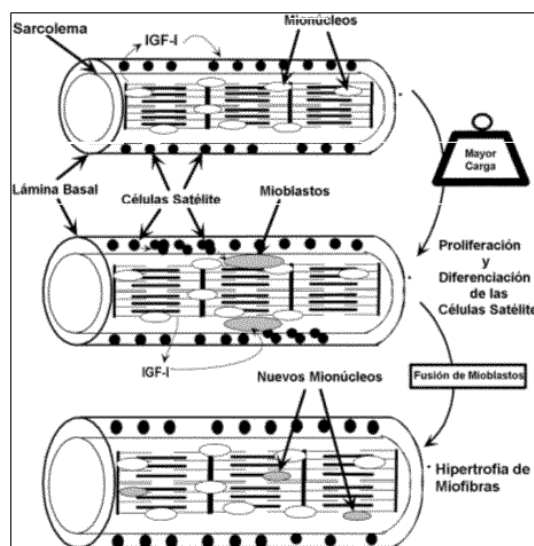


Figura 5. Efecto acumulativo células satélite (Tomado de Jeffery et al., 2013).

El efecto acumulativo de estas células satélite causa un engrosamiento de la fibra y del tamaño del músculo, durante la exposición a un entrenamiento con altas cargas de trabajo. Tras el aumento del aparato contráctil del músculo y un mayor reclutamiento de unidades motoras la capacidad de expresar fuerza aumenta.

De modo que la mujer puede experimentar un gran incremento de la fuerza como resultado del entrenamiento, la magnitud de estos cambios es similar a la de los hombres (Sánchez,1996). Este fenómeno se explica por un marcado cambio en la expresión fenotípica de las proteínas contráctiles que componen el músculo, es decir el contenido de cadenas pesadas de miosina, sumado a una mejora en el reclutamiento de fibras musculares concluyendo en una adaptación neural (Sánchez,1996).

Además, en las féminas, el entrenamiento con cargas de manera continua, intensa y a largo plazo consigue respuestas de adaptación significativas que mejoran el tamaño, fuerza y potencia de la musculatura ejercitada (Madsen et al.,1998). Asimismo, el aumento de la concentración de hormonas anabólicas como resultante del ejercicio resistido con grandes cargas, es una señal que intensifica las interacciones hormonales con diversas células diana en el tejido vivo, como el músculo esquelético (Kraemer, 1999). Por consiguiente el entrenamiento de la fuerza produce adaptaciones fisiológicas en el sistema óseo producto de la carga mecánica. Donde los tendones, ligamentos, fascias y cartílagos se vuelven más compactos y resistentes por el estímulo recibido. En cuanto a lo anterior, el incrementar la masa muscular conlleva un aumento en la densidad mineral ósea (Jeffery et al., 2013).

Asimismo, el entrenamiento con cargas de manera continua en mujeres genera un aumento de la masa corporal magra y disminución de grasa corporal no funcional. A su vez, mayor fuerza funcional para deportes y la actividad física diaria. Además, hay que mencionar una tasa metabólica más elevada debido a un aumento en la masa muscular y una disminución de la masa grasa (Ayesterán et al., 1997).

A nivel de rendimiento físico un entrenamiento con cargas máximas o submáximas presenta un aumento en la fuerza muscular, dando como resultado una producción de potencia elevada. Podemos mencionar que a nivel de fibras musculares se genera un aumento en el área transversal de la fibra, aumenta el volumen miofibrilar, la densidad mitocondrial se mantiene y la densidad citoplasmática junto con la miosina de cadena pesada aumentan. Llegados a este punto se presenta una mejora de la autoestima y la confianza. Sumado una mejoría en el rendimiento físico en deportes específicos (Ebben et al.,1983).

Siguiendo en este orden de ideas, el sistema endócrino ha demostrado ser sensible al ejercicio agudo contra resistencia (Kraemer,1999). El despliegue de hormonas tiene efectos directos e indirectos en el desarrollo de la actividad física, actividad metabólica y desarrollo muscular. Tal es el caso de la hormona tiroidea segregada por la glándula tiroides, la cual genera un aumento primario en la concentración de isoenzimas rápidas independientes de la acción de la hormona de crecimiento (GH, Growth Hormone). (Kraemer et al., 2002)

En segunda instancia, el incremento de la testosterona en mujeres después de una sesión de ejercicio con cargas máximas o sub-máximas que se presenta de manera aguda, es relativamente pequeño y a veces se observa solo en el caso de la testosterona libre. Sin embargo, en las mujeres jóvenes se ha reportado un incremento, pequeño pero significativo, de la testosterona sérica en respuesta a seis series de sentadillas realizadas a una intensidad de 10RM (Carbone, L. 2016), por consecuencia del entrenamiento, la testosterona segregada en los ovarios y en la corteza suprarrenal interactúa en el núcleo celular para el desarrollo de la célula muscular, estimula el aumento de la acción de los receptores de los neurotransmisores y estimula la liberación de GH y del factor de crecimiento semejante a la insulina (IGF-I), (Kraemer, 1999). Además, se conoce que el entrenamiento con sobrecarga tiene como resultado la liberación de GH segregada por la hipófisis anterior, este mensajero químico a su vez incrementa el transporte de aminoácidos hacia el músculo, aumento en la utilización de ácidos grasos, aumento de la lipólisis, aumenta la retención de nitrógeno, sodio, potasio y fosforo (Adams, 1998).

El despliegue de IGG-I, IGF-II (ex-somatomedinas) en el hígado, músculo y el corazón promueve la diferenciación y la proliferación de muchos tipos de células en especial en el músculo esquelético, facilita el transporte de aminoácidos y glucosa, agiliza la síntesis de glucógeno y provoca un balance positivo de nitrógeno en el organismo (Takarada et al., 2002). Otras hormonas como los estrógenos, la progesterona y la insulina actúan como agentes de reparto para inducir el metabolismo de las grasas hacia la movilización de los triglicéridos. Por lo tanto, estimulan la captación celular y la incorporación de aminoácidos en varias proteínas a nivel muscular.

A nivel cardiovascular bajo la misma intensidad de trabajo, las mujeres entrenadas tienen una respuesta más alta de la frecuencia cardíaca para cualquier nivel de esfuerzo submáximo con relación a los hombres que posean el mismo nivel de entrenamiento (Van Etten, 1997). Pero la frecuencia cardíaca máxima es generalmente la misma en ambos sexos.

A nivel metabólico aumentan los depósitos de ATP (adenosín trifosfato) y fosfocreatina en el músculo, los niveles de glucógeno son mayores y se establece una probabilidad de aumento de triglicéridos. La capacidad potencial del metabolismo de los fosfágenos es muy similar en ambos sexos, si bien debido a la menor masa muscular total de la mujer, el contenido total de fosfágenos es notablemente inferior. Durante el ejercicio de larga duración y moderada intensidad la mujer utiliza más el metabolismo de las grasas y menos el metabolismo de los hidratos de carbono y de las proteínas, respecto a los hombres con igual nivel de entrenamiento (Verkhoshansky,2000), este hecho se justifica por una menor respuesta de las catecolaminas en el ejercicio en la mujer, ya que, esas hormonas estimulan la glucogenólisis muscular y hepática (Adams ,1998).

2. ANTECEDENTES

2.1 Método del tiempo bajo tensión y sus adaptaciones fisiológicas

El entrenamiento de fuerza tiempo bajo tensión (T.U.T.) es utilizado para indicar el lapso de tensión mecánica a la que se somete el músculo esquelético durante la fase concéntrica (acortamiento) y excéntrica (alargamiento) de contracción muscular realizada en un entrenamiento contra resistencia (Cercena, 2001).

Agregando a lo anterior, el fundador de este concepto fue el entrenador Charles Poliquin en los años 90 (Schoenfeld en 2015), posterior a su reconocimiento como método de entrenamiento, el T.U.T. ha sido objeto de diversas investigaciones científicas. Schoenfeld en 2011 indicó que los culturistas han defendido durante años que no se trata de solo de la cantidad de la carga empleada en el entrenamiento de fuerza, la forma de ejecución también debe ser considerada como una variable determinante. Posteriormente, en 2014 Helms y Fitschen, determinaron que se debe permitir el control muscular de la carga, empleando tiempos de trabajo más reducidos en ambas fases de contracción muscular (1-2 segundos en fase concéntrica), (2-3 segundos en fase excéntrica). Subsiguientemente, Schoenfeld (2015) con su trabajo de meta-análisis, planteo un tiempo de ejecución en entrenamiento de fuerza de 1,0,3. Es decir, 1 segundo en fase concéntrica, 0 segundos en fase isométrica y 3 segundos en fase excéntrica. Cabe mencionar que el estudio de meta-análisis incluyó solamente a sujetos sanos, los métodos de entrenamiento incluyeron ejercicios dinámicos y diferentes tiempos de entrenamiento, asimismo, los entrenamientos se llevaron hasta el fallo muscular.

Al considerar evidencias experimentales, se ha demostrado que el T.U.T. estimula diferentes respuestas sintéticas de proteínas subfraccionales musculares en los hombres adultos sanos (Burd et al. 2012). En concreto, se aplicó una carga aguda de entrenamiento de fuerza (extensión unilateral de pierna). El ejercicio implicó realizar 3 sets de extensión al 30% de la 1RM con movimientos lentos (SLOW) de extensión (6 seg. fase concéntrica, 6 seg. fase excéntrica) hasta el fallo. La pierna contraria fue utilizada como control (CTL), con la cual se realizaron extensión de pierna con 1 seg de duración para cada fase del movimiento (fase excéntrica y concéntrica). Sin embargo, en todo momento se cuidó de que la pierna CTL realizará una carga equivalente a la pierna experimental (Burd et al. 2012). Se observó que el entrenamiento lento incremento la tasa sintética fraccional proteica (determinada por cristalografía) en el músculo vasto lateral (Figura 6).

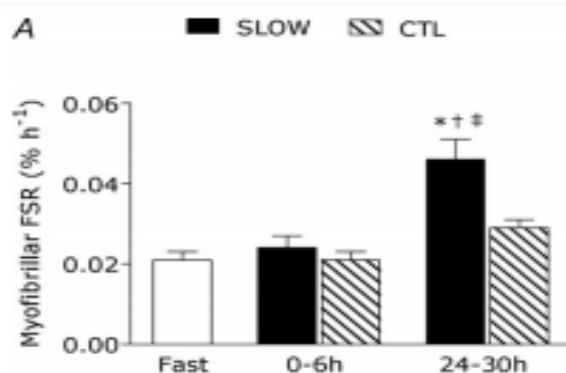


Figura 6. Resultados actividad sintética miofibrilar en el musculo vasto lateral tras terminar el protocolo de entrenamiento tiempo muscular bajo tensión durante el ejercicio de fuerza. (Burd et al. 2012).

La misma condición se observó para la mitocondria del músculo vasto lateral (Figura 7).

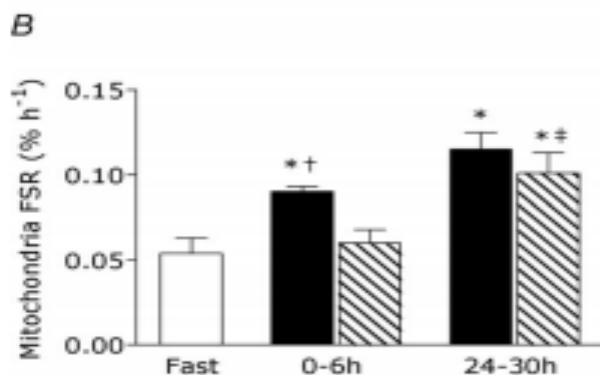


Figura 7. Índice sintético de proteínas fraccionales en la mitocondria del músculo vasto lateral. (Burd et al. 2012).

Estos datos, muestran claramente que las variables contráctiles pueden manipularse para afectar las respuestas de la síntesis de proteínas musculares. Este efecto parece depender de la activación máxima de la fibra durante el ejercicio (Burd et al. 2012). Por lo tanto, se especula que la activación máxima de la fibra, y no el porcentaje de la fuerza máxima, es fundamental para inducir las tasas máximas de síntesis de proteínas musculares y son en gran medida redundantes en su capacidad para provocar una respuesta anabólica al ejercicio siempre que se alcancen altos niveles de reclutamiento de fibras musculares (Ratamess et al. 2009).

Corradi et al., (2021) estudiaron las respuestas fisiológicas agudas con carga variable o tiempo bajo tensión durante un ejercicio de sentadilla establecen que un TUT más alto causa un mayor impacto en las respuestas metabólicas que un TUT más bajo o cargas más altas, mientras que un aumento de intensidad en base a la carga de entrenamiento resulta en una mayor activación muscular que un TUT más alto o una carga de entrenamiento más baja.

Por otro lado, Lacerda et al., (2016) realizaron una investigación en la que evaluaron el impacto metabólico y neuromuscular de diferentes protocolos de T.U.T. en jóvenes entrenados. Los protocolos aplicados fueron los siguientes: Protocolo A, consistente en 6 repeticiones con duración de 6 segundos de tiempo de contracción. Protocolo B, consistió en 12 repeticiones con duración de 3 segundos por repetición (ejercicio de press de pecho

para ambos grupos, al 60% de la RM). Basado en sus resultados los autores concluyeron que el ejercicio de mayor cantidad de repeticiones (12 repeticiones) induce mayores demandas metabólicas y neuromusculares con respecto al protocolo de menor número de repeticiones (6 repeticiones con 6 segundos de duración por repetición), a pesar de presentar el mismo tiempo bajo tensión (Figura 8).

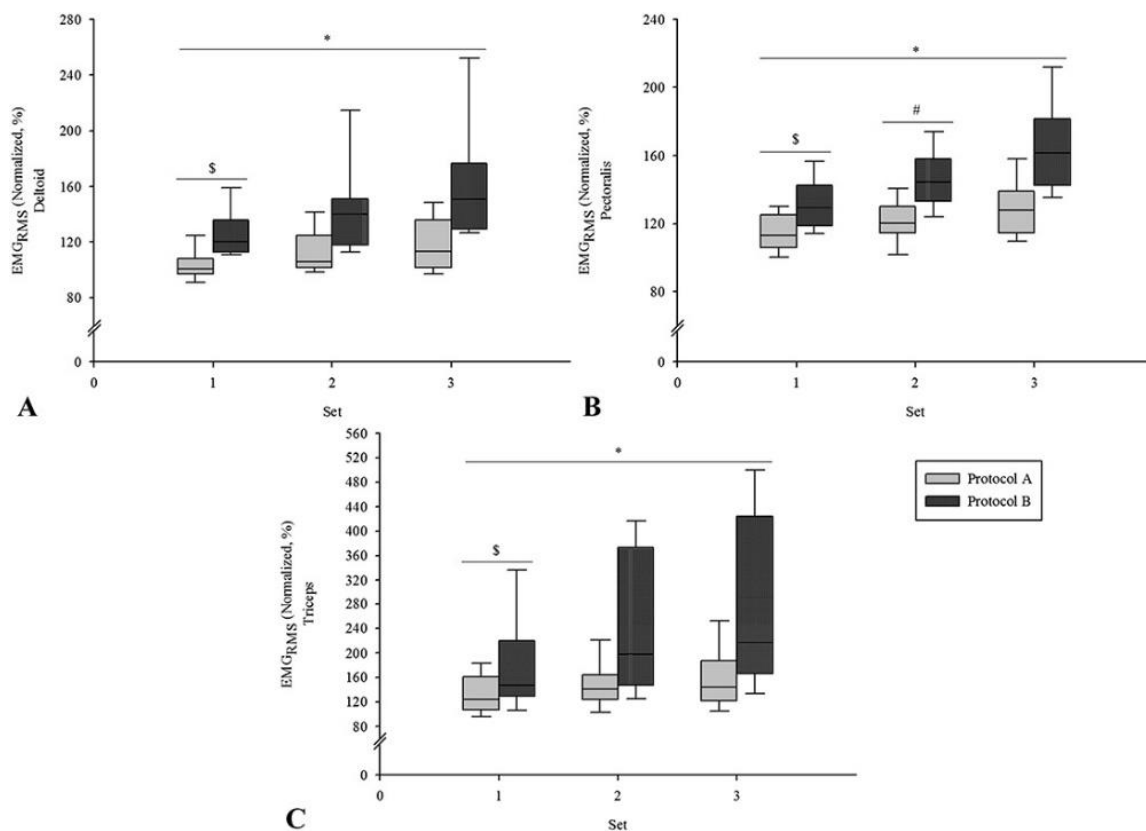


Figura 8. Respuesta electromiográfica del músculo deltoides anterior (A), pectoral mayor (B) y tríceps braquial (C) durante el press de pecho para cada protocolo de entrenamiento. (Tomada de Lacerda et al., 2016).

3. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de la fuerza y la potencia muscular es una de las principales preocupaciones de los entrenadores y científicos del deporte debido a su papel fundamental en diversas disciplinas deportivas. Agregando a lo anterior, el conocimiento de los aspectos mecánicos y fisiológicos subyacentes a diferentes estímulos de entrenamiento de fuerza es fundamental para poder prescribir adecuadamente un programa de ejercicio físico encaminado a mejorar el rendimiento neuromuscular del deportista (Sánchez et al., 2010).

De esta manera en el sexo femenino para un desarrollo en todas las fibras musculares se necesita un alto grado de estimulación para que sean activadas, lo que requiere cargas más intensas y el uso de más ángulos de ejercicio para estimular el desarrollo físico general de la musculatura. Por consecuencia, esto demanda el estudio de técnicas más efectivas de musculación para desarrollar la hipertrofia, para que luego estas técnicas puedan ser integradas a un programa de fuerza y potencia.

Por consiguiente, al demostrarse que el uso de T.U.T. en rutinas de ejercicio con pesas aumenta el nivel de intensidad en la rutina sin modificar la carga genera un gran interés, por lo tanto, el presente trabajo de tesis se enfoca en estudiar el Impacto del entrenamiento de fuerza basado en tiempo bajo tensión sobre la masa muscular y fuerza muscular en mujeres jóvenes físicamente activas, como consecuencia, en base a los resultados del estudio se busca plantear un método de entrenamiento con el que se pretende favorecer los procesos de entrenamiento al maximizar el desarrollo de la masa muscular y fuerza.

4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿El entrenamiento de la fuerza basado en tiempo bajo tensión será un método más eficiente para aumentar la masa muscular y fuerza muscular en mujeres jóvenes físicamente activas?

5. HIPÓTESIS

Hipótesis: Un entrenamiento de fuerza basado en tiempo bajo tensión tendrá efectos significativos sobre la masa muscular y fuerza muscular en mujeres físicamente activas.

Hipótesis nula: Un entrenamiento de fuerza basado en tiempo bajo tensión no tendrá ningún efecto significativo sobre la masa muscular y fuerza muscular en mujeres físicamente activas.

6. OBJETIVO GENERAL

Analizar el impacto del entrenamiento bajo tensión sobre la masa muscular y fuerza muscular en mujeres físicamente activas.

7 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.- Determinar el impacto del entrenamiento de fuerza con la modalidad T.U.T. sobre la masa muscular en mujeres físicamente activas.
- 2.- Identificar el efecto del entrenamiento de fuerza con la modalidad T.U.T. sobre la potencia absoluta en miembros superiores en mujeres físicamente activas.
- 3.- Identificar el efecto del entrenamiento de fuerza con la modalidad T.U.T. sobre la potencia absoluta en miembros inferiores en mujeres físicamente activas.
- 4.- Evaluar el impacto del entrenamiento de fuerza con la modalidad T.U.T. sobre la potencia relativa en miembros superiores en mujeres físicamente activas.
- 5.- Evaluar el impacto del entrenamiento de fuerza con la modalidad T.U.T. sobre la potencia relativa en miembros inferiores en mujeres físicamente activas.

8. METODOLOGÍA

8.1 Diseño experimental

Para el presente proyecto, se utilizó un diseño experimental Pre - test/post - test, con un grupo control. La selección de las participantes de estudio se realizó por conveniencia, la variable demográfica es que las participantes de prueba sean mujeres sanas entrenadas con edad entre los 18 a 35 años, la asignación de grupo se realizó de manera aleatoria utilizando la herramienta de Excel. El tipo de entrenamiento que realizaron fue de fuerza potencia basado en 4 series de 6 a 12 repeticiones al 75% del 1RM. Modelo de entrenamiento definido como Repeticiones III de acuerdo a lo establecido por González-Badillo y Gorostiaga, (2002). Entrenamiento realizado con 5 sesiones de entrenamiento de 1 hora durante 4 semanas

8.2 Participantes

Seis mujeres sanas (21.6 ± 1.9 años) con experiencia mínima de 2 años en entrenamiento de fuerza participaron en el presente estudio. Las féminas participantes reportaron ser físicamente activas en concordancia con el cuestionario internacional de actividad física en su versión corta (IPAQ). En el mismo sentido, se aplicó el cuestionario PAR-Q & You para detectar posibles condiciones de riesgo ante la práctica de ejercicio físico. Todas las

participantes fueron informadas a detalle acerca del propósito del estudio, y de los procedimientos que esté implicaba. Finalizada esta sesión informativa, las participantes firmaron una carta de consentimiento informado.

Como criterios de inclusión para el presente estudio fueron consideradas las siguientes condiciones:

A) No estar en estado de embarazo; B) no ser menor de 18 años o mayor de 35 años; C) Tener más de 2 años de experiencia en levantamiento con pesas al momento del estudio; D) No presentar alguna lesión o patología física; E) Contar con disponibilidad para participar en el estudio; F) No consumir de manera continua ayudas ergogénicas, y G) Firmar el consentimiento informado para participar.

los individuos que no cumplen con todos los criterios no fueron incluidos en el estudio.

8.3 Procedimientos

Todas las participantes visitaron el Laboratorio de Fisiología Aplicada al Ejercicio Físico para realizar el análisis de la composición corporal por el método de impedancia bioeléctrica (INBODY 770), y la medición antropométrica de perímetros corporales (ISAK citar).

El protocolo para análisis de composición corporal se describe a continuación:

Los participantes se presentaron bajo un estado de ayuno mínimo de 6-8 horas, sin haber realizado actividad física vigorosa en un periodo de 24 horas previas a la evaluación, con un descanso adecuado de sueño reparador de 8 horas. Una vez calibrado el analizador de composición corporal, se ingresó datos demográficos (edad, sexo, estatura, fecha de nacimiento y nombre completo) en la ficha de cada participante. Seguidamente se solicitó a las participantes no portar material metálico (aretes, pulseras, cadenas, sujetador de pelo de metal, piercing, etc.) durante la prueba. Con ropa ligera, descalzas, y con limpieza con alcohol al 70% de las palmas de las manos y planta de los pies las mujeres subieron a la báscula del INBODY 770, el analizador de composición corporal realiza una calibración de postura del sujeto para asegurar que se tiene contacto con los electrodos de las plantas de las manos y pies. Una vez que se adopta la postura correcta, según las instrucciones del protocolo del proveedor, se inicia automáticamente con la evaluación de composición corporal (ver figura 10). Los resultados son visualizados a detalle en el software especializado (Lookin´Body 120).

Luego de determinar la composición corporal, se midieron los perímetros del brazo en relajación, brazo bajo tensión máxima, seguidamente se tomó el perímetro cadera máxima, perímetro de muslo medio y pantorrilla (ver figuras 9 a 13).



Figura 9. Procedimiento toma de perímetro del brazo en relajación, (imagen tomada de Holway, 2017).

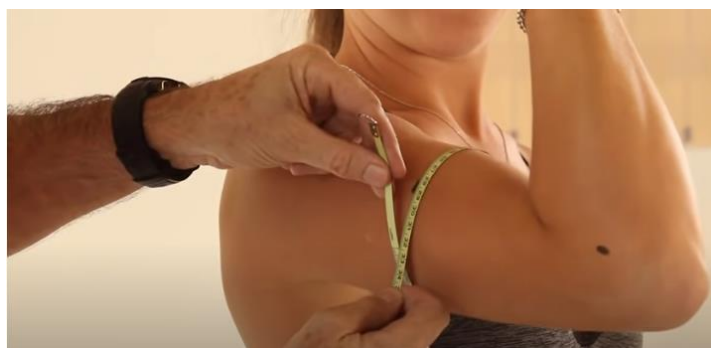


Figura 10.- Procedimiento toma de perímetro del brazo en flexión, (imagen tomada de Holway, 2017).



Figura 11. Procedimiento toma de perímetro de la cadera, (imagen tomada de Holway, 2017).

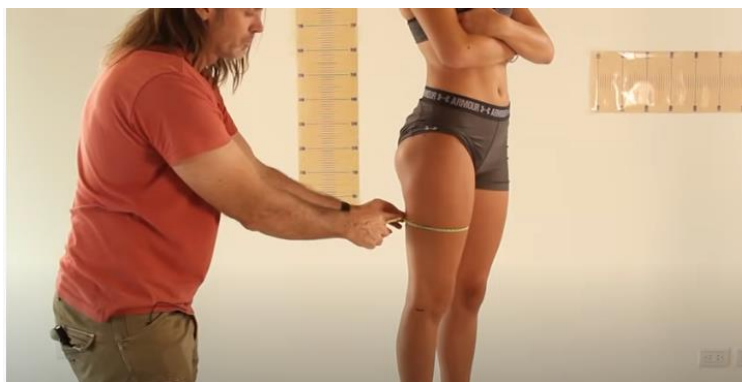


Figura 12. Procedimiento toma de perímetro de muslo medio, (Imagen tomada de Holway, 2017).

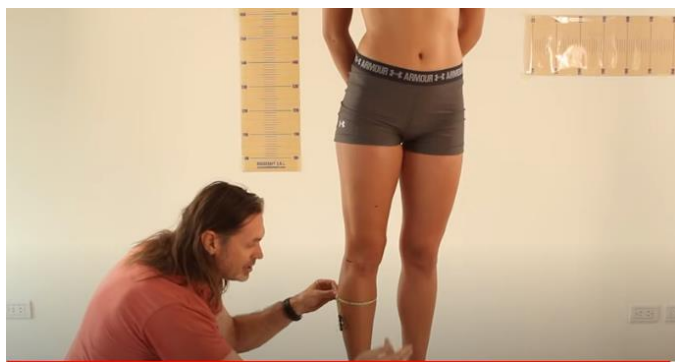


Figura 13. Procedimiento toma de perímetro de pantorrilla, (Imagen tomada de Holway 2017).

Por otro lado, 24 horas posteriores al análisis de composición corporal, las participantes visitaron la sala de musculación de la Facultad de Deportes para realizar las pruebas físicas enfocadas a estimar la Repetición Máxima (1RM) en los ejercicios de remo con barra, press de pecho, sentadilla y peso muerto.

Para la estimación de la 1RM se empleó la siguiente ecuación de Brzycki (1993)

:

$$1RM = \frac{PESO\ LEVANDADO\ EN\ EL\ TEST}{1.0278 - (0.0278 \times N\ DE\ REPS\ AL\ FALLO)}$$

Cuarenta y ocho horas posteriores a la determinación de la 1RM, las participantes realizaron los ejercicios previamente indicados para determinar la potencia absoluta, potencia relativa y velocidad de ejecución. Los parámetros antes mencionados fueron evaluados con el transductor de posición lineal GymAware. Los ejercicios fueron realizados con el 30% de la RM previamente calculada.

El procedimiento de evaluación inició con la calibración del transductor de posición lineal (GymAware), una vez calibrado, una polea del equipo fue unida por una banda de velcro hacia la barra olímpica. El transductor, se colocó sobre una base plana metálica (disco de pesas), la línea de seguimiento posicional (polea colocada en la barra) a utilizar en el ejercicio, fue ubicada en un ángulo recto respecto al dispositivo (Figura 14). Posteriormente, se estableció la conexión entre el dispositivo Gymaware y el software en el dispositivo móvil (vía telemétrica a una Tablet), se seleccionó en el software del transductor el ejercicio a realizar en la lista de los ejercicios disponibles en el software, posteriormente se estableció el número de series y repeticiones a realizar, asimismo fue establecido el peso a utilizar considerando el peso de los discos y la barra (Figura 15).

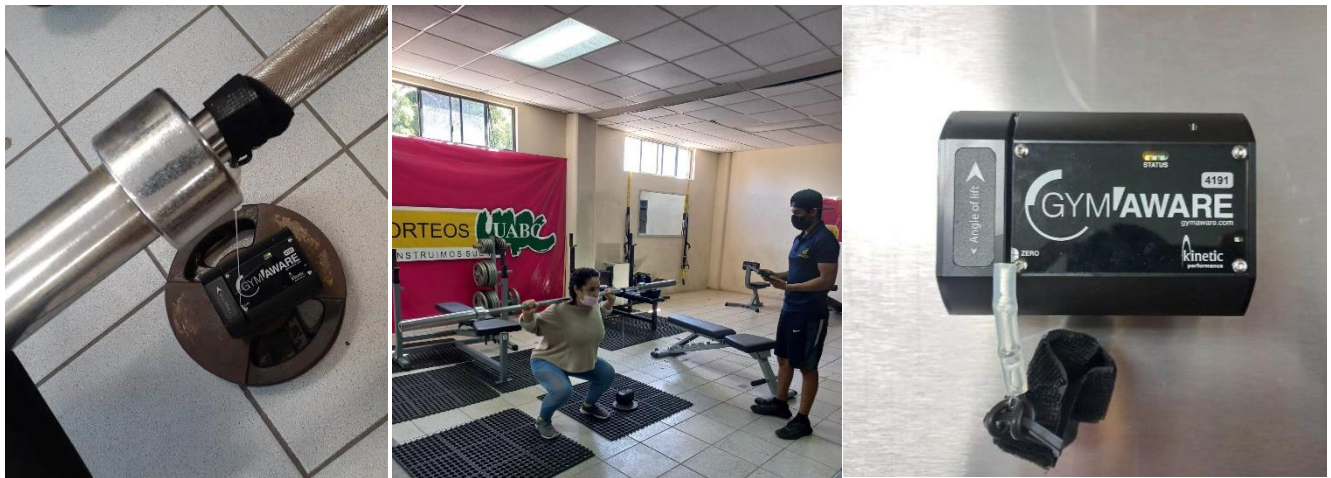


Figura 14. Ilustración posición y preparación dispositivo Gymaware (imagen del autor).

Los evaluadores seleccionan un objetivo de escuadrón para cada ejercicio y configuran la zona de entrenamiento deseada. En la aplicación el evaluador puede apreciar la última ejecución del ejercicio y la mejor ejecución en la realización del ejercicio.



Figura 15. Ilustración rango de objetivo en el software Gymaware. Color verde objetivo designado, color naranja valor de la última ejecución, color amarillo valor de la mejor ejecución en el ejercicio. Fotografía tomada del manual usuario Gymaware.

Una vez configurado el equipo de medición se realizaron los ejercicios con el siguiente protocolo.

Remo con barra: Primeramente, se toma la posición para ejecutar el ejercicio de pie, con el tronco recto, la cadera flexionada unos 45° y las rodillas semiflexionadas, todos bloqueados, se sujeta la barra en pronación (con las palmas hacia el cuerpo) con una separación algo superior a la anchura de los hombros. Tiramos de los brazos con los codos siempre abiertos hasta llevar la barra a la zona abdominal. Se aplica la máxima velocidad posible en la fase concéntrica del ejercicio. El transductor de fuerza captura los datos de velocidad de la barra, potencia máxima, velocidad relativa, longitud de desplazamiento en la fase concéntrica del gesto motor. Se realizan un total de 3 repeticiones (Figura 16).

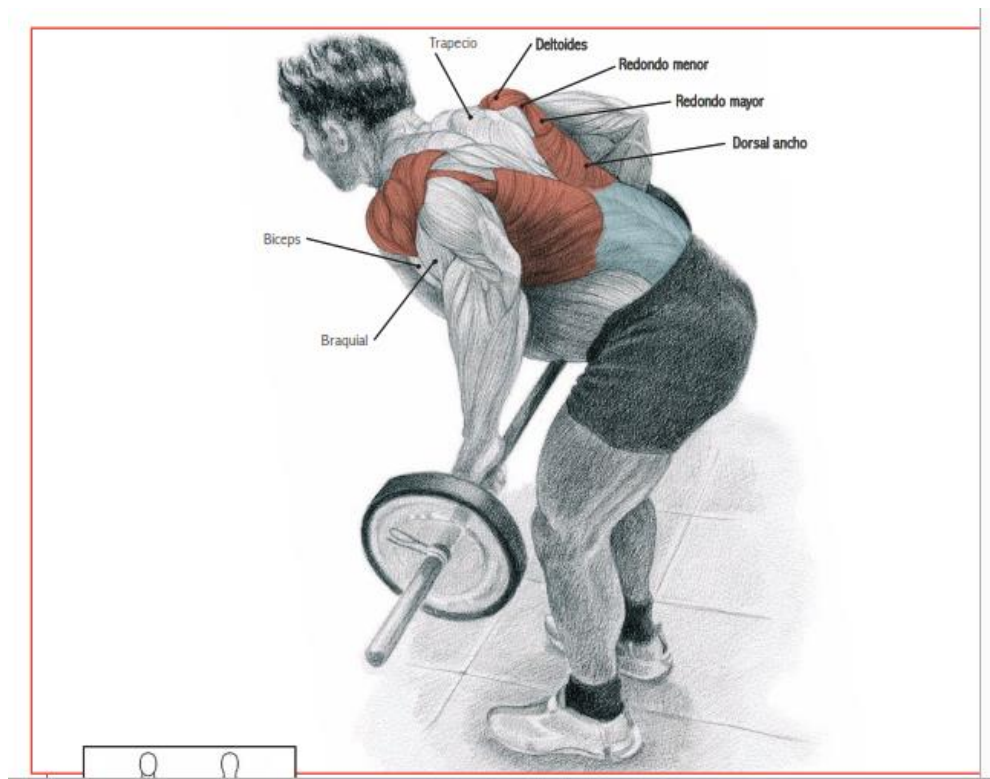


Figura 16. Descripción gráfica del ejercicio remo con barra olímpica, (tomado de Esquerdo, 2019).

Finalizado el primer ejercicio, se dejó un periodo de 3 minutos de recuperación para posteriormente realizar el el ejercicio de press de pecho.

Press de pecho: Al igual que el remo con barra, en el presente ejercicio se realizaron 3 repeticiones. Para este ejercicio se inicia con la posición decúbito sobre un blanco plano. Con la cabeza, la espalda y los pies bien apoyados, la barra se sujeta simétricamente con un agarre algo más ancho que los hombros, sobre la vertical de los ojos, preferiblemente con el pulgar por debajo de la barra. Se inspira antes de sacar la barra del soporte, se coloca frente al pecho, a la indicación del evaluador se desciende con los codos separados del tronco hasta rozarlo en su parte media. La fase concéntrica de ejercicio se realiza a la máxima velocidad posible.

El transductor de fuerza captura los datos de velocidad de la barra, potencia máxima, velocidad relativa, longitud de desplazamiento en la fase concéntrica del gesto motor. Se realizan un total de 3 repeticiones (figura 17).

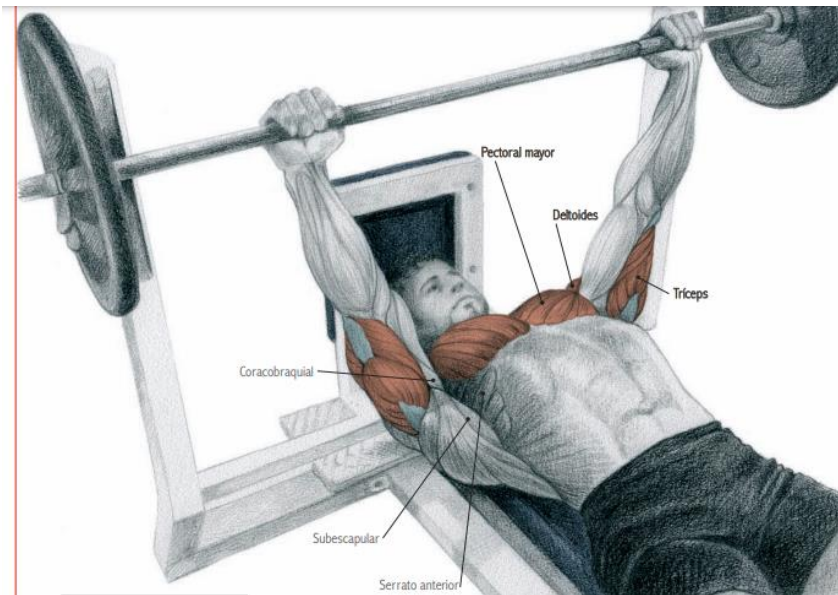


Figura 17. Descripción gráfica del ejercicio press banca plano con barra olímpica, (tomado de Esquerdo, 2019).

Finalizado el test de press de pecho, las participantes tuvieron un lapso de reposo de 3 minutos para continuar con el ejercicio de sentadillas (Squats).

Squats: Para esta prueba, el número de repeticiones fueron similares a los 2 anteriores. El ejercicio se realizó de pie, con la vista al frente, con los pies apuntando ligeramente hacia fuera (rotación externa de la pierna 20° o 30°) y algo más separados que la anchura de los hombros, las participantes sujetaron la barra colocando sus manos en pronación, detrás de la cabeza sobre el trapecio y deltoides. A la indicación del evaluador, se inicia un descenso de la barra, flexionando las rodillas en dirección a los pies hasta que los muslos queden casi paralelos al suelo. El abdomen y el lumbar han de permanecer fuertemente contraídos. Los talones no se levantan, la fase concéntrica del ejercicio se realiza a máxima velocidad posible. El transductor de fuerza captura los datos de velocidad del movimiento de la barra, potencia máxima, velocidad relativa, longitud de desplazamiento en la fase concéntrica del gesto motor (figura 18).

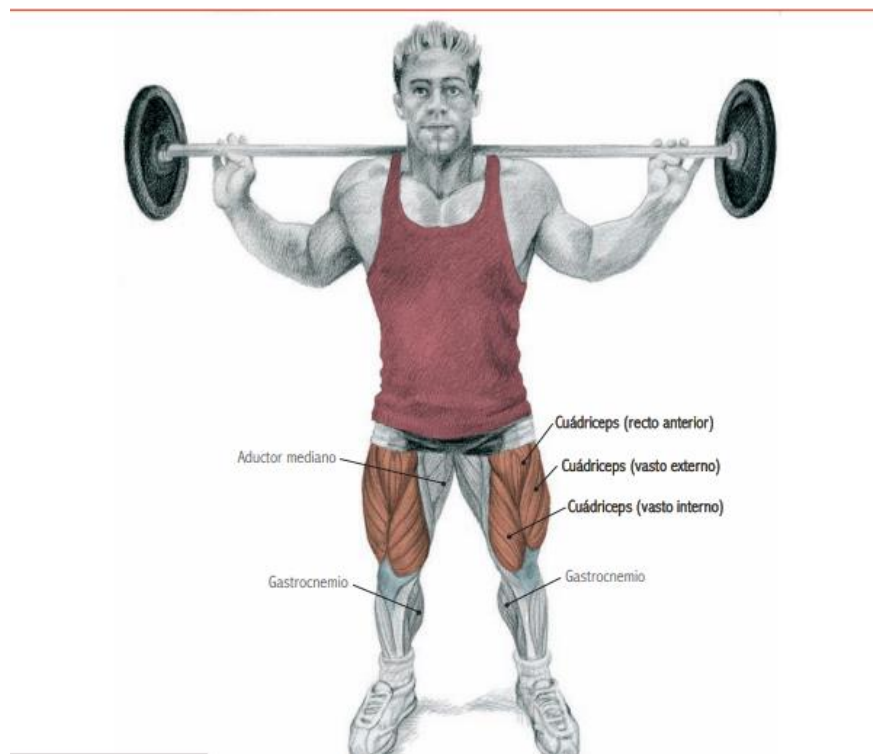


Figura 18. Descripción gráfica del ejercicio de sentadilla con barra olímpica, (tomado de Esquerdo, 2019).

Previo a un periodo de recuperación activa de 3 minutos, se continuó con el ejercicio de peso muerto, en el cual se realizaron la misma cantidad de repeticiones respecto a los ejercicios anteriores. El ejercicio comenzó en posición de pie, con las piernas casi semiflexionadas y separadas a la anchura de los hombros, manteniendo la vista al frente, sujetando la barra sobre los muslos, la posición de las manos en agarre de pronación (con las palmas hacia el muslo). Al iniciar el ejercicio, se flexiona el tronco hacia delante evitando arquear la espalda, tratando de no separar la barra del cuerpo al momento de levantarla y hacerla descender. El esfuerzo ha de localizarse en los músculos extensores de la cadera de la zona posterior del muslo, pero no tanto en la espalda. La fase concéntrica del presente ejercicio se realiza a máxima velocidad posible. El transductor de fuerza captura los datos de velocidad de la barra, potencia máxima, velocidad relativa, longitud de desplazamiento en la fase concéntrica del gesto motor (figura 19).

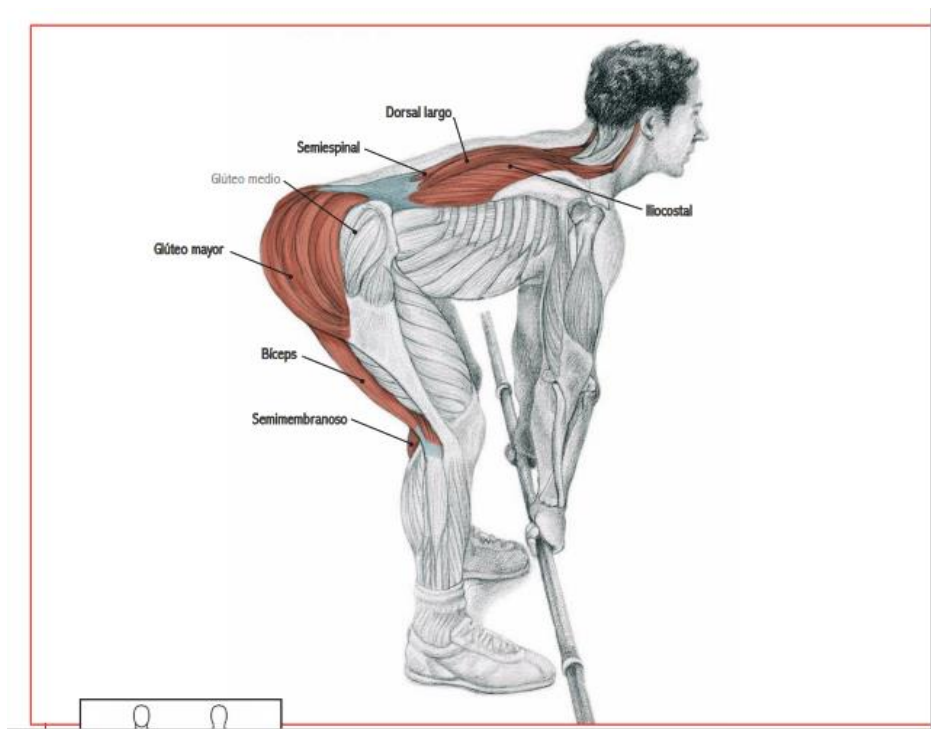


Figura 19. Descripción gráfica del ejercicio peso muerto con barra olímpica, (tomado de Esquerdo, 2019).

Una vez finalizadas las evaluaciones iniciales, de manera aleatoria se designó a las participantes que integrarían el grupo control, el grupo de entrenamiento tradicional y el grupo de entrenamiento T.U.T. A continuación, en la Tabla 8 se describe el protocolo de entrenamiento que llevó a cabo el grupo de entrenamiento T.U.T. cuyo objetivo fue el desarrollo de la fuerza hipertrofia y potencia muscular en miembros inferiores y superiores. La frecuencia de entrenamiento por grupo muscular fue establecida de 2 – 3 sesiones por semana, con una duración total del protocolo de 4 semanas.

Tabla 8. Protocolo de entrenamiento grupo T.U.T.

Programa de entrenamiento grupo T.U.T. (75% RM)						
TF	L/MR/V	TS	M/J	Cadencia	Descanso (min)	Tiempo total bajo tensión (Seg)
Sentadilla c/Barra	4 x 6	Press banca c/ Barra	4 x 6	1/0/3	2	96
Peso Muerto	4 x 6	Remo con mancuerna	4 x 6	1/0/3	2	96
Sentadilla c/Mancuernas	4 x 6	Press inclinado c/ Mancuernas	4 x 6	1/0/3	2	96
Desplantes c/Mancuernas	4 x 6	Curl de Bíceps	4 x 6	1/0/3	2	96

Hipthrust	4 x 6	Extensión de Tríceps	4 x 6	1/0/3	2	96
-----------	-------	----------------------	-------	-------	---	----

Nota: TF: Tren Inferior, TS: tren Superior, L: Lunes, MR: Miércoles, V: Viernes, M: Martes, J: Jueves, 1/0/3: 1 segundo en fase concéntrica, cero segundos en fase isométrica y 3 segundos de fase excéntrica,

Cadencia y equivalencia: las participantes que conforman el grupo T.U.T. realizaron la mitad de repeticiones por serie respecto al grupo tradicional, empleando una cadencia 1 segundo en fase concéntrica, cero segundos en fase isométrica y 3 segundos de fase excéntrica (1,0,3). Dando un tiempo bajo tensión mecánica de 4 segundos, en contraste del grupo control que realiza una ejecución con 2 segundos bajo tensión mecánica.

Una vez cumplido el plan de entrenamiento de 4 semanas los tres grupos se presentaron al laboratorio para realizar los protocolos iniciales de análisis de composición corporal, medición antropométrica, finalizando con la realización de las cuatro pruebas iniciales, recopilando datos mediante el dispositivo transductor gymaware.

El protocolo de entrenamiento que llevó a cabo el grupo tradicional se describe en la Tabla 9. El objetivo del protocolo fue el desarrollo fuerza hipertrofia y potencia muscular en miembros inferiores y superiores. La frecuencia de entrenamiento por grupo muscular fue de 2 – 3 sesiones por semana, con una duración total del protocolo de 4 semanas.

Tabla 9. Protocolo de entrenamiento grupo Tradicional

Programa de Entrenamiento Grupo Tradicional (75% RM)						
TF	L/MR/V	TS	M/J	Cadencia	Descansos (min)	Tiempo total bajo tensión (Seg)
Sentadilla c/Barra	4 x 12	Press banca c/ Barra	4 x 12	1/0/1	2	96
Peso Muerto	4 x 12	Remo con mancuerna	4 x 12	1/0/1	2	96
Sentadilla c/Mancuernas	4 x 12	Press inclinado c/ Mancuernas	4 x 12	1/0/1	2	96
Desplantes c/Mancuernas	4 x 12	Curl de Bíceps	4 x 12	1/0/1	2	96
Hipthrust	4 x 12	Extensión de Triceps	4 x 12	1/0/1	2	96

Nota: TF: Tren Inferior, TS: tren Superior, L: lunes, MR: Miércoles, V: Viernes, M: Martes, J: Jueves, 1/0/3: 1 segundo en fase concéntrica, cero segundos en fase isométrica y 1 segundo de fase excéntrica.

Una vez cumplidos los protocolos de entrenamiento de 4 semanas, los grupos se presentaron al laboratorio para realizar los protocolos iniciales de análisis de composición corporal, medición antropométrica, finalizando con la realización de las cuatro pruebas iniciales, compilando datos mediante el dispositivo transductor lineal Gymaware. Para determinar el volumen total del entrenamiento se consideró el número total de repeticiones por el número de sets por la carga (kg) (Nunes et al., 2017).

8.4 Análisis estadístico

Los datos son reportados en valores promedio y desviación estándar. Se utilizó la prueba estadística ANOVA de 2 vías para determinar las diferencias estadísticas entre grupos y el efecto del tiempo. Se realizó una prueba t para evaluar las diferencias entre los grupos de entrenamiento tradicional vs TUT en la carga total de entrenamiento. La diferencia significativa fue considerada a un valor de $p \leq 0.05$. El software GraphPad Prism versión 8.1 fue utilizado para realizar las gráficas y el análisis estadístico.

9. RESULTADOS

Los datos demográficos y de nivel de actividad física pre test de las participantes son presentados en la tabla 10.

Tabla 10. Datos demográficos de los participantes (n=6).

Variable	Promedio	Desviación Estándar
Edad (años)	21.6	1.96
Peso (kg):	67.4	9.94
Estatura (cm):	159.6	7.42
IMC (kg/m ²):	21.6	3.16
IPAQ (METs)	2055.33	156.58

Los datos demográficos y de nivel de actividad física post test de las participantes son presentados en la tabla 11.

Tabla 11. Datos demográficos de los participantes (n=6).

Variable	Promedio	Desviación Estándar
Edad (años)	21.6	1.96
Peso (kg):	68.1	9.69
Estatura (cm):	159.6	7.42
IMC (kg/m ²):	23.96	1.18
IPAQ (METs)	2276.28	148.25

Previo al entrenamiento, no se observó diferencia significativa en los niveles de potencia muscular en los ejercicios press de banca plano ($F(2,3) = 0.69$; $p=0.56$), sentadilla con barra ($F(2,3) = 0.11$; $p=0.89$), remo con barra ($F(2,3) = 1.7$; $p=0.31$) (Figura 20).

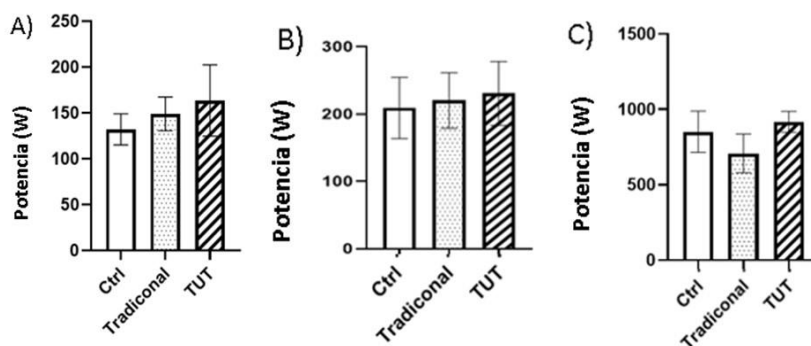


Figura 20. Potencia muscular absoluta en los ejercicios de (A) press banca plano, (B) peso muerto y (C)

sentadilla con barra realizados al 30% de 1RM.

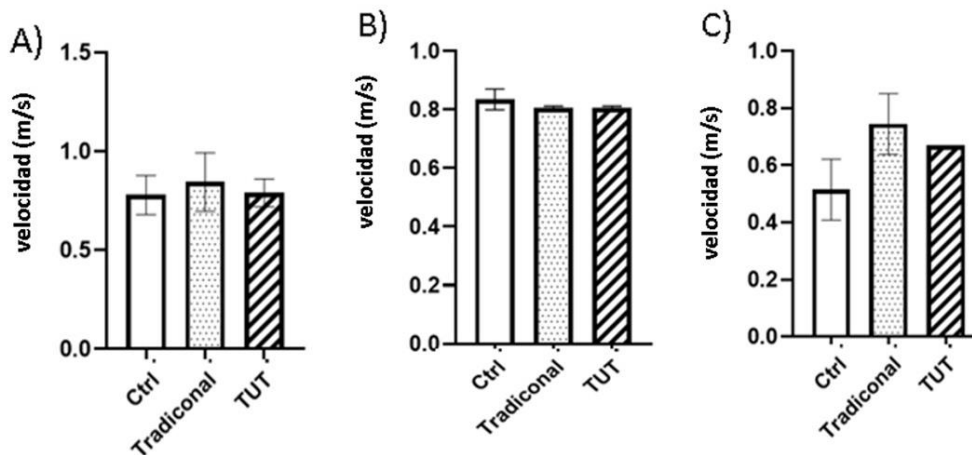


Figura 21. Velocidad de ejecución (A) press banca plano, (B) peso muerto y (C) sentadilla con barra realizados al 30% de 1RM

En el mismo sentido, como se observa en la Figura 21, no se identificó diferencias significativas en la velocidad de ejecución en los ejercicios para los press de banca ($F(2,3) = 0.19$; $p=0.82$), peso muerto ($F(2,3) = \mathbf{1.33}$; $p=0.38$), sentadilla con barra ($F(2,3) = \mathbf{3.66}$; $p=0.15$). En la tabla 12 se reportan los datos antropométricos en referencia a los perímetros de bíceps en máxima tensión, muslo medio y pantorrilla máxima, como se observa en los valores, no se presentaron diferencias significativas entre grupos, sin embargo, se encontró un efecto significativo del tiempo.

Tabla 12. Datos de perímetros de área muscular (musculo bíceps, muslo medio, pantorrilla máxima y cadera).

Grupo	Músculo	Perímetro de área muscular (cm)	D.E.	Interacción	Tiempo	Grupo
Tradicional	Bíceps	9.85	15.26	$P=0.21$	$P=0.04$	$P=0.83$
Control		10.43	16.16			
T.U.T.		9.86	15.29			
Tradicional		19.16	29.73			

Control	Muslo medio	21.1	32.75	$P=0.47$	$P=0.02$	$P=0.02$
T.U.T.		18.45	28.59			
Tradicional	Pantorrilla máxima	13.36	20.70	$P=0.93$	$P=0.006$	$P=0.20$
Control		11.28	17.48			
T.U.T.		12.65	19.59			
Tradicional	Cadera	32.06	49.67	$P=0.95$	$P=0.004$	$P=0.88$
Control		36.76	56.95			
T.U.T.		35.16	54.52			

Nota. (D.E= Desviación Estándar).

Respecto a la potencia máxima en el ejercicio de press de banca plano no se observó un efecto de la interacción ($F(2, 4) = 0.49, p=0.64$), del grupo ($F(2, 4) = 1.33, p=0.35$), y tiempo ($F(1, 2) = 1.214, p=0.38$). En el mismo sentido, para la potencia máxima en el ejercicio de sentadilla con barra no se observó un efecto de la interacción ($F(2, 3) = 1.632, p=0.33$), del grupo ($F(2, 3) = 0.67, p=0.57$), y del tiempo ($F(1, 3) = 0.13, p=0.73$), para la potencia máxima en el ejercicio de peso muerto con barra, nuevamente no se observó un efecto de la interacción ($F(2, 4) = 0.49, p=0.64$), del grupo ($F(2, 4) = 1.33, p=0.35$), ni del tiempo ($F(1, 2) = 1.21, p=0.38$). Para la potencia máxima en el ejercicio de remo con barra no se observó un efecto de la interacción ($F(2, 2) = 0.96, p=0.50$), del grupo ($F(1, 1) = 11.41, p=0.18$), y del tiempo ($F(2, 2) = 2.62, p=0.27$), (Figura 22).

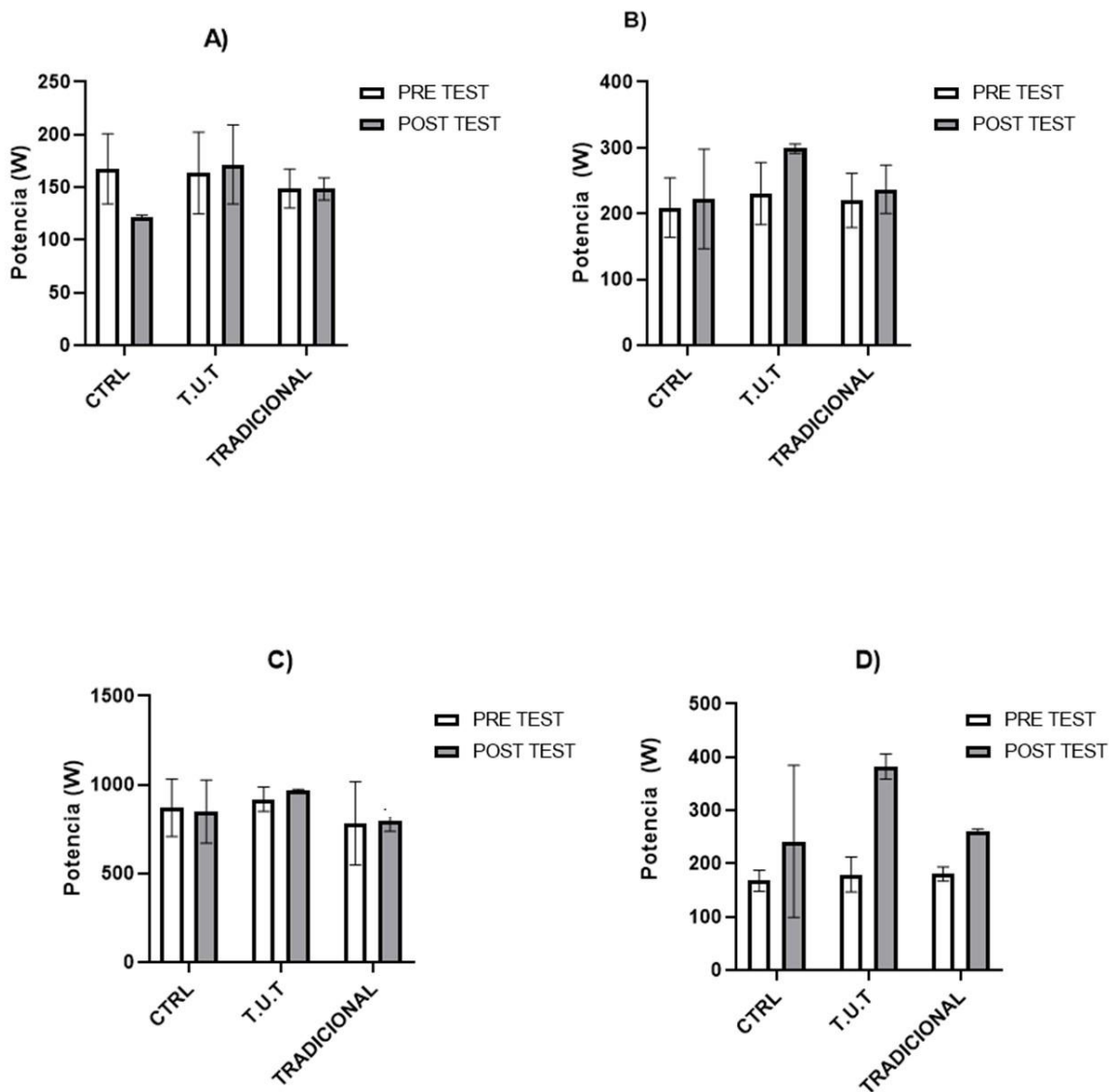


Figura 22. Niveles de potencia muscular A) press de banca plano B) peso muerto, C) Sentadilla con barra y D) Remo con Barra realizados al 30% de 1 RM.

En la velocidad de ejecución para el ejercicio press banca plano no se observó un efecto de la interacción ($F(2, 3) = 0.82, p=0.51$), del grupo ($F(2, 3) = 3.99, p=0.14$), ni del tiempo ($F(1, 3) = 0.15, p=0.71$), para los niveles de velocidad de ejecución en el ejercicio de peso muerto no se observó un efecto de la interacción ($F(2, 4) = 0.12, p=0.88$), del grupo ($F(2, 4) = 0.12, p=0.88$), ni del tiempo ($F(1, 2) = 0.04, p=0.84$), de igual manera en el ejercicio de sentadilla con barra no se observó un efecto de la interacción ($F(2, 4) = 1.28, p=0.37$), del

grupo ($F(1.12, 2.24) = 2.41, p=0.25$), ni del tiempo ($F(1, 2) = 0.36, p=0.60$). Finalmente, en el ejercicio de remo con barra, no se encontraron efectos de la interacción ($F(2, 3) = 0.82, p=0.51$), grupo ($F(2, 3) = 3.99, p=0.14$), y del tiempo ($F(1, 3) = 0.15, p=0.71$) (Figura 23).

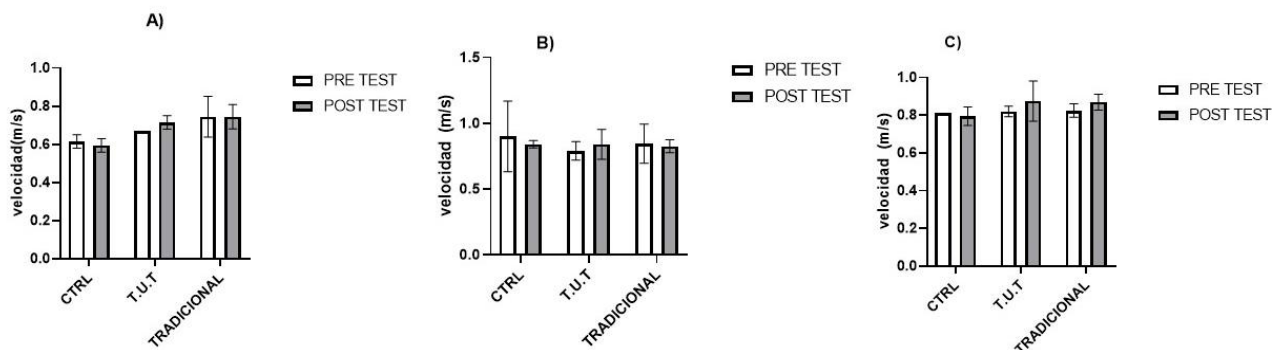


Figura 23. Velocidad ejecución (A) press de banca plano P:0.4 B) peso muerto P:0.6, y C) sentadilla con barra P:0.6 realizados al 30% de 1 RM).

Para la fuerza máxima a una ejecución voluntaria en press de banca no se observó un efecto de la interacción ($F(2, 4) = 0.003, p=0.99$), del grupo ($F(1.00, 2.00) = 0.29, p=0.64$), ni del tiempo ($F(1, 2) = 4.20, p=0.17$), en el ejercicio de sentadilla con barra banca no se observó un efecto de la interacción ($F(2, 4) = 0.02, p=0.97$), del grupo ($F(1.007, 2.01) = 0.25, p=0.66$), ni del tiempo ($F(1, 2) = 0.26, p=0.65$). Finalmente, en el ejercicio de remo, no existió un efecto significativo de la interacción ($F(2, 4) = 0.10, p=0.89$), del grupo ($F(2, 4) = 0.11, p=0.89$), y del tiempo ($F(1, 2) = 2.33, p=0.26$) (Figura 25).

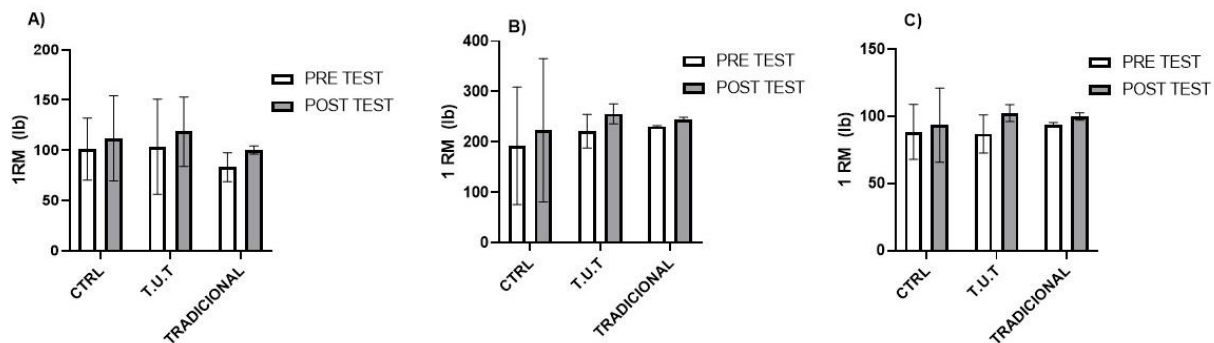


Figura 24. Nivel estimado de fuerza máxima (A) Press de Banca, B) Sentadilla con barra y C) Remo con Polea.

En el ángulo de fase se observó un efecto significativo del tiempo ($F(1, 3) = 13.77, p=0.03$), sin embargo, no se observó un efecto de la interacción ($F(2, 3) = 0.25, p=0.79$) y del grupo ($F(2, 3) = 1.62, p=0.33$) (Figura 24).

De la misma forma en la masa muscular se presentó un efecto en base al tiempo ($F(1, 3) = 11.19, p=0.04$) pero no se observó un efecto en base a la interacción ($F(2, 3) = 0.58, p=0.60$) y al grupo ($F(2, 3) = 0.56, p=0.61$) (Figura 25).

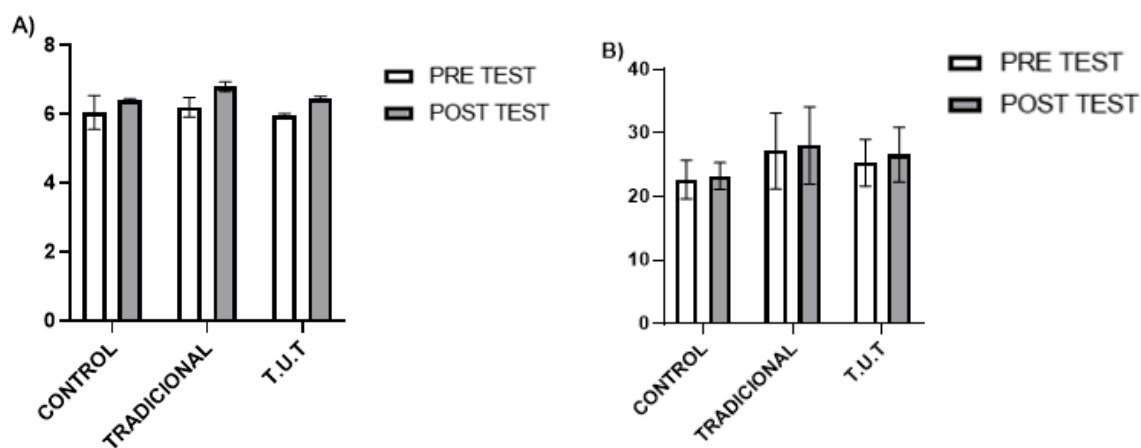


Figura 25. A) ángulo de fase, B) masa muscular (Kg).

Los datos de volumen de carga movilizada durante la intervención con las participantes del grupo tradicional y el grupo experimental denominado T.U.T., se presenta en la tabla 13. Se observó una diferencia significativa en los datos de volumen de carga total durante el protocolo de intervención. Concretamente, en todos los ejercicios, el volumen de carga realizado fue significativamente menor en el grupo T.U.T.

Tabla 13. Datos Volumen De Carga (Ejercicio: Press Banca Plano Con Barra, Press Banca Con Mancuerna a 45 Grados, Sentadilla Con Barra, Peso Muerto, Remo Con Mancuernas Y Hipthrust).

Ejercicio	Grupo	Volumen de carga (Kg)	D.E.	<i>P</i>	<i>d</i>	IC95%
Press de banca plano con barra	T.U.T.	762	76.98	0.02	0.95	-1286 to -238.4
	TRADICIONAL	1524	154			
Press de banca con mancuerna a 45 grados	T.U.T.	190.5	38.49	0.01	0.97	-362.0 to -127.8
	TRADICIONAL	435.4	0.00			
Sentadilla con barra	T.U.T.	1252	307.90	0.03	0.93	-2408 to -313.4

	TRADICIONAL	2613	154.00			
Peso muerto	T.U.T.	1143	154.00	0.04	0.91	-2190 to -95.69
	TRADICIONAL	2286	307.90			
Remo con mancuernas	T.U.T.	299.4	38.49	0.01	0.97	-362.0 to -127.8
	TRADICIONAL	544.3	0.00			
Hipthrust	T.U.T.	1415	76.98	0.007	0.98	-1939 to -891.5
	TRADICIONAL	2830	154.00			

10. DISCUSIÓN

Los datos obtenidos en el presente estudio muestran que el entrenamiento diseñado en la modalidad T.U.T., indujo efectos positivos en la masa muscular. Sin embargo, este efecto no mostró diferencias con respecto al entrenamiento de fuerza tradicional. Es importante señalar que el entrenamiento T.U.T., empleó un volumen significativamente menor respecto al método tradicional. Estos resultados resaltan, la relevancia del T.U.T. en referencia a la carga de trabajo empleada para mejorar la masa muscular. El aumento de masa muscular (hipertrofia), dentro de los primeros 2 meses durante el entrenamiento de fuerza puede ser consecuencia de un aumento de síntesis proteica, un efecto parcialmente atribuido a una mayor actividad hormonal relacionada al factor de crecimiento semejante a la tipo 1 (IGF-1, por sus siglas en inglés) el cual lleva a cabo señalizaciones intracelulares, teniendo efectos anabólicos sobre el músculo y por tanto fomenta un mayor crecimiento tisular (Sandri, 2008). Sumado a lo anterior, no se descarta un efecto anabólico generado por la hormona del crecimiento (GH), y la testosterona, ambas hormonas responden al entrenamiento de fuerza en mujeres físicamente activas (Nakamura et al., 2000; Copeland et al., 2002). Concretamente la GH promueve la captación celular de aminoácidos y su incorporación a diversas proteínas (Velloso, 2008), además esta misma hormona aumenta la actividad de las células satélite las cuales son decisivas para maximizar la respuesta hipertrófica al entrenamiento de fuerza (Timmons, 2011). Resaltando su efecto para mantener la capacidad mitótica del músculo, donando núcleos a las miofibras existentes, sumado su implicación en la reparación y remodelación del tejido muscular, incluida la expresión de los factores de regularización miogénicos que median en los procesos relacionados con el crecimiento finalizando en su función reguladora en la remodelación de

componentes de la matriz extracelular del musculo (Tiogo, 2006). Dada la relación positiva entre las hormonas anabólicas y el entrenamiento de tipo hipertrófico, se establece que el aumento de los niveles hormonales posteriores al entrenamiento es de gran importancia para los incrementos a largo plazo de masa muscular.

El potencial efecto hipertrófico, se supone por el aumento en la masa muscular reportados en el presente estudio (Tabla 11, y figura 27). El estudio mostró que el entrenamiento basado en tiempo bajo tensión presenta efectos positivos en el ángulo de fase descrito en los resultados de los análisis de bioimpedancia realizados, dicho ángulo de fase se relaciona con la integridad de las membranas celulares (Selberg et al. 2002). La respuesta a la mejora en el ángulo de fase es relevante para el presente estudio, particularmente para el T.U.T., este último protocolo se caracterizó por un mayor tiempo de contracción en el gesto excéntrico, lo que se esperaría en un potencial daño muscular, como ha sido reportado previamente (Matias, 2021). La mejora en el ángulo de fase presentado por los grupos experimentales puede deberse a el nivel de aptitud física presentado por los participantes. Además, los datos sugieren que el protocolo de entrenamiento T.U.T. impacta de manera positiva en la composición corporal y los parámetros bioeléctricos relacionados con la salud física.

Contrario a la masa muscular, el T.U.T. no mostró efectos significativos en la fuerza máxima y potencia en base al tiempo, intervención y grupo, esto puede relacionarse al tipo de cadencia empleado y a la naturaleza de la contracción muscular en base a que el tiempo bajo tensión pueden promover una mayor hipertrofia muscular en las fibras tipo I relacionadas con el trabajo de velocidad de contracción lenta (Schoenfeld, 2015). Cabe mencionar que el protocolo de entrenamiento T.U.T. con el 75% de la 1RM no presentó efectos negativos sobre la fuerza y potencia musculares.

El análisis resalta la existencia de una diferencia significativa en el volumen de carga movilizadas (series x reps x carga) entre el grupo experimental y el grupo tradicional (ver Tabla 12). Estos resultados han sido reportados por otros autores (Wilk et al. 2019), lo que indica una eficiencia del entrenamiento T.U.T. para mejorar la calidad y capacidad muscular.

11. CONCLUSIÓN

El presente trabajo de investigación reporta datos preliminares sugerentes de que el entrenamiento de fuerza basado en T.U.T. tiene efectos positivos sobre la masa muscular en mujeres físicamente activas empleando menor volumen de carga movilizadora. Sumado a lo anterior, el entrenamiento T.U.T. no parece tener un efecto negativo en la potencia y fuerza máxima en mujeres físicamente activas, este resultado resalta ser de importancia a entrenadores o preparadores físicos, ya que implica variables con alta aplicación a la metodología del entrenamiento deportivo. Finalmente, en el presente estudio todas las participantes cumplieron con el 100% de las sesiones, sin presentar ninguna lesión o dolor muscular, lo anterior sugiere que el entrenamiento basado en T.U.T es un modelo de entrenamiento factible a utilizar o aplicar en mujeres jóvenes físicamente activas. Los datos obtenidos proporcionan más evidencia del valor de estudiar las respuestas fisiológicas ante el entrenamiento de fuerza basado T.U.T., para obtener una comprensión en referencia a respuesta fisiológicas integrativas en población femenina.

12. PERSPECTIVAS

Las perspectivas inmediatas de esta tesis de licenciatura son las siguientes:

- 1) Aumentar el tamaño de la muestra para evaluar si el comportamiento muscular hasta ahora obtenido con el TUT se mantiene.
- 2) Identificar el impacto del entrenamiento de fuerza empleando el modelo TUT sobre las respuestas anabólicas hormonales en féminas físicamente activas.
- 3) Evaluar las adaptaciones neuromusculares inducidas por el entrenamiento TUT en féminas físicamente activas.
- 3) Estudiar el efecto residual del entrenamiento de fuerza empleando el modelo TUT a largo plazo sobre la masa y fuerza muscular en féminas físicamente activas.
- 4) Evaluar si un entrenamiento a largo plazo de TUT no induce síndrome de Burnout en población físicamente activa.

13. REFERENCIAS:

- Allison, D. J., Nederveen, J. P., Snijders, T., Bell, K. E., Kumbhare, D., Phillips, S. M., Parise, G., & Heisz, J. J. (2019). Exercise training impacts skeletal muscle gene expression related to the kynurenine pathway. *Am J Physiol Cell Physiol*, 316(3), C444-C448. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00448.2018>
- Bompa, T. O., Cornacchia, L. J., & Tous Fajardo, J. (2014). *Musculación : entrenamiento avanzado : periodización para conseguir fuerza y masa muscular, programas, rutinas y dietas* (7^{u00AA} ed.). Hispano Europea.
- Burd, N. A., Andrews, R. J., West, D. W., Little, J. P., Cochran, A. J., Hector, A. J., Cashaback, J. G., Gibala, M. J., Potvin, J. R., Baker, S. K., & Phillips, S. M. (2012). Muscle time under tension during resistance exercise stimulates differential muscle protein sub-fractional synthetic responses in men. *J Physiol*, 590(2), 351-362. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.221200>
- Charifi, N., Kadi, F., Feasson, L., & Denis, C. (2003). Effects of endurance training on satellite cell frequency in skeletal muscle of old men. *Muscle Nerve*, 28(1), 87-92. <https://doi.org/10.1002/mus.10394>
- Clark, B. C., Collier, S. R., Manini, T. M., & Ploutz-Snyder, L. L. (2005). Sex differences in muscle fatigability and activation patterns of the human quadriceps femoris. *Eur J Appl Physiol*, 94(1-2), 196-206. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1293-0>
- Cometti, G., & Pombo Fernández, M. (2012). *Los métodos modernos de musculación* (4a ed.). Paidotribo.
- Cometti, G., & ProQuest. (2017). *Los métodos modernos de musculación*. Paidotribo México.
- Consitt, L. A., Copeland, J. L., & Tremblay, M. S. (2002). Endogenous anabolic hormone responses to endurance versus resistance exercise and training in women. *Sports Med*, 32(1), 1-22. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232010-00001>
- Cross, M. R., Tinwala, F., Lenetsky, S., Samozino, P., Brughelli, M., & Morin, J. B. (2017). Determining friction and effective loading for sled sprinting. *J Sports Sci*, 35(22), 2198-2203. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1261178>
- Damas, F., Angleri, V., Phillips, S. M., Witard, O. C., Ugrinowitsch, C., Santaniello, N., Soligon, S. D., Costa, L. A. R., Lixandrao, M. E., Conceicao, M. S., & Libardi, C. A. (2019). Myofibrillar protein synthesis and muscle hypertrophy individualized responses to systematically changing resistance training variables in trained young men. *J Appl Physiol (1985)*, 127(3), 806-815. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00350.2019>
- Evans, W. J. (2002). Effects of exercise on senescent muscle. *Clin Orthop Relat Res*(403 Suppl), S211-220. <https://doi.org/10.1097/00003086-200210001-00025>
- Evans, W. J. (2002). Effects of exercise on senescent muscle. *Clin Orthop Relat Res*(403 Suppl), S211-220. <https://doi.org/10.1097/00003086-200210001-00025>
- Faigenbaum, A. D., Kraemer, W. J., Blimkie, C. J., Jeffreys, I., Micheli, L. J., Nitka, M., & Rowland, T. W. (2009). Youth resistance training: updated position statement paper from the national

strength and conditioning association. *J Strength Cond Res*, 23(5 Suppl), S60-79. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31819df407>

Forteza de la Rosa, A. (1997). *Entrenar para ganar*. Pila Teleña.

Gehlert, S., Suhr, F., Gutsche, K., Willkomm, L., Kern, J., Jacko, D., Knicker, A., Schiffer, T., Wackerhage, H., & Bloch, W. (2015). High force development augments skeletal muscle signalling in resistance exercise modes equalized for time under tension. *Pflugers Arch*, 467(6), 1343-1356. <https://doi.org/10.1007/s00424-014-1579-y>

Gentil, P., Oliveira, E., & Bottaro, M. (2006). Time under tension and blood lactate response during four different resistance training methods. *J Physiol Anthropol*, 25(5), 339-344. <https://doi.org/10.2114/jpa2.25.339>

Goldspink, G. (2002). Gene expression in skeletal muscle. *Biochem Soc Trans*, 30(2), 285-290. <https://doi.org/10.1042/>

González Badillo, J. J., & Ribas Serna, J. (2002). *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza*. INDE.

Gutiérrez Dávila, M. *Fundamentos de biomecánica deportiva*.

Haff, G. G., Triplett, N. T., & ProQuest. (2017). *Principios del entrenamiento de la fuerza y del acondicionamiento físico*, NSCA. Editorial Paidotribo México.

Hakkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., Mikkola, J., Hakkinen, A., Valkeinen, H., Kaarakainen, E., Romu, S., Erola, V., Ahtiainen, J., & Paavolainen, L. (2003). Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *Eur J Appl Physiol*, 89(1), 42-52. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0751-9>

Hornberger, T. A., & Chien, S. (2006). Mechanical stimuli and nutrients regulate rapamycin-sensitive signaling through distinct mechanisms in skeletal muscle. *J Cell Biochem*, 97(6), 1207-1216. <https://doi.org/10.1002/jcb.20671>

Izquierdo, M., Hakkinen, K., Gonzalez-Badillo, J. J., Ibanez, J., & Gorostiaga, E. M. (2002). Effects of long-term training specificity on maximal strength and power of the upper and lower extremities in athletes from different sports. *Eur J Appl Physiol*, 87(3), 264-271. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0628-y>

Izquierdo, M., Ibanez, J., Gonzalez-Badillo, J. J., & Gorostiaga, E. M. (2002). Effects of creatine supplementation on muscle power, endurance, and sprint performance. *Med Sci Sports Exerc*, 34(2), 332-343. <https://doi.org/10.1097/00005768-200202000-00023>

Jakubowski, J. S., Wong, E. P. T., Nunes, E. A., Noguchi, K. S., Vandeweerd, J. K., Murphy, K. T., Morton, R. W., McGlory, C., & Phillips, S. M. (2019). Equivalent Hypertrophy and Strength Gains in beta-Hydroxy-beta-Methylbutyrate- or Leucine-supplemented Men. *Med Sci Sports Exerc*, 51(1), 65-74. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001752>

- Jones, D. A., & Rutherford, O. M. (1987). Human muscle strength training: the effects of three different regimens and the nature of the resultant changes. *J Physiol*, 391, 1-11. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1987.sp016721>
- Kadi, F., Schjerling, P., Andersen, L. L., Charifi, N., Madsen, J. L., Christensen, L. R., & Andersen, J. L. (2004). The effects of heavy resistance training and detraining on satellite cells in human skeletal muscles. *J Physiol*, 558(Pt 3), 1005-1012. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2004.065904>
- Kemmler, W., von Stengel, S., Weineck, J., Lauber, D., Kalender, W., & Engelke, K. (2005). Exercise effects on menopausal risk factors of early postmenopausal women: 3-yr Erlangen fitness osteoporosis prevention study results. *Med Sci Sports Exerc*, 37(2), 194-203. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000152678.20239.76>
- Kramer, H. F., & Goodyear, L. J. (2007). Exercise, MAPK, and NF-kappaB signaling in skeletal muscle. *J Appl Physiol* (1985), 103(1), 388-395. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00085.2007>
- Krzysztofik M, Wilk M, Wojdała G, Gołaś A. (2019). Maximizing Muscle Hypertrophy: A Systematic Review of Advanced Resistance Training Techniques and Methods. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16 (24):4897.
- Lacerda, L. T., Martins-Costa, H. C., Diniz, R. C., Lima, F. V., Andrade, A. G., Tourino, F. D., Bembem, M. G., & Chagas, M. H. (2016). Variations in Repetition Duration and Repetition Numbers Influence Muscular Activation and Blood Lactate Response in Protocols Equalized by Time Under Tension. *J Strength Cond Res*, 30(1), 251-258. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001044>
- Madsen K.L., Adams W.C. y Van Loan M.D.: "Effects on physical activity, body weight and composition, and muscular strength on bone density in young women", *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol 30, Nº 1, 114-120, 1998
- Marchante, D. (2015). *Powerexplosive : Entrenamiento eficiente : explota tus límites*. Luho.
- Matias, C. N., Campa, F., Nunes, C. L., Francisco, R., Jesus, F., Cardoso, M., Valamatos, M. J., Homens, P. M., Sardinha, L. B., Martins, P., Minderico, C., & Silva, A. M. (2021). Phase Angle Is a Marker of Muscle Quantity and Strength in Overweight/Obese Former Athletes. *Int J Environ Res Public Health*, 18(12). <https://doi.org/10.3390/ijerph18126649>
- McHugh, M. P., Connolly, D. A., Eston, R. G., & Gleim, G. W. (2000). Electromyographic analysis of exercise resulting in symptoms of muscle damage. *J Sports Sci*, 18(3), 163-172. <https://doi.org/10.1080/026404100365063>
- McKay, B. R., O'Reilly, C. E., Phillips, S. M., Tarnopolsky, M. A., & Parise, G. (2008). Co-expression of IGF-1 family members with myogenic regulatory factors following acute damaging muscle-lengthening contractions in humans. *J Physiol*, 586(22), 5549-5560. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2008.160176>

- Moritani, T., & deVries, H. A. (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med*, 58(3), 115-130. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/453338>
- Nakamura, Y., Aizawa, K., Imai, T., Kono, I., & Mesaki, N. (2011). Hormonal responses to resistance exercise during different menstrual cycle states. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(6), 967-973.
- Nardone, A., Romano, C., & Schieppati, M. (1989). Selective recruitment of high-threshold human motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles. *J Physiol*, 409, 451-471. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1989.sp017507>
- Nogueira, W., Gentil, P., Mello, S. N., Oliveira, R. J., Bezerra, A. J., & Bottaro, M. (2009). Effects of power training on muscle thickness of older men. *Int J Sports Med*, 30(3), 200-204. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1104584>
- Penati, R., Schieppati, M., & Nardone, A. (2020). Cognitive performance during gait is worsened by overground but enhanced by treadmill walking. *Gait Posture*, 76, 182-187. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.12.006>
- Popov, D. V., Tsvirkun, D. V., Natreba, A. I., Tarasova, O. S., Prostova, A. B., Larina, I. M., Borovik, A. S., & Vinogradova, O. L. (2006). [Hormonal adaptation determines the increase in muscle mass and strength during low-intensity strength training without relaxation]. *Fiziol Cheloveka*, 32(5), 121-127. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17100349>
- Ropelle, E. R., Fernandes, M. F., Flores, M. B., Ueno, M., Rocco, S., Marin, R., Cintra, D. E., Velloso, L. A., Franchini, K. G., Saad, M. J., & Carvalheira, J. B. (2008). Central exercise action increases the AMPK and mTOR response to leptin. *PLoS One*, 3(12), e3856. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003856>
- Sanchez-Medina, L., Perez, C. E., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2010). Importance of the propulsive phase in strength assessment. *Int J Sports Med*, 31(2), 123-129. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1242815>
- Sandri, M. (2008). Signaling in muscle atrophy and hypertrophy. *Physiology (Bethesda)*, 23, 160-170. <https://doi.org/10.1152/physiol.00041.2007>
- Sandri, M., & Gielen, S. (2008). Comments on point: counterpoint: exercise training does/does not induce vascular adaptations beyond the active muscle beds. *J Appl Physiol (1985)*, 105(3), 1008. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.zdg-8158.pcpcomm.2008>
- Schieppati, M., Di Francesco, G., & Nardone, A. (1989). Patterns of activity of perioral facial muscles during mastication in man. *Exp Brain Res*, 77(1), 103-112. <https://doi.org/10.1007/BF00250572>
- Schoenfeld, B. (2016). *Science and development of muscle hypertrophy*. Human Kinetics.
- Schoenfeld, B. (2016). *Strong & sculpted*. Human Kinetics.
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D. I., & Krieger, J. W. (2015). Effect of repetition duration during resistance training on muscle hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, 45(4), 577-585. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0304-0>

- Schoenfeld, B. J., Peterson, M. D., Ogborn, D., Contreras, B., & Sonmez, G. T. (2015). Effects of Low- vs. High-Load Resistance Training on Muscle Strength and Hypertrophy in Well-Trained Men. *J Strength Cond Res*, 29(10), 2954-2963. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000958>
- Shinohara, M., Kouzaki, M., Yoshihisa, T., & Fukunaga, T. (1998). Efficacy of tourniquet ischemia for strength training with low resistance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 77(1-2), 189-191. <https://doi.org/10.1007/s004210050319>
- Siff, M. C., & Verkhoshansky, Y. *Superentrenamiento* (2ª edición ed.). Accés restringit als usuaris de la URL <https://ebookcentral.proquest.com/lib/blanquerna-ebooks/reader.action?docID=4909882>
- Siff, M. C., Verkhoshansky, Y., & González del Campo Román, P. (2009). *Superentrenamiento* (2a. edición revisada y ampliada. ed.). Editorial Paidotribo. https://librarysearch.cardiff.ac.uk/openurl/44WHELFCAR/44WHELFCAR:44WHELFCAR_VU1? ?u.ignore_date_coverage=true&rft.mms_id=9911769998402420
- Siff, M. C., Verkhoshansky, Y., & González del Campo Román, P. (2009). *Superentrenamiento* (2a. edición revisada y ampliada. ed.). Editorial Paidotribo. https://librarysearch.cardiff.ac.uk/openurl/44WHELFCAR/44WHELFCAR:44WHELFCAR_VU1? ?u.ignore_date_coverage=true&rft.mms_id=9911769998402420
- Stengel, S. V., Kemmler, W., Pintag, R., Beeskow, C., Weineck, J., Lauber, D., Kalender, W. A., & Engelke, K. (2005). Power training is more effective than strength training for maintaining bone mineral density in postmenopausal women. *J Appl Physiol* (1985), 99(1), 181-188. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01260.2004>
- Selberg, O., & Selberg, D. (2002). Norms and correlates of bioimpedance phase angle in healthy human subjects, hospitalized patients, and patients with liver cirrhosis. *European journal of applied physiology*, 86(6), 509-516.
- Stratton, G., Jones, M., Fox, K. R., Tolfrey, K., Harris, J., Maffulli, N., Lee, M., Frostick, S. P., & Group, R. (2004). BASES position statement on guidelines for resistance exercise in young people. *J Sports Sci*, 22(4), 383-390. <https://doi.org/10.1080/02640410310001641629>
- Stratton, M. S., Yang, X., Sreejayan, N., & Ren, J. (2007). Impact of insulin-like growth factor-I on migration, proliferation and Akt-ERK signaling in early and late-passages of vascular smooth muscle cells. *Cardiovasc Toxicol*, 7(4), 273-281. <https://doi.org/10.1007/s12012-007-9006-7>
- Takarada, Y., & Nozaki, D. (2021). Shouting strengthens maximal voluntary force and is associated with augmented pupillary dilation. *Sci Rep*, 11(1), 18419. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97949-2>
- Takarada, Y., Nakamura, Y., Aruga, S., Onda, T., Miyazaki, S., & Ishii, N. (2000). Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *J Appl Physiol* (1985), 88(1), 61-65. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.1.61>

- Tanimoto, M., & Ishii, N. (2006). Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. *J Appl Physiol (1985)*, 100(4), 1150-1157. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00741.2005>
- Tesch, P. A., & Larsson, L. (1982). Muscle hypertrophy in bodybuilders. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 49(3), 301-306. <https://doi.org/10.1007/BF00441291>
- Thomas, G., & Hall, M. N. (1997). TOR signalling and control of cell growth. *Curr Opin Cell Biol*, 9(6), 782-787. [https://doi.org/10.1016/s0955-0674\(97\)80078-6](https://doi.org/10.1016/s0955-0674(97)80078-6)
- Timmons, J. A. (2011). Variability in training-induced skeletal muscle adaptation. *J Appl Physiol (1985)*, 110(3), 846-853. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00934.2010>
- Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2018). *Principios de anatomía y fisiología, 15 edición*. Médica Panamericana.
- Tous Fajardo, J. (1999). *Nuevas tendencias en fuerza y musculación*. Julio Tous Fajardo.
- Toigo, M., & Boutellier, U. (2006). New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *Eur J Appl Physiol*, 97(6), 643-663. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0238-1>
- Van Etten L.M.L.A., K.R. Westerterp, F.T.J. Verstappen, B.J.B. Boon y W.H. M. Saris: “Effect of on 18-wk weight training program on energy expenditure and physical activity”, *J. Appl. Physiol., Metabolism* 82 (1): 298-304, January, 1997.
- Velloso, C. P. (2008). Regulation of muscle mass by growth hormone and IGF-I. *Br J Pharmacol*, 154(3), 557-568. <https://doi.org/10.1038/bjp.2008.153>
- Velloso, C. P. (2008). Regulation of muscle mass by growth hormone and IGF-I. *Br J Pharmacol*, 154(3), 557-568. <https://doi.org/10.1038/bjp.2008.153>
- Verkhoshansky, Y. (1999). *Todo sobre el método pliométrico : medios y métodos para el entrenamiento y la mejora de la fuerza explosiva*. Paidotribo.
- Verkhoshansky, Y., & Dols, G. *Teoría y metodología del entrenamiento deportivo*.
- Verkhoshansky, Y., & Verkhoshansky, N. (2011). *Special strength training manual for coaches*. Verkhoshansky SSTM.
- Verkhoshansky, Y., & Verkhoshansky, N. (2011). *Special strength training manual for coaches*. Verkhoshansky SSTM.
- Waldron, M., Whelan, K., Jeffries, O., Burt, D., Howe, L., & Patterson, S. D. (2017). The effects of acute branched-chain amino acid supplementation on recovery from a single bout of hypertrophy exercise in resistance-trained athletes. *Appl Physiol Nutr Metab*, 42(6), 630-636. <https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0569>
- Weineck, J. (2005). *Entrenamiento total*. Paidotribo.

- Weyand, P. G., Sandell, R. F., Prime, D. N., & Bundle, M. W. (2010). The biological limits to running speed are imposed from the ground up. *J Appl Physiol* (1985), 108(4), 950-961. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00947.2009>
- Wilk, M., Krzysztofik, M., Maszczyk, A., Chycki, J., & Zajac, A. (2019). The acute effects of caffeine intake on time under tension and power generated during the bench press movement. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), 8.
- Zatsiorskii, V. M., & Prilutskii, B. I. (1989). [A model for determination of muscle forces in a given movement of man]. *Biofizika*, 34(6), 1036-1040. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2631956> (Model' dlia opredeleniia myshechnykh sil v zadannom dvizhenii cheloveka.)

14. ANEXOS.



Calibrado transductor posicional GymAware



Etapa de intervención, ejercicio pres banca plano con barra, fotografía tomada en gimnasio “éxodo”



Captura de datos, software GymAware, fotografía tomada en el Laboratorio de Fisiología Aplicada al Ejercicio Físico de la Facultad de Deportes, UABC Valle Dorado



*Etapa de intervención,
ejercicio remo con mancuernas apoyado en banca a 45 grados, fotografía tomada en gimnasio
Éxodo*



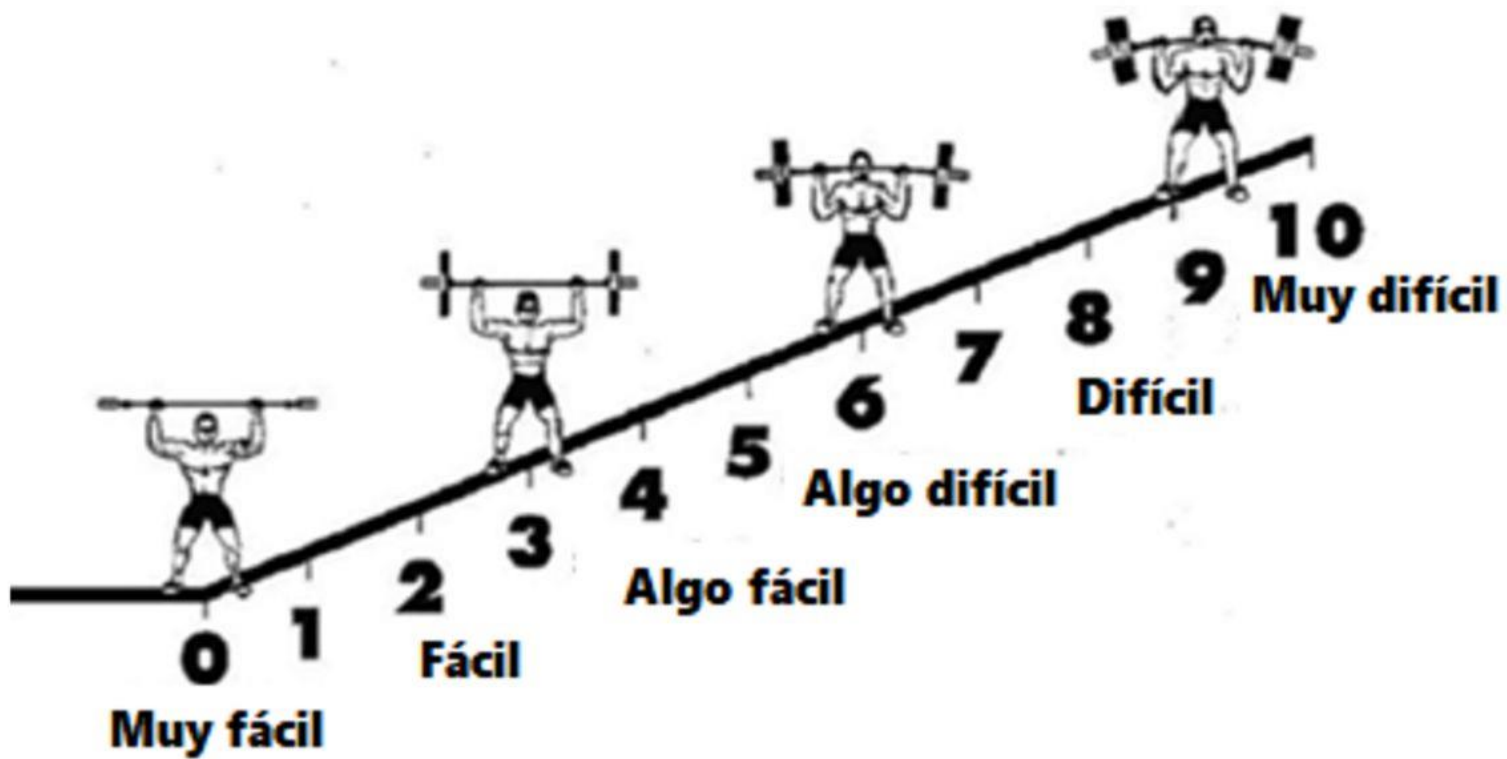
*Etapa de intervención, ejercicio press con mancuernas a 45 grados, fotografía tomada en gimnasio
Éxodo*



Etapa de intervención, ejercicio pres banca plano con barra, fotografía tomada en gimnasio Éxodo



Evaluación de press de pecho , captura de datos con dispositivo GymAware, fotografía tomada en sala de musculación, Gimnasio UABC Valle Dorado



Escala de percepción del esfuerzo de Borg



Software GymAware, análisis de datos, participantes