

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE DEPORTES
“CAMPUS MEXICALI”



“Caracterización de la Fatiga en protocolo de Series Ondulantes vs Series Cluster”

Tesis para obtener el Grado de:
LICENCIADO EN ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE

PRESENTA

JESUS MANUEL CAMPOS GALINDO

DIRECTORA

DRA. TATIANA ROMERO GARCÍA

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MARZO 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE DEPORTES

“CAMPUS MEXICALI”

“Caracterización de la Fatiga en protocolo de Series Ondulantes”

Tesis para obtener el Grado de:

LICENCIADO EN ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE

PRESENTA

JESUS MANUEL CAMPOS GALINDO

Comité de Tesis

Dra. Tatiana Romero García
Presidente

MC. Juan Carlos Borbón Román
Sinodal

MEFyDE. Cristhian Emmanuel López Campos
Sinodal

Dr. José Gustavo Vázquez Jiménez
Sinodal

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MARZO 2025

Copyright © 2025

Jesús Manuel Campos Galindo

Derechos Reservados

AGRADECIMIENTOS

Al concluir esta etapa de mi vida, quiero dar especial agradecimiento a todas las personas que formaron parte de mi formación académica y profesional, como lo son profesores, compañeros y directivos, que con su apoyo he logrado pasar cada etapa de mi vida universitaria.

Quiero agradecer especialmente a aquellos profesores y compañeros que me apoyaron en este proyecto de tesis, ya que con su ayuda he podido experimentar de manera más cercana todo el proceso y trabajo que conlleva un proyecto de investigación, es por ello que quiero dar gracias al Maestro Carlos Borbón Román quien ha sido un guía y apoyo en lo que refiere a la aplicación de evaluaciones de rendimiento, a la Dra. Mirvana González que me brindó el espacio para poder llevar a cabo las evaluaciones del proyecto y que a su vez me ha apoyado durante toda mi etapa universitaria, a mis compañeros Cristian García, Ángel Kuljacha Morales, Anna Sandoval, Jesus Lugo, que fueron partícipes y me apoyaron para poder realizar la parte experimental del proyecto, y por último una mención especial para la Doctora Tatiana Romero quien además de ser mi directora de tesis, me ha apoyado y enseñado acerca del mundo de la investigación, además de ser un apoyo en cada momento de mi vida profesional.

DEDICATORIAS

A mi madre que ha sido un pilar fundamental en mi familia.

A mi abuela y mi madrina que me han apoyado siempre para que pueda seguir estudiando y formándome profesionalmente.

A mis amigos que han dado alegría y han hecho más llevadero el proceso.

A Dios que siempre ha estado conmigo.

**El presente estudio se llevó a cabo en la Facultad de Deportes, Campus Mexicali,
Baja California, bajo la dirección de la Dra. Tatiana Romero García, profesora
Investigadora de Tiempo Completo.**

ÍNDICE

Agradecimientos	4
Dedicatoria.....	5
Índice de Figuras.....	9
Abreviaturas.....	10
Resumen	
AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ABREVIATURAS	10
1. MARCO TEÓRICO.....	12
1.1 Fuerza Muscular.....	12
1.1.2 Fuerza desde una perspectiva mecánica.....	12
1.1.3 Fuerza desde una perspectiva fisiológica.....	12
1.1.4 Fuerza aplicada.....	15
1.1.5 Relación fuerza-velocidad.....	15
1.2 Volumen de entrenamiento.....	17
1.3 Fatiga Muscular	17
1.4 Indicadores bioquímicos y mecánicos de la fatiga.....	17
1.4.1 Lactato.....	19
1.4.2 Pérdida de Velocidad.....	19
1.5 Series Cluster.....	20
3. OBJETIVOS.....	25
3.1 Objetivo general.....	25
3.2 Objetivo Específicos	25
4. HIPOTESIS.....	26
5. METODOLOGÍA.....	27
5.1 Participantes.....	27
5.2 Determinación de Perfil de Carga-Velocidad.....	27
5.3 Determinación de lactato en sangre.....	28

5.4 Protocolo de Series Cluster	28
5.5 Protocolo de Series Ondulantes.....	28
5.6 Análisis Estadístico	31
6. RESULTADOS	32
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS	38
8. CONCLUSIONES.....	40
10. REFERENCIAS	42
11. ANEXOS	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura del músculo esquelético.....	14
Figura 2. Relación entre %RM y VMP en Press Banca.....	16
Figura 3. Protocolos experimentales realizados en Series Tradicionales vs Serie Cluster.....	21
Figura 4. Concentración de lactato capilar basal y después (pico) de las sesiones 1, 5 y 10.	23
Figura 5. Estimación de VMP en relación a porcentaje de RM por medio de regresión lineal.....	29
Figura 6. Pérdida de velocidad dentro de una serie de sentadilla.	30
Figura 7. Protocolo adaptado de Series Cluster y Series Ondulantes.	30
Figura 8. Velocidad media propulsiva expresada en cada una de las repeticiones de los distintos protocolos.....	33
Figura 9. Velocidad Máxima expresada en cada una de las repeticiones de los distintos protocolos.....	34
Figura 10. Potencia Máxima expresada en watts (W) en cada una de las repeticiones de los distintos protocolos.	36
Figura 11. Porcentaje de pérdida de VMP en los distintos protocolos	36
Figura 12. Niveles de Lactato en sangre al inicio y final de protocolo de series Cluster vs series Ondulantes.....	37

ABREVIATURAS

RM: Repetición Máxima

VMP: Velocidad Media Propulsiva

SC: Series Cluster

SO: Series Ondulantes

UAN: Umbral Anaeróbico

ATP: Adenosin Trifosfato

C-V: Carga-Velocidad

W: Watts

RESUMEN

La fuerza es un componente esencial para el rendimiento de cualquier ser humano, hablar de esta es adentrarse en un mundo complejo de teorías, métodos y estrategias que han sido propuestos por diversos autores desde diversos enfoques.

Los estudios de correlación de la fatiga muscular mediante la medición de pérdida de velocidad y el lactato ha sido en tipo de series tradicionales, en este estudio se busca conocer el comportamiento de la fatiga en protocolos de series cluster (SC) y en una nueva propuesta de series ondulantes (SO), con la finalidad de comparar el comportamiento de la fatiga en niveles bioquímicos (lactato), mecánicos (pérdida de velocidad) y las diferencias entre dichos protocolos.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Fuerza Muscular

La fuerza es un componente esencial para el rendimiento de cualquier ser humano, dentro de la literatura científica encontramos múltiples definiciones como autores, lo que provoca gran controversia a la hora de intentar definir el concepto (Enoka, 1988).

En el entrenamiento resulta importante diferenciar qué es lo que se entiende por fuerza para poder comprender a qué nos referimos cuando hablamos de fuerza desde las diferentes directrices y cómo medirlo; desde un punto de vista mecánico y fisiológico, así como la interacción de ambas.

1.1.2 Fuerza desde una perspectiva mecánica

La fuerza muscular desde un punto de vista mecánico se centra en el impacto externo resultante de la actividad muscular, la atracción de la gravedad o la inercia del cuerpo. Por tanto, el concepto de fuerza definido en mecánica, la fuerza muscular, como causa, es la capacidad muscular de deformar un cuerpo o cambiar su aceleración: iniciar o detener el movimiento del cuerpo, aumentar o reducir su velocidad o hacerlo cambiar de dirección (González Badillo & Ribas Serna, 2002).

1.1.3 Fuerza desde una perspectiva fisiológica

Desde una perspectiva fisiológica, la fuerza se entiende como la capacidad que tienen los músculos de producir tensión. Cuando se produce tensión muscular; es un

factor interno (fuerza interna) que puede o no estar conectado a un factor externo (resistencia). Debido a la interacción entre fuerzas internas y externas surge el concepto de la fuerza aplicada (González Badillo & Ribas Serna, 2002).

De manera teórica, la fuerza interna tiene relación principalmente con diversos factores del sistema músculo esquelético como lo son: la cantidad de puentes cruzados de miosina que pueden llegar a interactuar con filamentos de actina (Goldspink & Harridge, 2002), el número de sarcómeros en paralelo, la tensión específica o fuerza que una fibra muscular puede ejercer por unidad de sección transversal (Semmler & Enoka, 2000), la longitud de la fibra muscular y el músculo, el tipo de fibra y los factores que facilitan e inhiben la activación muscular (Figura 1).

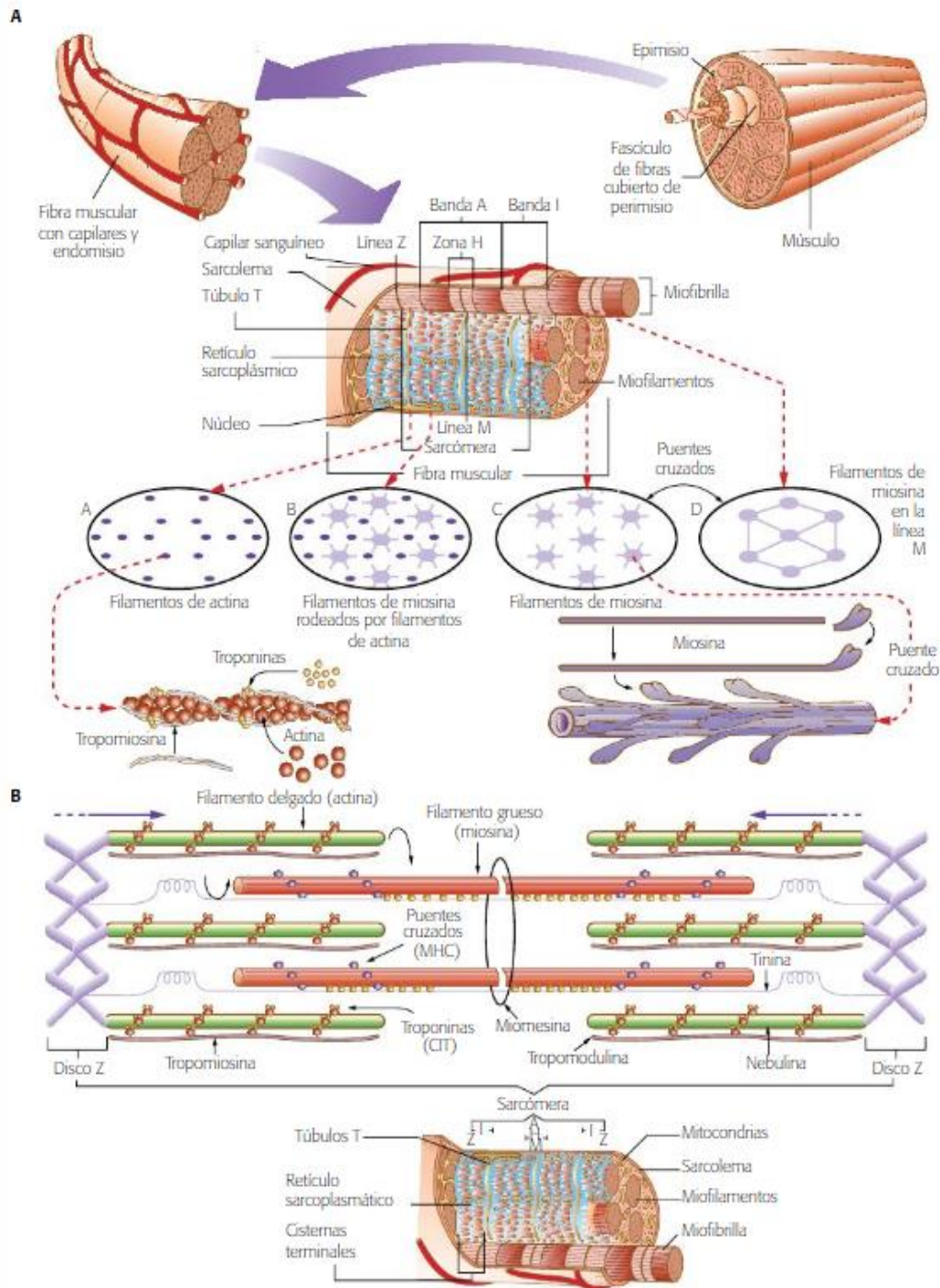


Figura 1. Estructura del músculo esquelético. A. Secciones transversales de una miofibrilla en las localizaciones que indican las flechas de trazos discontinuos y **B.** esquema de la estructura de un sarcómero y de un segmento de fibra muscular (Izquierdo, 2008).

1.1.4 Fuerza aplicada

Como resultado de la interacción entre la resistencia (fuerza externa) y la fuerza del músculo esquelético (fuerza interna), surge la fuerza aplicada. La tensión generada en el músculo esquelético no se relaciona a la magnitud de la fuerza, medida externamente (González Badillo & Ribas Serna, 2002).

1.1.5 Relación fuerza-velocidad

La relación fuerza-velocidad y potencia ha resultado fiable para describir las características del sistema neuromuscular, así como también las adaptaciones generadas después de haber realizado una programación del entrenamiento destinado a distintos objetivos (Naclerio, 2015).

La capacidad de aplicar fuerza con la máxima velocidad posible indica los niveles de potencia muscular, la cual ha sido considerada como un indicador clave de la intensidad de esfuerzos físicos, una misma resistencia desplazada a mayor velocidad es indicativo de una mayor aplicación de fuerza, o también, una misma velocidad aplicada a una resistencia superior es indicativo de una mayor aplicación de fuerza.

El entrenamiento basado en la velocidad ha sido propuesto como un método para llevar un control de las variables del entrenamiento y a su vez monitorear el rendimiento expresado en la sesión de manera precisa y objetiva superando a los métodos tradicionales (Mann et al., 2021; Weakley et al., 2021).

En un estudio realizado por González Badillo y colaboradores (2010), se analizó la relación entre la velocidad de ejecución y el porcentaje de la repetición máxima (RM)

en el ejercicio press de banca. Se realizaron dos pruebas, en la primera prueba participaron 120 hombres entrenados en fuerza donde realizaron cargas crecientes para la determinación del perfil de velocidad en carga máxima (1RM) y carga completa. Posteriormente, en la segunda prueba 56 hombres participaron después de 6 semanas de entrenamiento. Como se observa en la Figura 2, se encontró una relación muy estrecha entre la velocidad de propulsión media (VMP) y la carga (% 1RM) (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010).

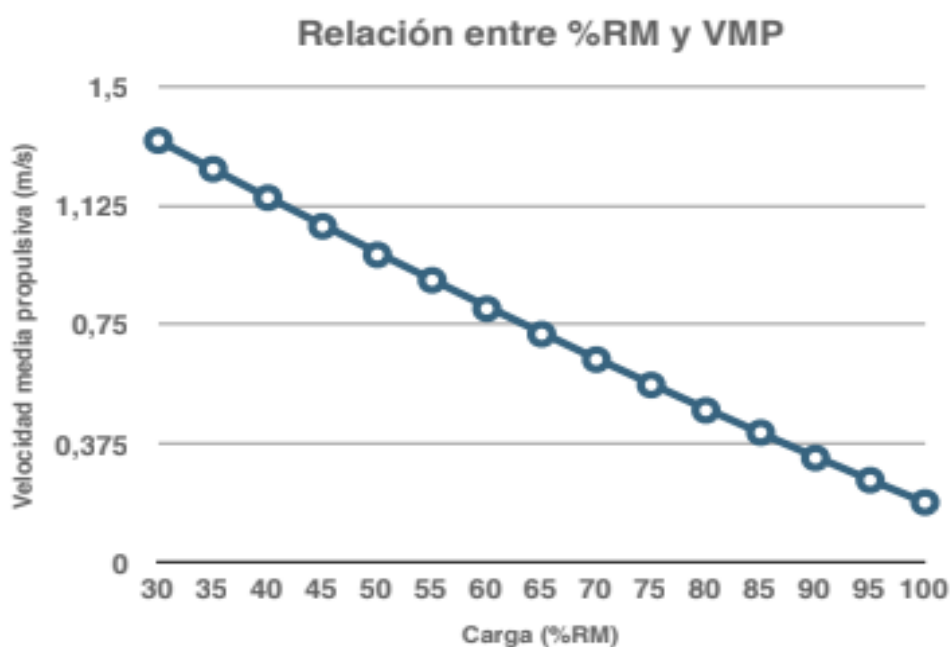


Figura 2. Relación entre %RM y VMP en Press Banca. (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010).

1.2 Volumen de entrenamiento

De acuerdo a García Manso y colaboradores, el volumen de entrenamiento hace referencia a la medida cuantitativa global de la carga de entrenamiento de diferente orientación funcional que se desarrolla en una sesión, microciclo, mesociclo o macrociclo (García Manso et al., 1996), es decir, todo componente de la carga que modifique o altere los valores de la carga de entrenamiento, ya sea mediante la carga externa; carga física realizada, o por medio de la carga interna; medido como el efecto que causa en el organismo dado por la carga externa, son componentes que modifican los valores de volumen total de entrenamiento.

1.3 Fatiga Muscular

La fatiga se entiende como una incapacidad temporal para generar fuerza, esta se asocia con una ineficiencia de las de las contracciones (Grassi et al., 2015) y es el resultado de la aplicación continua de una carga de entrenamiento acumulada, que se asocia y se considera necesaria como parte del proceso de entrenamiento. Gómez-Campos y colaboradores mencionan que la fatiga muscular hace referencia al descenso del rendimiento o capacidad para ejercer fuerza por parte del tejido por causa multifactorial. Es decir, la fatiga muscular aguda se puede definir como esa pérdida de capacidad para ejercer la misma fuerza por factores neurales y metabólicos dentro de la misma sesión, ejercicio y/o serie (Gómez-Campos et al., 2010).

1.4 Indicadores bioquímicos y mecánicos de la fatiga

En el entrenamiento deportivo, es de suma importancia determinar las limitaciones de rendimiento que tiene el cuerpo humano para tomar decisiones a la hora de prescribir

el entrenamiento. Las ciencias del deporte han sido de gran importancia para entender y determinar con mayor precisión las respuestas fisiológicas del cuerpo ante diversas situaciones.

Los umbrales de esfuerzo nos permiten distinguir en entre diferentes etapas del metabolismo, después de un entrenamiento intenso existen variaciones en los niveles de diversos metabolitos, tales como la concentración de lactato en sangre (Barrios Otero & Gómez Sandoval, 2020).

Uno de estos umbrales de esfuerzo es el umbral anaeróbico (UAN) , en el que los niveles de lactato producidos por el músculo esquelético rebasan su capacidad sistémica, esto ocasiona que los niveles de lactato en sangre se eleven de manera exponencial ante un entrenamiento intenso (Binder et al., 2008).

Al realizarse una actividad la cual este por debajo de los niveles del UAN, el lactato en sangre es fácilmente removible, gracias al oxígeno que captan los pulmones, por el contrario, cuando se realiza alguna actividad física intensa por tiempo prolongado que se encuentre por encima del UAN, el oxígeno ya no logra abastecer por completo, en este punto el lactato en sangre se acumula al no poder ser removido en su totalidad, como consecuencia habrá presencia de fatiga y una caída del rendimiento.

La aparición temprana o tardía del UAN es multifactorial, algunos de los factores que pueden determinarlo son la masa muscular activa, la composición miotipológica, la situación de entrenamiento del sujeto, la relación que tenga el sujeto con el tipo de entrenamiento, el estado metabólico del sujeto, eco factores y la presencia o ausencia

de trastornos cardiorrespiratorios (Barrios Otero & Gómez Sandoval, 2020; Fernández Rodríguez et al., 2019).

1.4.1 Lactato

A medida que aumentan las investigaciones y el conocimiento acerca de su comportamiento bioquímico, fisiológico, metabólico y fisiopatológico, se ha mostrado un aumento en la importancia del rol biológico del lactato (Vélez-Páez et al., 2021). Durante el ejercicio intenso el metabolismo se activa rápidamente, provocando niveles altos de producción de fosfatos de alta energía, que son necesarios para mantener la contracción máxima. Los iones lactato e hidrogeniones se producen durante la formación de ATP durante el ejercicio, lo que reduce el pH de la célula activa. El aumento de los niveles de lactato se correlaciona con la reducción de fuerza (Carlos Giraldo & Elena Sánchez, 1998).

Una muestra de correlación entre los niveles de lactato y la pérdida de rendimiento es lo mostrado por Sánchez Medina y González Badillo, donde encontraron una correlación muy alta entre los niveles de lactato y la pérdida de velocidad ($r > 0.90$), demostrando que a mayor pérdida de velocidad dentro de la serie, mayor era la concentración de lactato en sangre (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011).

1.4.2 Pérdida de Velocidad

En un estudio de Sánchez-Medina y González-Badillo (2011) examinaron la relación entre los niveles de lactato en sangre y la pérdida de velocidad post-ejercicio. Se monitoreó la pérdida de VMP dentro de las series en press banca y sentadilla con diferentes cargas: de 6(12) a 4(4). Es decir, se realizaron distintos protocolos de series

que iban desde la mitad de las repeticiones posibles hasta el 100% de las repeticiones posibles, es decir al fallo. Posteriormente, se midieron los niveles de lactato después de cada tipo de esfuerzo, y se encontraron correlaciones muy altas($r>0.90$) entre el nivel de pérdida de velocidad dentro de la serie y la concentración de lactato. Demostrando que, a mayor pérdida de velocidad dentro de una serie en press de banca o sentadilla se produce una mayor concentración de lactato (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011).

1.5 Series Cluster

Las series cluster se pueden utilizar como un tipo útil de entrenamiento de fuerza. Estas series se caracterizan por la introducción de cortos periodos de descanso entre repeticiones o series de repeticiones. Estas variaciones ayudan a mejorar la condición física y el rendimiento del deportista, creando así nuevas adaptaciones fisiológicas. En este sentido se ha demostrado que Incluir periodos cortos de descanso dentro de la misma serie permite almacenar energía que luego se utilizará para mantener el rendimiento en el ejercicio (Vallejo-Amengual, 2023). En otras palabras, agregar períodos de descanso cortos intra series mientras se mantienen períodos de descanso normales entre series proporciona una manera de maximizar el rendimiento de repeticiones individuales evitando maximizar la fatiga acumulada en comparación de una serie tradicional que no incluye descansos dentro de la serie. La figura 3 presenta un ejemplo de la diferencia en la configuración de las series tradicionales y las series cluster.

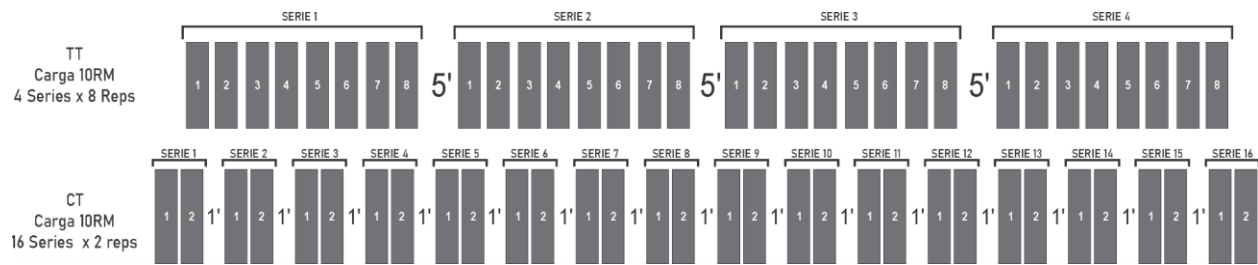


Figura 3. Protocolos experimentales realizados en Series Tradicionales vs Serie Cluster.

TT: Entrenamiento tradicional. CT: Entrenamiento Cluster (modificado de Rial-Vázquez et al., 2022).

Un ejemplo de ello es un estudio realizado por Girman y colaboradores en 2014, donde se evaluaron a 11 hombres entrenados en fuerza que completaron pruebas de tirón limpio, sentadilla trasera y press de banca. Se compararon los efectos agudos de una serie tradicional y protocolos de series cluster de ejercicio de resistencia sobre la hormona de crecimiento sérica, el cortisol y el lactato sanguíneo. Los metabolitos mencionados se midieron antes del ejercicio, a mitad del ejercicio, después de completar el protocolo e inmediatamente 15 y 30 minutos después del ejercicio. Los resultados mostraron una diferencia significativa en el lactato sanguíneo medio el cual era mayor en las series cluster respecto a las series tradicionales (Girman et al., 2014).

En otro estudio, se examinaron los cambios en la relación fuerza-velocidad en respuesta a programas de entrenamiento de 5 semanas que difieren en la configuración de series. Para cada sesión, el grupo de series tradicional realizó 4 series de 8 repeticiones con 5 min de descanso entre series y ejercicios, mientras que el grupo de series cluster completó 16 series de 2 repeticiones con 1 min de descanso entre series y 5 min entre ejercicios para igualar el volumen entre grupos. Ambos programas se

realizaron con una carga que suponía su 10 RM, en ejercicios de press de banca, sentadilla paralela, jalones laterales y curl de piernas. Se obtuvieron perfiles individuales de fuerza-velocidad para press de banca y sentadilla utilizando un transductor de velocidad lineal antes y después de la intervención, junto con el lactato y el rendimiento mecánico durante la intervención. Los resultados mostraron en el press de banca cambios similares en el perfil fuerza-velocidad después de ambos protocolos, sin cambio de pendiente y mayores valores de intersección del eje de fuerza y velocidad. Para la sentadilla, se observaron cambios significativos en la pendiente y la intercepción de la velocidad hacia un perfil de velocidad después del entrenamiento de tipo cluster, pero no después del entrenamiento tradicional. La medición de la concentración de lactato en sangre capilar se realizó al inicio y después de 1 y 3 minutos de las sesiones 1,5 y 10. El análisis de la concentración de lactato mostró una interacción tiempo x grupo con valores máximos más altos después del entrenamiento tradicional en comparación con el entrenamiento cluster (Figura 4), demostrando así los beneficios de realizar series cluster en comparación de las series tradicionales a paridad de volumen cuando se busca mantener bajos los niveles de lactato en la prescripción del entrenamiento (Rial-Vázquez et al., 2022).

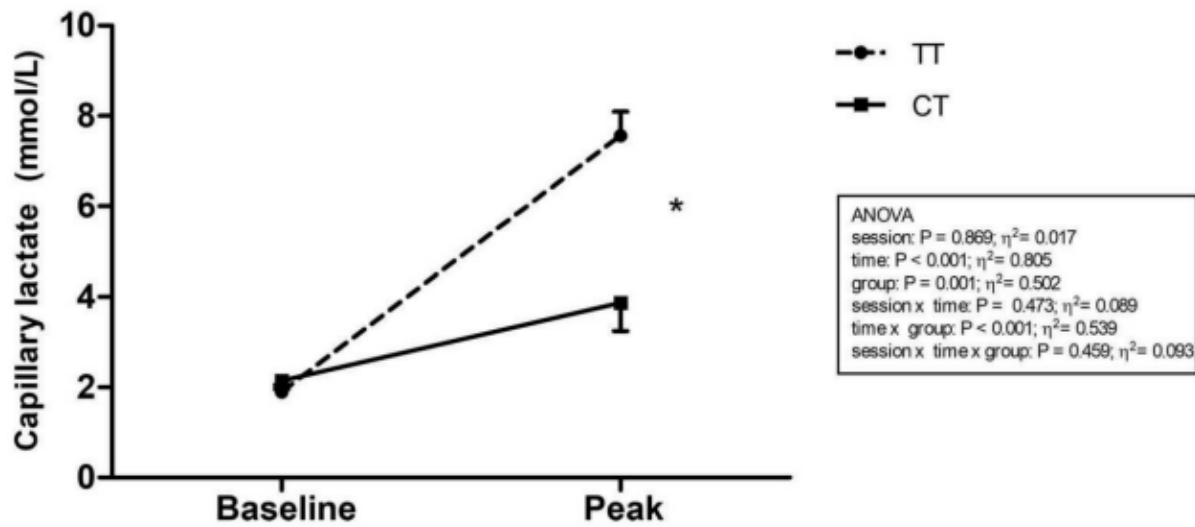


Figura 4. Concentración de lactato capilar basal y después (pico) de las sesiones 1, 5 y 10. Los puntos representan las medias marginales estimadas (medias agrupadas para las sesiones 1, 5 y 10) y las barras el error estándar correspondientes. TT: Grupo de entrenamiento tradicional. CT: Grupo de formación del cluster. *: Diferencias significativas entre grupos para los valores máximos después de las sesiones ($P \leq 0,05$) (Rial-Vázquez et al., 2022).

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los principales problemas al trabajar con intensidades medias-altas en el entrenamiento de fuerza, es la fatiga aguda que se genera dentro de una serie. Por ello se implementaron las series cluster, como un mecanismo para lograr acumular más volumen de entrenamiento dentro de una misma sesión, ya que con este esquema se lograba disipar un poco la fatiga generada entre cada agrupación de repeticiones dentro de una misma serie. El inconveniente de la aplicación de las series cluster, es que, aunque logra añadir más volumen de entrenamiento, no se consigue entrenar la resistencia a la fuerza al nivel necesario para lograr mejorar la tolerancia a los metabolitos acumulados (como lo es el lactato) dentro de una serie cercana al fallo. La alternativa que se propone es una ondulación en series buscando utilizar las series intermedias como una estrategia para disipar la fatiga mientras se sigue acumulando volumen de trabajo y se favorece la tolerancia al estrés metabólico generado con las series llevadas cerca del fallo muscular o al fallo, con un porcentaje de la carga mayor a lo que se podría realizar en ese mismo número de repeticiones.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar la fatiga muscular aguda mediante la pérdida de velocidad y los niveles de lactato en sangre en protocolos de series ondulantes de un ejercicio de fuerza.

3.2 Objetivo Específicos

1. Diseñar un protocolo de entrenamiento de series ondulantes utilizando el ejercicio de peso muerto.
2. Implementar el protocolo de entrenamiento de series ondulantes utilizando el ejercicio de peso muerto.
3. Determinar la fatiga muscular a través de la medición de los niveles de lactato al inicio y al final del protocolo de series.
4. Determinar la fatiga mediante la pérdida de velocidad antes y después de cada serie.
5. Comparar el comportamiento de la fatiga muscular tras el entrenamiento de series ondulantes y de series cluster de peso muerto.

4. HIPOTESIS

Las series ondulantes producen mayores picos de fatiga respecto a las series cluster, logrando disiparla en las series más cortas y manteniendo un rendimiento similar al alcanzado con las series cluster.

5. METODOLOGÍA

5.1 Participantes

Se determinaron los niveles de fatiga muscular tras un protocolo de series ondulantes y cluster en peso muerto mediante la determinación de los niveles de lactato en sangre y velocidad de ejecución en 10 sujetos (Hombres) de 25+/-4 años de edad. Previo a la aplicación del protocolo, los participantes firmaron una carta de consentimiento y completaron un formulario con su información personal indicando un estimado de su 1RM en peso muerto para poder separarlos por grupos y realizar las pruebas. Los protocolos de series Cluster y Series Ondulantes se realizaron con 7 días de distancia entre pruebas con la finalidad de que los sujetos pudieran recuperarse.

5.2 Determinación de Perfil de Carga-Velocidad

La determinación del perfil de Carga-Velocidad (C-V) se realizó el primer día, comenzando con 10 minutos de calentamiento general. Posterior a eso, se realizó la activación muscular específica con el 50% del 1RM estimado por cada sujeto, realizando series de 2 repeticiones con descansos de 30 segundos entre cada una, hasta que la velocidad aplicada no aumentará más. Al finalizar la activación, el sujeto descansó entre 2 a 3 minutos para después comenzar con el protocolo de determinación del perfil de Carga-Velocidad en peso muerto utilizando un Encoder lineal (Vitruve, España). Para esto, se realizó un test de cuatro levantamientos incrementales de peso muerto desde un 50% del 1RM estimado hasta aproximadamente un 80%, con espacios equidistantes entre cada levantamiento (50%, 60%, 70% y 80%). El primer y segundo levantamiento

constaron de 3 repeticiones y los últimos 2 levantamientos constaron de 2 repeticiones a la máxima velocidad posible. El descanso entre levantamientos fue de 4 minutos.

5.3 Determinación de lactato en sangre

Una vez registrado el perfil de cada uno de los atletas, se procedió a tomar la primera muestra de lactato en sangre con el Medidor Lactate Plus Meter (Nova Biomedical, UK). Inicialmente, se utilizaron almohadillas con alcohol para limpiar la yema del dedo índice y el área se secó completamente después de la limpieza. Posteriormente, con ayuda de una lanceta se extrajo una gota de sangre del dedo la cual se limpió y una segunda gota fue tomada como muestra de sangre y colocada en una tira reactiva conectada con el medidor de lactato. Las determinaciones de lactato se realizaron antes de realizar el protocolo de series ondulantes y Cluster inmediatamente después del término de estas.

5.4 Protocolo de Series Cluster

Se realizó el Protocolo de Series Cluster con el 75% del 1RM en peso muerto que constó de 3 series; 3 agrupaciones de 3 repeticiones con 20 segundos de descanso entre agrupaciones, y un descanso de 1 minuto entre series con la finalidad de igualar el tiempo de descanso total del protocolo de Series Ondulantes.

5.5 Protocolo de Series Ondulantes

Teniendo en cuenta que está demostrado que la velocidad de ejecución dentro de una serie comienza a decrecer significativamente a partir de la mitad de las repeticiones posibles de una misma serie (Figura 6), se diseñó el protocolo de series ondulantes en peso muerto con el 75% del 1RM determinado por la velocidad de ejecución según la

tabla hecha por Jesus Rivilla (Figura 5) que constó de 4 series; en la primera y en la tercera serie se realizaron 6 repeticiones, mientras que en la segunda y en la cuarta serie se realizaron sólo 3 repeticiones con un descanso de 1 minuto entre series (Figura 7).

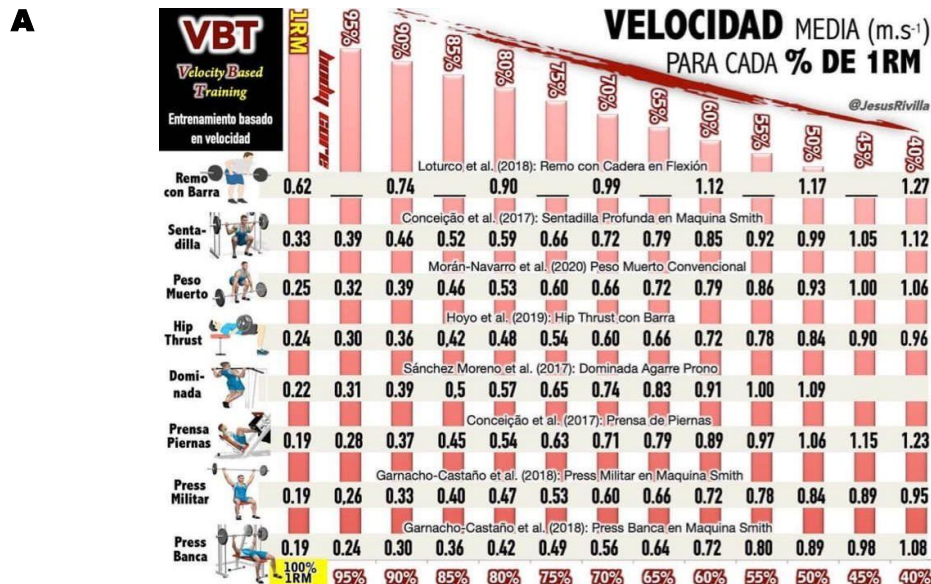


Figura 5. Estimación de VMP en relación a porcentaje de RM por medio de regresión lineal.

A. Tabla hecha por Jesus Rivilla García (@Jesusrivilla en Instagram) recopilando datos de diferentes estudios científicos, se muestra la VMP asociada a cada % del 1RM para diferentes ejercicios, donde se muestra los valores de VMP obtenidos en peso muerto (Morán-Navarro et al., 2021).

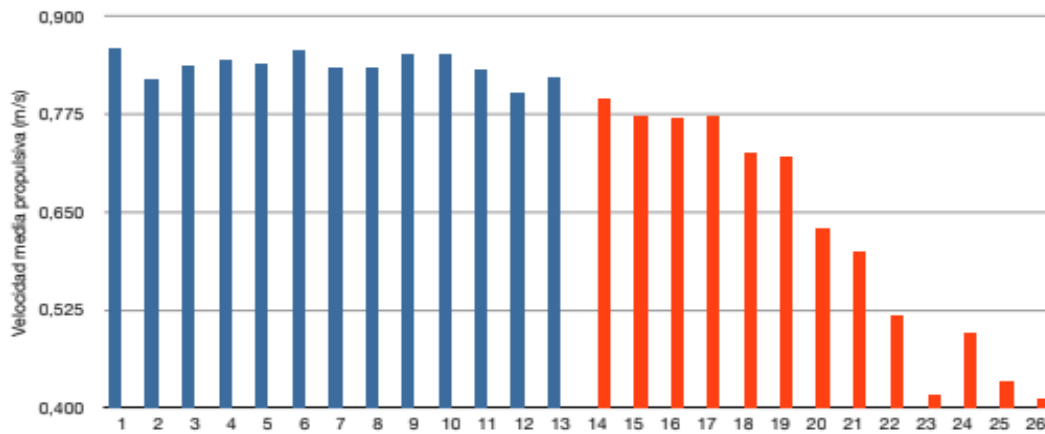


Figura 6. Pérdida de velocidad dentro de una serie de sentadilla. A partir de la mitad de las repeticiones, la pérdida de velocidad es notable (Balsalobre-Fernandez & Jiménez-Reyes, 2014).

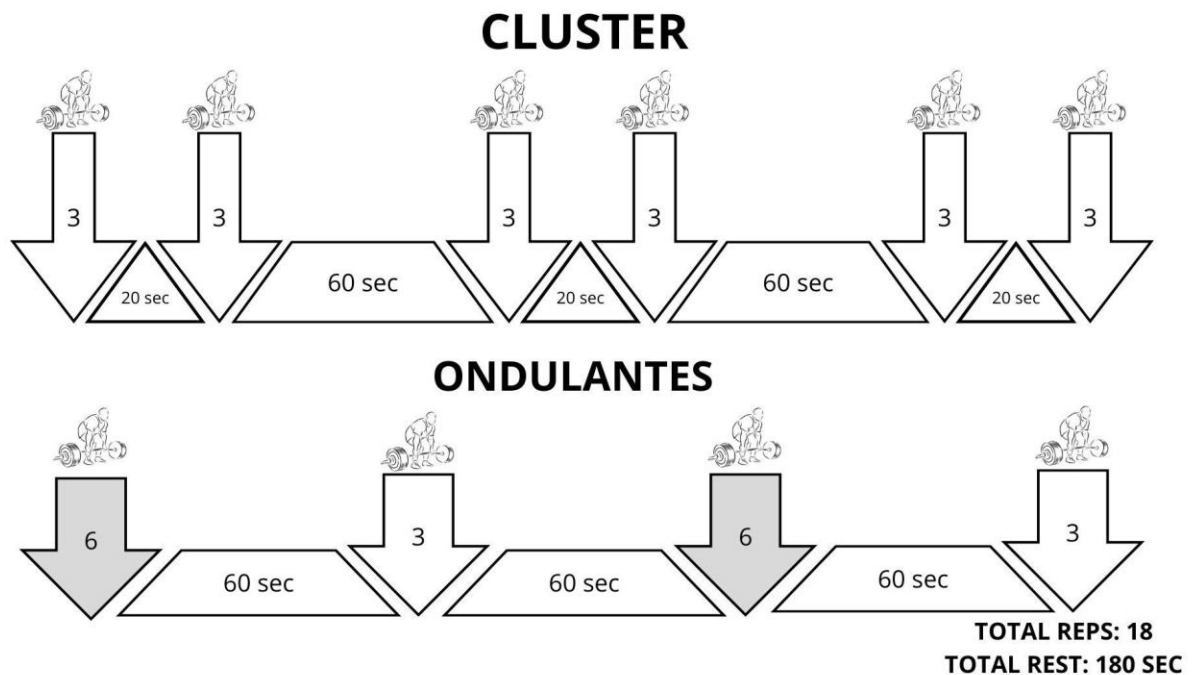


Figura 7. Protocolo adaptado de Series Cluster y Series Ondulantes. El número de repeticiones totales fue de 18, con un tiempo de descanso total de 180 segundos para ambos protocolos. El protocolo de Series Cluster consta de 3 series divididas en dos mini sets de 3 repeticiones con un descanso interserie de 20 segundos y un descanso entre series de 60 segundos. El protocolo de Series Ondulantes constó de 4 series con descansos de 60 segundos entre series, donde en la serie 1 y 3 se realizaron 6 repeticiones, mientras que en la serie 2 y 4 se realizaron 3 repeticiones.

5.6 Análisis Estadístico

Los valores de velocidad media propulsiva, velocidad máxima y potencia máxima, se obtuvieron por medio del encoder lineal Vitruve. La determinación de la carga para realizar cada protocolo se obtuvo mediante la determinación de la VMP pico de cada día.

Los datos presentados de VMP, velocidad máxima, potencia máxima y representación de la pérdida de velocidad son el resultado del promedio de cada repetición entre los 10 participantes.

Los resultados se expresan como el promedio $\pm$ el error estándar de la media ($M \pm ESM$) de los datos. El análisis estadístico de los datos obtenidos se realizó con ayuda del software SigmaPlot v.12.0, aplicando una prueba t pareada, precedida del análisis de normalidad Shapiro-Wilk, con el fin de determinar la diferencia significativa $P \leq 0.05$ entre grupos.

6. RESULTADOS

Con el fin de determinar el comportamiento del rendimiento durante las repeticiones en el protocolo de series cluster y de series ondulantes, se midió mediante un encoder lineal la velocidad media propulsiva de cada una de las repeticiones y se determinó el porcentaje de pérdida de velocidad de la última repetición de cada serie respecto a la primera repetición del protocolo. (Figura 8).

Como se observa en la Figura 9, el comportamiento de la velocidad máxima muestra una pérdida modesta durante las series cluster (Figura 9A), mientras que se evidencia una disminución más significativa durante las series ondulantes (Figura 9B). Sin embargo, la recuperación de 1 minuto al finalizar la serie ondulante fue suficiente para recuperar el rendimiento y expresar cerca de la misma magnitud de velocidad máxima durante las primeras repeticiones

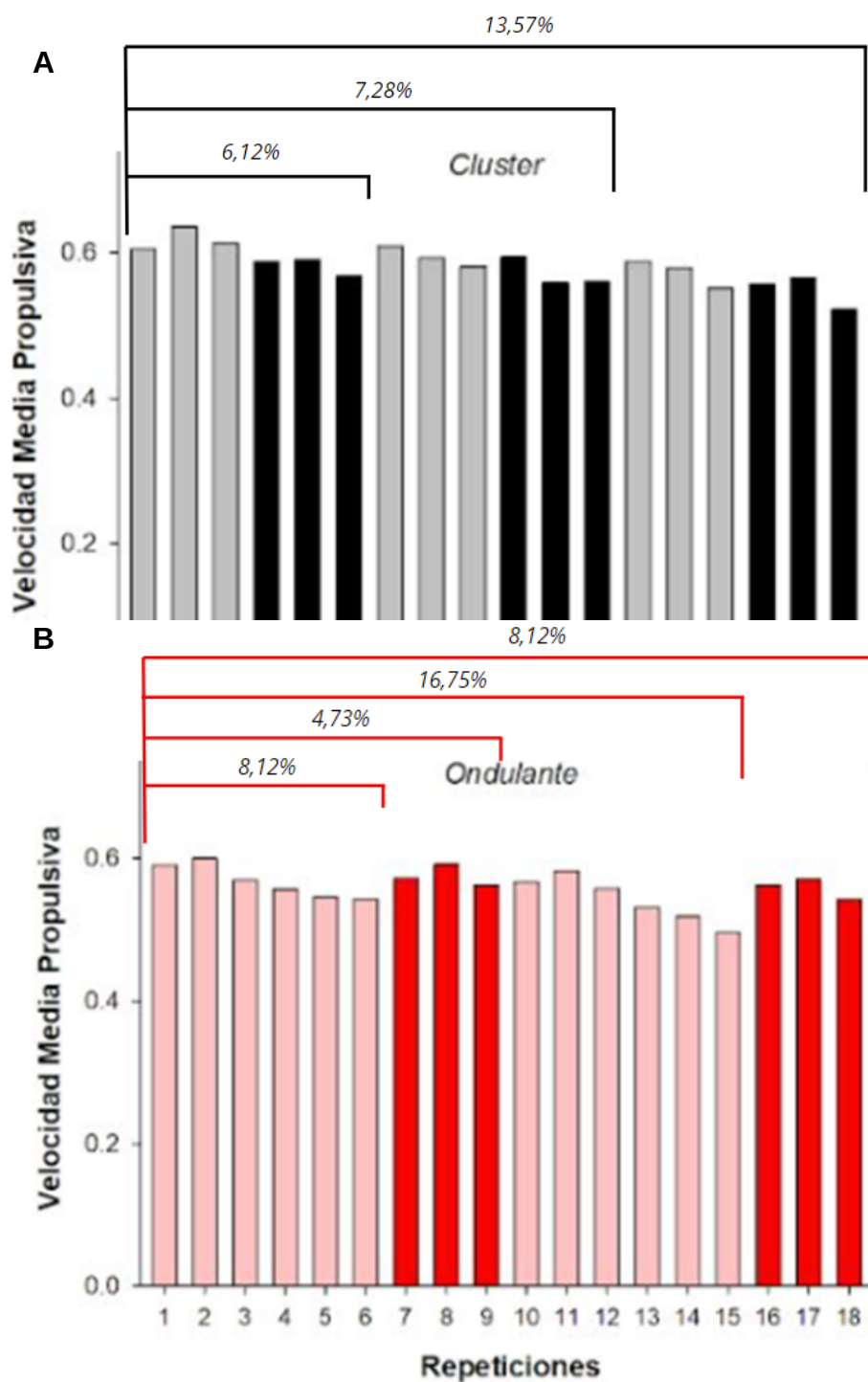


Figura 8. Velocidad media propulsiva expresada en cada una de las repeticiones de los distintos protocolos. A. Protocolo de series Cluster. Cada serie consta de 6 repeticiones divididas en mini series de 3 repeticiones, de las cuales; las barras grises representan la primer agrupación de 3 repeticiones antes del descanso de 20 segundos y las barras negras representan la segunda agrupación. **B.** Protocolo de series

Ondulantes. Las barras rojo claro representan la agrupación de 6 repeticiones, mientras que las barras rojas representan la agrupación de 3 repeticiones.

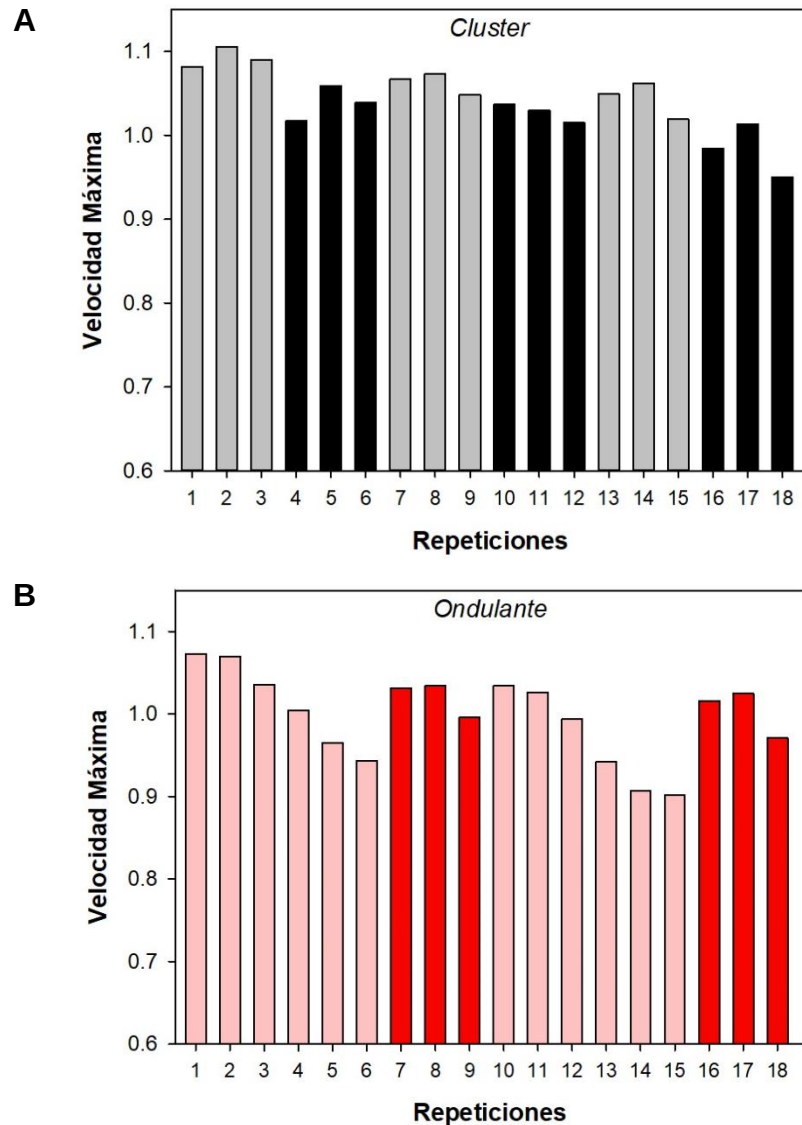
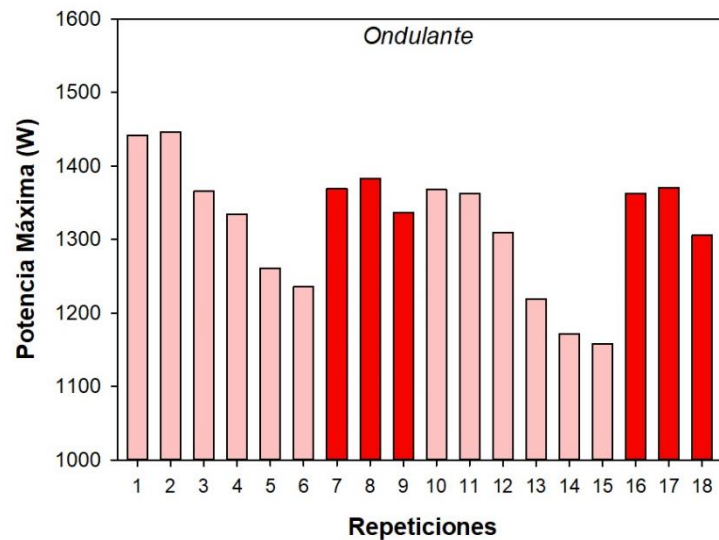


Figura 9. Velocidad Máxima expresada en cada una de las repeticiones de los distintos protocolos. A. Protocolo de series Cluster. Cada serie consta de 6 repeticiones divididas en mini series de 3 repeticiones, de las cuales; las barras grises representan la primer agrupación de 3 repeticiones antes del descanso de 20 segundos y las barras negras representan la segunda agrupación. **B.** Protocolo de series Ondulantes. Las barras rojo claro representan la agrupación de 6 repeticiones, mientras que las barras rojas representan la agrupación de 3 repeticiones.

Respecto a la potencia máxima (Figura 10), los valores arrojados por el encoder lineal muestran un comportamiento muy similar al de la velocidad máxima presentando una pérdida mínima de potencia en las series cluster (Figura 10B), mientras que en las series ondulantes se evidencia una pérdida de potencia máxima más significativa especialmente al finalizar las series de 6 repeticiones (Figura 10A) .

A



B

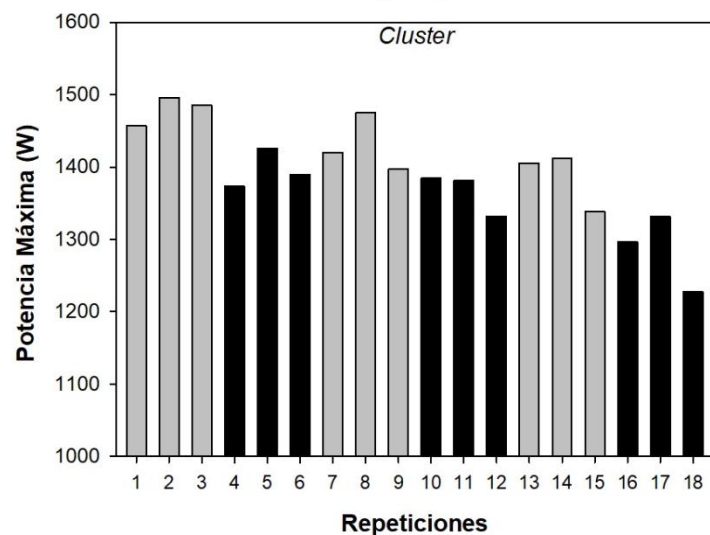


Figura 10. Potencia Máxima expresada en watts (W) en cada una de las repeticiones de los distintos protocolos. **A.** Protocolo de series Cluster. Cada serie consta de 6 repeticiones divididas en mini series de 3 repeticiones, de las cuales; las barras grises representan la primer agrupación de 3 repeticiones antes del descanso de 20 segundos y las barras negras representan la segunda agrupación. **B.** Protocolo de series Ondulantes. Las barras rojo claro representan la agrupación de 6 repeticiones, mientras que las barras rojas representan la agrupación de 3 repeticiones.

Consideramos evaluar el porcentaje de pérdida de velocidad total de cada uno de los protocolos para poder determinar de manera global si existe una diferencia significativa de pérdida entre las series cluster y series ondulantes. Los resultados arrojaron una pérdida media de VMP de 8,99% en las series cluster vs 9,43 % en las series ondulantes, siendo estas últimas las que mayor pérdida de velocidad generan (Figura 11).

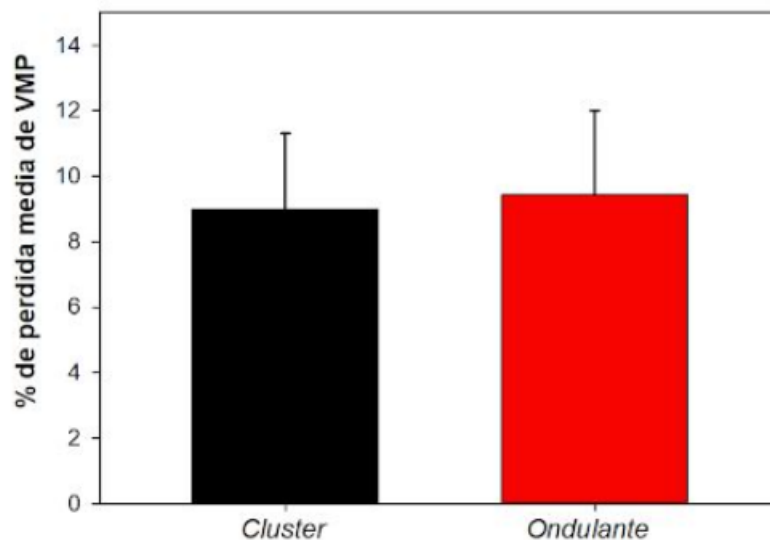


Figura 11. Porcentaje de pérdida de VMP en los distintos protocolos. La barra negra representa el porcentaje de pérdida de velocidad de las series cluster y la barra roja representa el porcentaje de pérdida de las series ondulantes.

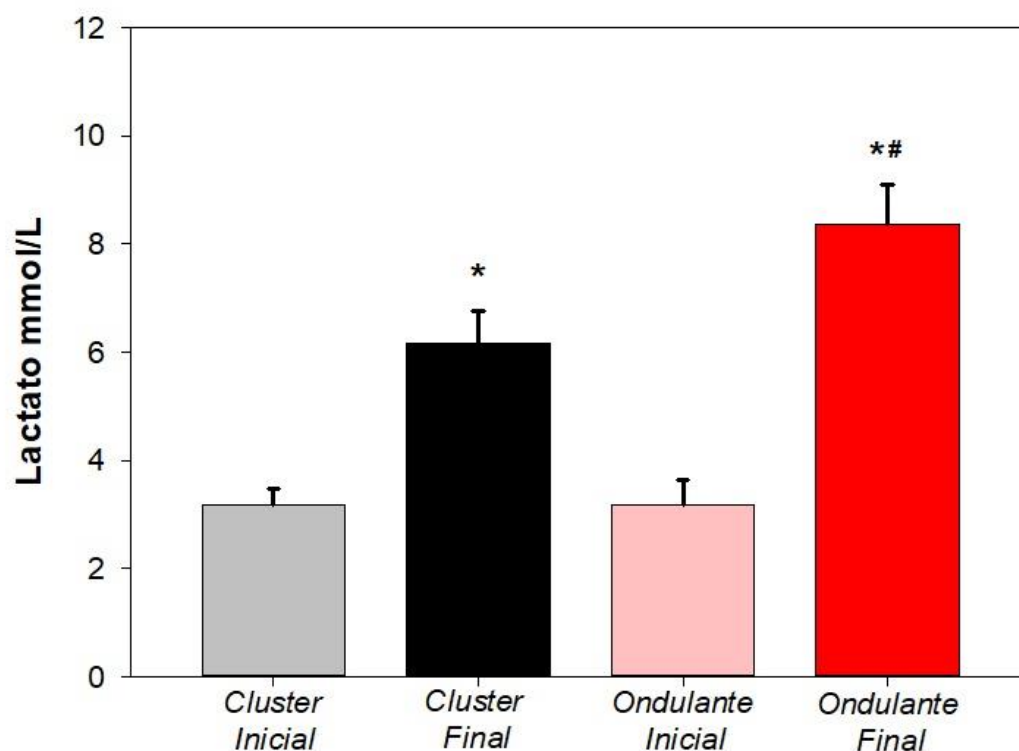


Figura 12. Niveles de Lactato en sangre al inicio y final de protocolo de series Cluster vs series Ondulantes. Todos los valores se presentan como media $\pm$ error estándar, obtenidos de N = 10 participantes para los dos protocolos. *P $\leq$ 0,05 respecto al inicio de cada protocolo, # P $\leq$ 0,05 respecto al final del protocolo Cluster.

Con el fin de determinar la fatiga generada de cada protocolo, se realizó una media de los valores obtenidos de acumulación de lactato en sangre para comparar las diferencias entre ambos protocolos, mostrando un aumento significativo de lactato en sangre al finalizar con respecto al lactato inicial en cada protocolo (SC: 2,98mmol/L y SO: 5,19mmol/L), y a su vez una diferencia mayor estadísticamente significativa en las series ondulantes respecto a las cluster (SC:6,16 mmol/L vs SO: 8,36 mmol/L) (Figura 12).

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A medida que los atletas se vuelven más experimentados con el entrenamiento de resistencia, se introduce una mayor variabilidad en los programas de entrenamiento para evitar estancamientos en el rendimiento (Turner, 2011). Se ha sugerido que la introducción de nuevos estímulos puede mejorar el rendimiento en comparación con una realización monótona del entrenamiento (Hodges et al., 2005)

Investigaciones anteriores han demostrado que las series cluster, que contienen períodos de descanso dentro de la serie, mantienen el rendimiento mecánico agudo (es decir, fuerza, velocidad de movimiento y producción de potencia) mejor que las series tradicionales que no contienen descanso dentro de la serie (Tufano et al., 2017). Los períodos de descanso implementados dentro de las series permiten la reposición de las reservas de energía inmediatas, la eliminación de subproductos metabólicos del músculo y el mantenimiento del rendimiento agudo (Girman et al., 2014).

Diversos estudios han demostrado que algunos de los indicadores de fatiga, como es el lactato, están fuertemente correlacionados ($r > 0.90$) con la pérdida de velocidad (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). Con lo cual, si podemos medir la velocidad de cada repetición, podemos calcular en qué porcentaje ha ido disminuyendo y, por tanto, controlar la fatiga.

Aún así, es verdad que existe cierta evidencia que muestra un mayor beneficio sobre las ganancias de fuerza ante pérdidas más bajas de velocidad (20%) respecto a pérdidas de velocidad mayores (40%) (Pareja-Blanco et al., 2017).

Se observó una relación en el comportamiento de la velocidad máxima y potencia máxima aplicada en cada una de las repeticiones aplicadas en los distintos protocolos. Por otro lado, la pérdida de potencia máxima y velocidad máxima entre los protocolos se asocia con una diferencia significativa en los niveles de lactato (SC: 2,98 mmol/L vs SO: 5,19 mmol/L), las series ondulantes no siguen una tendencia de disminución progresiva de estos valores como sucede en las series cluster, finalizando la última repetición del protocolo con un 8,12% de pérdida de VMP en las series ondulantes respecto a la primera repetición vs 13,57% de pérdida de VMP en las series cluster. Un detalle a considerar es que las series ondulantes no muestran una tendencia de pérdida progresiva de VMP en comparación a las series cluster, sin embargo, si muestran una pérdida acumulada superior promediando el porcentaje de pérdida de VMP entre la última repetición de cada serie en contraste con el valor de la primera repetición del protocolo (SC: 8,99% vs SO: 9,43%).

Esto podría indicar que la propuesta de series ondulantes podría considerarse una buena estrategia a considerar dentro de una programación de entrenamiento para acumular volumen de trabajo, buscar mejorar la capacidad de resistencia a la fuerza, fuerza máxima, e incluso hipertrofia sin sacrificar demasiado la capacidad de aplicar velocidad y potencia al inicio de cada serie, en contraste con una serie tradicional.

Queda abierta la invitación a seguir investigando acerca de los beneficios de esta nueva propuesta de series ondulantes con la finalidad de conocer los efectos que pudiera tener a largo plazo en rendimiento y expresión de las capacidades físicas, valores bioquímicos, así como también del desarrollo de la masa muscular y no solo observar el comportamiento de la fatiga en agudo como en el presente estudio.

8. CONCLUSIONES

- Las series ondulantes no muestran una pérdida de VMP progresiva entre series en comparación con las series cluster.
- El protocolo de series ondulantes acumula mayor pérdida de velocidad con respecto al protocolo de series cluster.
- El aumento de fatiga medida por niveles de lactato es estadísticamente significativa en ambos protocolos, sin embargo, las series ondulantes generan mayores concentraciones de lactato en comparación a las series cluster.
- Las series cluster siguen siendo una de las mejores estrategias para acumular volumen a intensidades elevadas con niveles de fatiga más bajo, mientras que las series ondulantes podrían ser una buena estrategia a implementar en un periodo de entrenamiento de conversión entre el desarrollo de fuerza máxima y la resistencia a la fuerza.
- Las series ondulantes podría considerarse una buena estrategia a considerar dentro de una programación de entrenamiento para acumular volumen de trabajo, buscar mejorar la capacidad de resistencia a la fuerza, fuerza máxima, e incluso hipertrofia sin sacrificar demasiado la capacidad de aplicar velocidad y potencia al inicio de cada serie, en contraste con una serie tradicional.
- El nivel de lactato en sangre parece no corresponder a la pérdida de velocidad de la última repetición en un protocolo modificado como el de series ondulantes propuesto, por lo que la media de la pérdida de velocidad podría ser un indicador más fiable a considerar para evaluar la fatiga total.

9. PERSPECTIVAS

- Evaluar la respuesta crónica en los niveles de fuerza e hipertrofia al aplicar el protocolo de series ondulantes y su diferencia respecto a las series cluster y a las series tradicionales.
- Evaluar el comportamiento de otros marcadores bioquímicos de fatiga como el lactato, creatina fosfoquinasa, entre otros.
- Analizar si existe relación entre la pérdida de velocidad con respecto al lactato, entre series dentro del protocolo de series ondulantes.

10. REFERENCIAS

- Balsalobre-Fernandez, C., & Jiménez-Reyes, P. (2014). *ENTRENAMIENTO DE FUERZA. Nuevas Perspectivas Metodológicas* (Primera Edición).
- Barrios Otero, J. C., & Gómez Sandoval, J. D. (2020). *MÉTODOS DE EVALUACIÓN DEL UMBRAL ANAERÓBICO EN DEPORTISTAS JÓVENES*. Unidades Tecnológicas de Santander.
- Binder, R. K., Wonisch, M., Corra, U., Cohen-Solal, A., Vanhees, L., Saner, H., & Schmid, J. P. (2008). Methodological approach to the first and second lactate threshold in incremental cardiopulmonary exercise testing. En *European Journal of Preventive Cardiology* (Vol. 15, Número 6, pp. 726–734). <https://doi.org/10.1097/HJR.0b013e328304fed4>
- Carlos Giraldo, J. T., & Elena Sánchez, M. (1998). *Colombia Médica El lactato como posible factor del mecanismo de fatiga muscular* (Vol. 29, Número 2).
- Enoka, R. M. (1988). Muscle Strength and Its Development New Perspectives. En *Sports Medicine* (Vol. 6).
- Fernandez Rodriguez, E., Ramos, R., Merino Marbán, R., Cañas, A., Palacio, D., & Ramos, O. R. (2019). *Umbral Anaeróbico. Problemas conceptuales y aplicaciones prácticas en deportes de resistencia Anaerobic Threshold. Conceptual problems and practical applications in endurance sports*. www.retos.org
- García Manso, J., Navarro Valdivieso, M., & Ruíz Caballero, J. (1996). *Bases teóricas del entrenamiento deportivo : (principios y aplicaciones)*. Madrid : Gymnos, D.L. 1996.
- Girman, J. C., Jones, M. T., Matthews, T. D., & Wood, R. J. (2014). Acute effects of a cluster-set protocol on hormonal, metabolic and performance measures in resistance-trained males. *European Journal of Sport Science*, 14(2), 151–159. <https://doi.org/10.1080/17461391.2013.775351>
- Goldspink, G., & Harridge, S. (2002). Cellular and Molecular Aspects of Adaptation in Skeletal Muscle. En *Strength and Power in Sport* (pp. 231–251). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470757215.ch12>
- Gómez-Campos, R., Cossio-Bolaños, M. A., Brousett Minaya, M., & Hochmuller-Fogaca, R. T. (2010). *MECANISMOS IMPLICADOS EN LA FATIGA AGUDA*. 10, 537–555.
- González Badillo, J. J., & Ribas Serna, J. (2002). *Bases de la Programación del entrenamiento de fuerza*. Inde.
- González-Badillo, J. J., & Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International Journal of Sports Medicine*, 31(5), 347–352. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248333>

- Grassi, B., Rossiter, H. B., Zoladz, J. A., Rossiter, H., & Zoladz, J. (2015). Skeletal Muscle Fatigue and Decreased Efficiency: Two Sides of the Same Coin? En *Exerc. Sport Sci. Rev* (Vol. 43, Número 2). www.acsm-essr.org
- Hodges, N. J., Hayes, S., Horn, R. R., & Williams, A. M. (2005). Changes in coordination, control and outcome as a result of extended practice on a novel motor skill. *Ergonomics*, 48(11–14), 1672–1685. <https://doi.org/10.1080/00140130500101312>
- Izquierdo, M. (2008). Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte. En M. Izquierdo (Ed.), *Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte* (1era Edición, p. 770). Editorial Medica Panamericana.
- Mann, B., Ivey, P. A., & Sayers, S. P. (2021). *Velocity-Based Training in Football*. <http://journals.lww.com/nsca-scj>
- Morán-Navarro, R., Martínez-Cava, A., Escibano-Peñas, P., & Courel-Ibáñez, J. (2021). Load-velocity relationship of the deadlift exercise. *European Journal of Sport Science*, 21(5), 678–684. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1785017>
- Naclerio, F. (2015). *Análisis de la Relación Fuerza-Velocidad y Potencia por Medio del Test de Saltos con Pesos: ¿Cuál es su Utilidad y Como Deberíamos Aplicarlo?* <https://www.researchgate.net/publication/280718066>
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., Yáñez-García, J. M., Morales-Alamo, D., Pérez-Suárez, I., Calbet, J. A. L., & González-Badillo, J. J. (2017). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 27(7), 724–735. <https://doi.org/10.1111/sms.12678>
- Rial-Vázquez, J., Mayo, X., Tufano, J. J., Fariñas, J., Rúa-Alonso, M., & Iglesias-Soler, E. (2022). Cluster vs. traditional training programmes: changes in the force–velocity relationship. *Sports Biomechanics*, 21(1), 85–103. <https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1718197>
- Sánchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(9), 1725–1734. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318213f880>
- Semmler, J. G., & Enoka, R. M. (2000). Neural Contributions to Changes in Muscle Strength. En *Biomechanics in Sport* (pp. 2–20). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470693797.ch1>
- Tufano, J. J., Conlon, J. A., Nimphius, S., Brown, L. E., Petkovic, A., Frick, J., & Gregory Haff, G. (2017). Effects of Cluster Sets and Rest-Redistribution on Mechanical Responses to Back Squats in Trained Men. *Journal of Human Kinetics*, 58(1), 35–43. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0069>
- Turner, A. (2011). *The Science and Practice of Periodization: A Brief Review*. <http://journals.lww.com/nsca-scj>

Vallejo-Amengual, J. J. (2023). *REPERCUSIÓN DE LAS SERIES CLUSTER EN EL ENTRENAMIENTO DE FUERZA*.

Vélez-Páez, J. L., Aguayo-Moscoso, S., Montalvo-Villagómez, M., Vélez-Páez, P., Velarde-Montero, G., Rueda-Barragán, F. E., & Torres-Cabezas, P. (2021). *Lactato: fisiología, bioquímica y metabolismo de la producción energética celular*. 5.

Weakley, J., Mann, B., Banyard, H., McLaren, S., Scott, T., & Garcia-Ramos, A. (2021). *Velocity-Based Training: From Theory to Application*. <http://journals.lww.com/nsca-scj>

11. ANEXOS

FORMULARIO PREVIO

FORMULARIO PREVIO

El presente formulario va con la finalidad de crear la logística para la aplicación de los protocolos en Peso Muerto

Se llevará a cabo los días 13 y 14 de junio en el laboratorio de biomecánica de la facultad de deportes Campus Mexicali

* Indica que la pregunta es obligatoria

1. Correo *

NOMBRE COMPLETO

2. EDAD *

3. SEXO *

Marca solo un óvalo.

- ☐ MASCULINO
☐ FEMENINO

4. NUMERO DE CELULAR *

5. ¿PADECES DE ALGUNA ENFERMEDAD?(SI LA RESPUESTA ES SI, ESPECIFICA CUAL) *

11. APROXIMADAMENTE CUANTO ES TU 1RM EN KILOS DE PESO MUERTO *
(1RM=MAXIMO PESO QUE PUEDES LEVANTAR A UNA SOLA REPETICION)

12. DE LOS SIGUIENTES DIAS EN UN HORARIO ENTRE 12 Y 2PM, QUE DIA *
TIENES DISPONIBILIDAD PARA IR A APLICAR EL PROTOCOLO (en facultad Deportes Campus Mexicali)

Marca solo un óvalo.

- ☐ MARTES
☐ MIERCOLES

6. SELECCIONA SI CONSUMES ALGUNO DE ESTOS SUPLEMENTOS *

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ BETA ALANINA
☐ CITRULINA
☐ OXIDO NITRICO
☐ CAFEINA
☐ CREATINA
☐ BCAAS

7. ¿CONSUMES ALGUNA SUSTANCIA DOPANTE? SI LA RESPUESTA ES SI, *
MENTONA CUAL

8. ¿FUMAS? *

Marca solo un óvalo.

- ☐ SI
☐ No

9. ¿CONSUMES ALCOHOL? *

Marca solo un óvalo.

- ☐ SI
☐ No

10. ¿SABES REALIZAR PESO MUERTO? *

Marca solo un óvalo.

- ☐ SI
☐ No

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formulario

CONSENTIMIENTO INFORMADO



Consentimiento Informado Entrenamiento de Series Ondulantes vs Series Cluster



Información de contacto del participante

Nombre: _____, Teléfono móvil: _____.

En caso de emergencia, comuníquese al Teléfono: _____.

Le informamos que este protocolo de entrenamiento tiene como objetivo analizar el comportamiento de la fatiga en el entrenamiento de fuerza mediante velocidad y niveles de lactato en sangre, se llevará a cabo distintos protocolos de levantamiento de pesas, así como toma de muestra capilar de lactato mediante punción en el dedo al iniciar y finalizar el protocolo establecido.

El uso del equipo de levantamiento de pesas puede provocar distensiones muscular esqueléticas, dolor y lesiones si no se siguen los procedimientos adecuados de calentamiento, progresión gradual y seguridad. Existe la posibilidad de presentar molestias o cambios fisiológicos durante la evaluación como enrojecimiento de la piel, incomodidad con el uso de los aparatos, incremento en la presión arterial, elevación o disminución del ritmo cardíaco y en el caso más raro problemas cardiovasculares o muerte. Se minimizan estos riesgos por medio de la información que usted nos proporcione. Tenemos personal y equipo que puede intervenir en situaciones inusuales. Entiendo y garantizo, libero y acepto que estoy en buenas condiciones físicas y que no tengo ningún impedimento de discapacidad o dolencia que me impida participar en ejercicios activos o pasivos que sean perjudiciales para la seguridad del corazón, la comodidad o la condición física si participo.

Los resultados obtenidos de esta evaluación nos permitirán conocer las diferencias del comportamiento de la fatiga en distintos protocolos para la toma de decisiones a la hora de realizar una programación de entrenamiento para mejores resultados.

Su participación en esta evaluación es totalmente voluntaria, confidencial y no perderá ningún derecho legal por firmar este documento y podrá parar en cualquier momento la evaluación. Acepto que la información proporcionada podrá ser utilizada para fines de investigación, y se me ha informado que nunca será revelada de forma individual o de tal manera que pueda evidenciarse mi identidad. He leído la información anterior y la entiendo. Cualquier pregunta que se me haya ocurrido ha sido respondida a mi entera satisfacción.

Nombre y Firma del Participante: _____

Nombre y Firma del Testigo: _____

Nombre y Firma del Evaluador: _____

Fecha: _____.

FOTOS



