

**Universidad de Concepción del Uruguay**

**Sede Rosario Facultad de Ciencias de la Comunicación y Educación**

**Licenciatura en Educación Física - Orientación en Ciencias del Ejercicio**

**TEMA:**

**¿Cuáles son los tiempos de recuperación óptimos ante la fatiga neuromuscular en corredores amateurs?**

**Autor: Prof. Nieto, Rodrigo**

**DNI: 37.678.223**

**Tutor de tesina: Prof. Galasso, Claudio**

**DNI: 14.509.242**

**Año: 2020**

**Agradecimientos**

En primer lugar quiero agradecer a mi familia, a mi papá y mi mamá por ser el sostén de todos mis proyectos, y estar siempre muy presentes en todos los aspecto de la vida. A mi tutor de tesis, Claudio Galasso, no solo un gran docente sino también una gran persona, que en todo momento me brindo su tiempo y espacio de manera desinteresada. A mis amigos/as que me acompañaron durante este tiempo, con palabras de aliento y buenas energías. A los 10 corredores que formaron parte de esta investigación por la predisposición, seriedad y compromiso de ser evaluados, sin ellos no hubiera sido posible la realización de este trabajo. A Daniel Sancio, amigo y colega, que en todo momento brindo soluciones, consejos y siempre me impulso para finalizar este trabajo, brindándome elementos y ayudándome con las evaluaciones. A Agustín Spino por facilitarme elementos de trabajo, a Omar Córdoba, por su colaboración en el análisis estadístico de los resultados, a mis compañeros de cursado, de los cuáles no solo me llevo su aprendizaje, sino también su amistad. A Leandro Marín, amigo, que colaboro en todo momento, ayudándome a trasladarme con todos los elementos de evaluación.

A todos los docentes de la Licenciatura en Educación Física con Orientación en Ciencias del Ejercicio, que durante los dos años de cursado me brindaron nuevos conocimientos y de los cuales además de aprender y facilitar información, también supieron transmitir la pasión y las ganas por seguir capacitándome siempre, para ser mejor profesional y brindar una buena calidad a mis alumnos.

**Tabla de contenidos**

**INDICE**

**Tabla de contenido**

[**CAPÍTULO I** 6](#_Toc48125150)

[**1.1Introducción** 6](#_Toc48125151)

[**Planteamiento del problema** 9](#_Toc48125152)

[**Objetivos:** 12](#_Toc48125153)

[**Objetivo General:** 12](#_Toc48125154)

[**Objetivos Específicos:** 12](#_Toc48125155)

[**Hipótesis:** 12](#_Toc48125156)

[**Justificación:** 13](#_Toc48125157)

[**CAPÍTULO II** 14](#_Toc48125158)

[**Antecedentes y estado del arte** 14](#_Toc48125159)

[**Marco teórico:** 17](#_Toc48125160)

[**Fatiga:** 17](#_Toc48125161)

[**Causantes de la fatiga** 19](#_Toc48125162)

[**Fatiga neuromuscular (central y periférica):** 21](#_Toc48125163)

[**Estimación del nivel de fatiga neuromuscular - Instrumentos de medición.** 25](#_Toc48125164)

[**Principio de la sobrecarga** 26](#_Toc48125165)

[**Recuperación:** 29](#_Toc48125166)

[**Síndrome general de adaptación (SGA) y Recuperación:** 31](#_Toc48125167)

[**CAPITULO III** 33](#_Toc48125168)

[**Tipo de investigación:** 33](#_Toc48125169)

[**Población:** 33](#_Toc48125170)

[**Muestra:** 33](#_Toc48125171)

[**Criterios de selección de la muestra:** 33](#_Toc48125172)

[**Técnicas e instrumentos de recolección de datos** 34](#_Toc48125173)

[**Técnicas** 34](#_Toc48125174)

[**Instrumentos:** 34](#_Toc48125175)

[**Procedimientos para la recolección de datos** 37](#_Toc48125176)

[**CAPITULO IV** 39](#_Toc48125177)

[**Resultados** 39](#_Toc48125178)

[**Análisis e interpretación de resultados (Estadística).** 39](#_Toc48125179)

[**CAPITULO V** 44](#_Toc48125180)

[**Discusión** 44](#_Toc48125181)

[**CAPITULO VI** 47](#_Toc48125182)

[**Glosario** 47](#_Toc48125183)

[**Bibliografía:** 48](#_Toc48125184)

[**Anexo:** 52](#_Toc48125185)

# **CAPÍTULO I**

## **1.1Introducción**

El “running” es el término que se utiliza actualmente para describir la disciplina deportiva de correr. Se hace de forma competitiva o participativa. Lo hacen profesionales, amateurs o corredores llamados recreacionales. Se compite por cuestiones económicas, sociales, placer, salud, y seguramente habrá más razones, si investigáramos los motivos.

En los últimos años, esta disciplina ha crecido enormemente no solo por la gran participación de corredores en cada una de las carreras, sino por la cantidad de eventos que se organizan año a año, no solo a nivel mundial también a nivel nacional y específicamente en la ciudad de Rosario.

Haciendo un poco de historia, e investigando los orígenes de esta práctica deportiva (Alvaro, 2014) se puede afirmar que el correr nos “hace” humanos, de hecho, el ser humano siempre ha corrido para, por ejemplo, cazar. Pero ocurre que hace tiempo elcorrer era un medio para un fin: no morir. El ser humano corría para cazar y no ser cazado, era una cuestión de supervivencia. Es la capacidad de correr sumado a otras**,** una de las que nos ha permitido subsistir como especie. (Alvaro, 2014)

Desde un punto de vista antropológico podemos ver el enorme y dramático cambio que se observa del Australopitecos al Homosapiens. Estos cambios y modificaciones que sufrieron estos seres vivos, tales como el aumento de la capacidad cognitiva, modificaciones anatómicas, que posteriormente permitieron la bipedestación, etc., desde un punto de vista “evolutivo”, se atribuye a la introducción de la carrera como un medio de supervivencia. Los humanos dejaron de vivir en los árboles gracias a la posibilidad de cazar animales en la tierra. El cuerpo que tienen los seres humanos hoy en día sólo puede explicarse como adaptación para esta nueva necesidad: correr. (Alvaro, 2014)

La historia del “running”, cuenta que el ser humano comenzó a correr hace de 4 a 6 millones de años, desde que se pasó de un ser cuadrúpedo a bípedo. La diferencia con el running actual es que ya no se corre para salvarse las vidas o para conseguir alimento. Esta actividad evolucionó desde una forma de supervivencia luego de varios millones de años, hasta transformarse en una disciplina deportiva, de carácter competitivo, como son las carreras de running. Se encuentran registros de los antepasados por esta disciplina ya en la Antigua Grecia, donde se hicieron los primeros juegos Olímpicos. Esto no hace más que confirmar la teoría de que el correr es algo natural del ser humano y que ante ello, podemos decir que siempre lo ha hecho. (Almela, 2014).

En tiempos actuales existen numerosas modalidades de carreras en nuestro país (Argentina), que van desde las integrativas de 4km hasta los ultramaratones (distancias que superan los 42 km.). El trial-running, es una modalidad competitiva que se desarrolla en las montañas, cerros o terrenos irregulares, también llamadas carreras de aventura o montaña.

Como consecuencia ante determinado esfuerzo físico, el cuerpo humano sufre lo que se denomina: estado de fatiga, definido como “una disminución transitoria y reversible del rendimiento o aumento real o percibido de la dificultad para lograr una actividad física” (Rodriquez, 2015) A menudo, entendida como la incapacidad de mantener un nivel requerido de fuerza muscular, la fatiga conduce a reducir y detener el esfuerzo y sus causas son multifactoriales (Rodriquez, 2015)

Respecto a lo mencionado anteriormente, estos autores (B. Bigland, Ritchie & J. J. Woods, 1984) y (Mizelman, 2018) manifiestan que no es aconsejable tratar la fatiga como un solo fenómeno o único, todos los mecanismos responsables de la misma deben ser examinados bajo una variedad de tipos de ejercicio inductores de fatiga, encontrar aquellos que no son responsable es tan valioso como investigar aquellos que sí lo son. (B. Bigland, Ritchie & J. J. Woods, 1984).

El presente trabajo de investigación esta direccionado hacia una particularidad, como es la “fatiga neuromuscular” a la que se la suele diferenciar en dos componentes, la fatiga central y la periférica.

Tal cual como describe Gandevia la fatiga central, a nivel de sistema nervioso central, incluye factores supraespinales y espinales, mientras que la fatiga periférica se refiere a las propiedades contráctiles del músculo y a la velocidad de transmisión y conducción del potencial de acción de las terminaciones nerviosas a lo largo del sarcolema. (Gandevia, 2001).

La mayoría de las definiciones de fatiga neuromuscular comparten un elemento en común: la observación de un descenso inducido por el previo ejercicio realizadoen la producción de fuerza muscular junto con un aumento en el nivel de esfuerzo requerido para realizar el ejercicio. Cuando se presenta fatiga, se pueden observar cambios estructurales en el músculo (daño muscular y falla de acoplamiento de excitación-contracción). Además de estos cambios estructurales y la disminución en la generación de fuerza, la fatiga también afecta negativamente la velocidad de acortamiento y relajación de las fibras musculares (ciclo de estiramiento-acortamiento). (Mizelman, 2018)

Para evaluar el estado neuromuscular de un corredor luego de una carrera de determinada cantidad de km., es necesario evaluar con métodos directos como lo son las electromiografías y la estimulación eléctrica cutánea, estos métodos permiten tener información acerca de las propiedades contráctiles del musculo.

Existen también pruebas de campo, con métodos doblemente indirectos como los Sprint cortos (evaluados con fotocélulas), los saltos verticales con contra movimiento, los saltos en cuclillas y los saltos con caída, se han sugerido como formas adecuadas de evaluar la fatiga y la preparación neuromuscular de los atletas, para obtener información sobre la fuerza y potencia funcional a nivel muscular del tren inferior. (Millet & cols, 2003) (Branko Škof & Vojko Strojnik, 2006).

A diferencia de los Sprint, las pruebas de salto antes mencionadas siempre parecían mejorarse mediante un análisis muy detallado utilizando una alfombra de salto y​​/o sistemas de transductores de posición, lo que podría haber conducido a una mejor comprensión de las respuestas fisiológicas y neuromusculares asociadas con la fatiga neuromuscular (Mizelman, 2018)

Se debe señalar que, en los últimos años, el crecimiento y la evolución de esta disciplina deportiva, ha producido un notable interés de parte de investigadores en relación a muchos factores que inciden en la mejora de la performance deportiva, generalmente estos estudios se realizan en una población de nivel elite, corredores olímpicos, mundialistas y plusmarquistas y no existe demasiada evidencia científica en deportistas recreacionales.

En este sentido existe un vacío, en cuanto a experiencias, conocimientos, estudios o trabajos de investigación en deportistas recreacionales, no federados, inclusive amateur. Esto hace que el presente trabajo de investigación intente evaluar el nivel de fatiga neuromuscular que provoca una carrera de 10 km. durante el periodo competitivo del año 2020, para determinar el tiempo óptimo de recuperación, en un grupo de corredores recreacionales que pertenecen a un grupo de entrenamiento (Rosario Team Merrell), con el propósito de respetar los tiempos de recuperación óptimos para esta clase de atletas y evitar de esta manera, futuras posibles lesiones, perdida de la performance, sobreentrenamiento o problemas de salud.

## **Planteamiento del problema**

Existen numerosas investigaciones por parte de prestigiosas instituciones y Universidades, tales como, el Instituto de Investigación de Psiquiatría Forense de Hamburgo (Alemania), la Universidad de Oxford, y la Universidad Europea de Madrid, que actualmente siguen investigando los beneficios neurológicos del deporte a largo y mediano plazo. Todos estos establecimientos, afirman que existe un “apego” o estado de euforia por esta actividad, que sienten los corredores una vez que consiguen practicarla regularmente. En algunas de ellas, argumentan que este “apego” a la práctica del running, es causado por la liberación de distintas hormonas, como por ejemplo la leptina, o también por la liberación de endorfinas, que son neurotransmisores opioides. (Fernandez, 2015)

Coexisten diversas teorías sobre cómo se produce el efecto de euforia del corredor. Diversos experimentos han demostrado sin lugar a dudas que este efecto existe, pero aún no queda claro cuál es su origen.

Un estudio, publicado en [*PNAS*](http://www.pnas.org/content/early/2015/09/29/1514996112.abstract) *(*Proceeding of the National Academy of Science of United States of America)*,* devela que la anandamida, un compuesto endocanabinoide, juega un papel fundamental en la reducción de la ansiedad y la tolerancia al dolor en ratones que habían corrido durante horas. Los compuestos endocanabinoides deben su nombre a que son homólogos de los compuestos del cannabis, cuyos efectos analgésicos y psicoactivos pueden asemejarse a los descritos por los deportistas tras el ejercicio. La mayor parte de los científicos considera que este efecto se puede deber a un cúmulo de factores, tanto psicológicos, como fisiológicos. (Johannes Fuss, Jörg Steinle, Laura Bindila, Matthias K. Auer, Hartmut Kirchherr, Beat Lutz, and Peter Gass, 2015). La gran participación de corredores en distintas carreras, ha causado que más personas se entrenen para participar y competir en ellas, intentando obtener un mejor rendimiento. Para esto, es imprescindible una adecuada planificación, teniendo en cuenta las particularidades de cada corredor, siendo este un principio básico del entrenamiento, el “principio de individualidad”. Lo que ocurre es que hay cada vez más deportistas amateurs entrenándose para las competencias, lo que ha hecho que se comience a investigar más, sobre este tipo de población.

Una adecuada recuperación ha sido mostrada que puede resultar en la restauración de los procesos fisiológicos, psicológicos y metabólicos con lo que el atleta puede competir o entrenar nuevamente a un apropiado nivel.

La recuperación desde el entrenamiento y la competencia es compleja y depende de la naturaleza del ejercicio realizado y de otros factores externos de estrés. El rendimiento atlético es afectado por numerosos aspectos, por lo tanto, una adecuada recuperación debería también considerar tales factores como podrían ser, musculares, nutricionales, psicológicos, emocionales, descanso y reposo, etc.

En esta investigación lo que se plantea y buscará, será evaluar el nivel de fatiga neuromuscular que genera una carrera de 10km, para posteriormente poder determinar el tiempo óptimo de recuperación con el propósito de, evitar futuras posibles lesiones, en un grupo de 10 corredores no profesionales, “amateur”, pero con un cierto nivel de entrenamiento y determinada antigüedad en la práctica deportiva.

Lo que quedará apartado en esta investigación, serán los métodos utilizados para la recuperación, ya que la misma estará direccionada hacia otra perspectiva. No se propondrá a los atletas que realicen ningún método de recuperación, ya que lo que se buscará en esta investigación es comparar los datos de los test obtenidos luego de la carrera, con los de antes de la misma, proponiéndole a los corredores, que no empleen ningún método de recuperación, solamente sueño, hidratación y descanso, como lo realizan habitualmente.

Y se dejará para posiblemente otra investigación, determinar que método de recuperación es más eficaz para una determinada población, luego de una determinada carrera.

Para poder determinar el nivel de fatiga neuromuscular que provoca dicha carrera, se le realizaran unos test de evaluación de la fuerza y potencia a nivel neuromuscular del tren inferior. La misma se estimará con 2 test de forma indirecta, los cuales serán el CMJ (countramovement jump) siguiendo el protocolo de ejecución dictado por sus fabricantes, (Axon Jump). Y el otro test, será un “sprint” de 10 metros, se colocarán dos barreras de fotocélulas marca Procell para registrar con total precisión y exactitud el tiempo y la velocidad alcanzada. Además, una vez finalizada la carrera, se les dará una escala de percepción de esfuerzo (Escala de Borg) y ellos indicaran que nivel de fatiga sienten en ese momento, y la misma se repetirá en cada evaluación.

Estos test se realizarán unos minutos antes del comienzo de la carrera, para tener información del estado de pre-competencia, y una vez finalizada la misma, se dejará a los atletas unos minutos (10’) para que puedan realizar la correcta hidratación, y recuperación. Posteriormente se realizan los mismos test, siguiendo el protocolo de ejecución, y se repetirán a las 2 Hs., a las 24 Hs., y a las 48 Hs. de finalizada la carrera. Y a partir de estos valores, se hará una comparación con los niveles de la pre-competencia, y se buscará establecer un tiempo óptimo de recuperación para estos corredores.

## **Objetivos:**

### **Objetivo General:**

- Evaluar el nivel de fatiga neuromuscular que provoca una carrera de 10 Km. para determinar el tiempo óptimo de recuperación y evitar posibles lesiones a futuro, en un grupo de corredores no profesionales “amateurs”

### **Objetivos Específicos:**

-Medir el nivel o estado neuromuscular antes de la carrera de 10 km. y luego de finalizarla, a las 2 Hs., 24 Hs., y 48 Hs.

- Comparar los niveles de fatiga neuromuscular, luego de la carrera de 10 km. con los obtenidos antes de la misma.

-Establecer el tiempo óptimo para la recuperación del estado neuromuscular de los corredores, luego de una carrera de 10 Km.

## **Hipótesis:**

La hipótesis planteada para este proyecto de investigación, puede definirse de tipo causal, respondiendo a que se espera que a menor nivel de entrenamiento, propio de los corredores recreacionales, la fatiga “neuromuscular” sea mayor, luego de una carrera de 10 km. Encontrándose una estrecha relación entre el nivel de fatiga neuromuscular y el tiempo óptimo de recuperación, respondiendo a que a mayor nivel de fatiga, mayor será el tiempo de recuperación de los corredores, para que esta última sea “optima”.

A partir de la bibliografía consultada, la hipótesis propuesta es que, al finalizar este tipo de carreras, en este caso 10 km de calle, los valores obtenidos en la pre-competencia de la fuerza y la potencia funcional de los miembros inferiores se mantendrán deprimidos por aproximadamente un rango de 36 a 48 horas, luego de la competencia. Recomendando de esta manera, mantener un periodo de recuperación adecuado, en donde se repongan no solo los niveles metabólicos, sino también los neuromusculares, como así también fisiológicos y psicológicos.

**Justificación:**

La justificación de este proyecto de investigación, tiene su génesis en la gran masificación de este deporte en la ciudad de Rosario, y en toda la república Argentina, donde es frecuentemente observable que las carreras, generalmente, se corren los días sábados o domingo ya sea carrera de calle o de trail-running, en cualquiera de sus distancias, y al día siguiente o a los 2 días los corredores ya se encuentran entrenando nuevamente. O también muchas veces se suele correr otra carrera, de “x” km, posteriormente a los 5 días o menos de haber corrido los 10 km a alta intensidad. De esta situación, surgió el interés de pensar si realmente 24 horas, o 48 horas después de a ver finalizado una carrera, cualquiera que sea, el cuerpo y el organismo se encuentra óptimo para volver a recibir otra carga de trabajo, o es aconsejable realizar otro tipo de actividad de recuperación.

El interés es poder determinar el tiempo óptimo de recuperación, luego de una carrera de 10 km en la ciudad de Rosario, con un grupo de corredores (10) evaluando distintos parámetros teniendo en cuenta la función neuromuscular de las acciones una vez finalizada la carrera.

Dentro de la literatura científica consultada, se han encontrado algunas investigaciones que tratan sobre esta temática, pero la discrepancia es que la muestra que utilizan estos investigadores, son frecuentemente atletas olímpicos, mundialistas, o plusmarquistas, “elite”. Y prácticamente no existen investigaciones, referidas a este tema que sea hayan realizado con deportistas amateur, no profesionales.

Este trabajo brindara información del tiempo que tarda en recuperarse estos atletas para poder volver a someterse a una carga de entrenamiento, sabiendo que su estado neuromuscular se encuentra en iguales condiciones que los resultados obtenidos antes de la carrera. Y de esta manera poder determinar el tiempo óptimo de recuperación luego de una carrera de 10 km.

# **CAPÍTULO II**

## **Antecedentes y estado del arte**

Existen numerosas investigaciones que abordan la temática del presente trabajo investigación, por lo cual el desarrollo del estado del arte será con aquellas investigaciones que fueron relevantes y significativas, para la construcción y desarrollo del marco teórico.

Como base para pensar el estado de la cuestión se cita a (Kim Petersen , Claus Bugge Hansen, Per Aagaard, Klavs Madsen, 2007) quienes se propusieron investigar la magnitud de la fatiga neuromuscular, es decir, los factores centrales versus periféricos inducidos por el maratón de élite. Además, el estado neuromuscular fue examinado antes y después de la carrera con el fin de encontrar posibles vínculos entre estado y las variables de fatiga neuromuscular. Finalmente, se trató de seguir la capacidad de recuperación y el estado neuromuscular, en los corredores de maratón de élite en los días posteriores de haber realizado la misma.

La investigación que realizaron fue sobre once corredores masculinos de maratón de élite que se ofrecieron voluntariamente para participar en este estudio. Tres sujetos no pudieron completar la carrera debido a lesión (una) y fatiga temprana (dos), y fueron excluidos del estudio. De esta manera, ocho corredores experimentados daneses de élite, completaron el estudio. Todos los sujetos dieron su consentimiento por escrito para participar en el estudio. El estudio fue aprobado por el comité de ética local y se llevó a cabo de acuerdo con la Declaración de Helsinki II.

Diseño experimental: los sujetos fueron reportados al laboratorio en cuatro ocasiones: 7 días antes, inmediatamente después (20 a 30’), 2 días después, y 5 días después de la carrera de maratón. En el laboratorio, cada sujeto fue sometido a pruebas de VO2max (sólo pre-prueba) y VO2submax en una cinta. Se midieron los parámetros de fuerza isométrica (MVC) para el flexor plantar (FP) y musculo extensores de la rodilla (KE) en todas las ocasiones. Las propiedades contráctiles del músculo evocado se midieron mediante estimulación eléctrica subcutánea del vasto lateral. Para obtener una medida de la fuerza y potencia funcional se realizó un salto vertical con contra-movimiento (CMJ) en una alfombra de fuerza.

Los autores concluyeron que los datos indican que la fatiga experimentada por los corredores de élite después de una carrera de maratón es de origen central más que periférico. Por lo tanto, no se observó fatiga de baja frecuencia (LFF) y la fuerza voluntaria máxima (MVC) de los KE (extensor de la rodilla), disminuyó sin ningún signo de empeoramiento en las propiedades musculares intrínsecas. El gasto de energía en el ritmo medio de carrera (EEMpace) fue significativamente elevado después de completar un maratón, pero se bajó 2 y 5 días después de la maratón en comparación con los valores de pre-prueba. El patrón de recuperación para la fuerza voluntaria máxima de los extensores de rodilla (KE) y del flexor plantar (FP) mostraron un comportamiento diferente a medida que la fuerza voluntaria máxima de los extensores de rodillas (KE) se recuperaba hasta prevalecer después de 2 días, mientras que para el flexor plantar (PF), necesitó 5 días para recuperarse completamente.

El poder de salto vertical evaluado en un CMJ permaneció deprimido 5 días después de la finalización de una carrera de maratón indicando una disminución prolongada de la función del músculo.

Otros autores tales como, (T J Carroll , J L Taylor , S C Gandevia, 2017) de la Universidad de Queensland (Australia), siguiendo la misma temática de investigación concluyeron que el tiempo-curso y los mecanismos de la recuperación después de un ejercicio fatigante son altamente dependientes de las características del ejercicio anterior. Afirman que en la actualidad no está claro qué factores subyacen a la fatiga central prolongada que puede acompañar el ejercicio articular y locomotor de larga duración. Y además sugieren que queda trabajo para documentar cómo la duración de la recuperación neuromuscular se ve afectada por la intensidad y duración del ejercicio. Una mejor comprensión de los factores que modulan la recuperación de la fatiga muscular puede ser de uso práctico para mejorar la rehabilitación y el rendimiento deportivo.

Otro grupo de investigadores (Hakkinen & cols, 1993), llevaron adelante un proyecto de investigaciones en donde se evaluó la fatiga y recuperación neuromuscular en atletas masculinos y femeninos durante manifestaciones de fuerza (levantamiento de pesas). Evaluaron a diez hombres y nueve mujeres atletas, que realizaron un ejercicio extenuante de fuerza. Los sujetos tensaron los músculos extensores de las piernas con la misma intensidad relativa máxima realizando una sentadilla con una carga de 100% de I RM (una repetición máxima). Se midieron la activación neural voluntaria máxima (EMG integrada), la fuerza isométrica bilateral máxima, la fuerza-tiempo y las curvas de tiempo de relajación de los músculos extensores de la pierna antes e inmediatamente después de la sesión de ejercicio, así como después de descansar durante 1 hora, 2 horas, 1 día y 2 días. Obteniendo los siguientes resultados, la fuerte carga de pesas puede resultar en una considerable fatiga aguda en el sistema neuromuscular que conduce no sólo a la disminución de la capacidad de producción de fuerza de los músculos sino también a una disminución en la activación neural voluntaria de los músculos ejercitados. En los varones la fatiga neuromuscular durante la carga extenuante puede ser mayor y la recuperación aguda de la fatiga es más lenta que en las mujeres.

(M Giandolini , N Horvais , J Rossi , G Y Millet , J-B Morin , P Samozino , 2015), se propusieron investigar las alteraciones neuromusculares periféricas y centrales agudas y retardadas inducidas por un corto e intenso descenso por un sendero. El objetivo principal de esta investigación fue examinar las consecuencias de la fatiga neuromuscular periférica y central en los extensores de la rodilla (KE) y los flexores plantares (PF). Un total de 23 corredores realizaron un Trail-Run de 6,5 km (caída de 1264 m) lo más rápido posible. Se registró continuamente la actividad electromiografía del vasto lateral (VL) y del gastrocnemio lateral (GL). Se evaluaron las funciones neuromusculares pre, post y dos días posteriores al Trail-run. Estos autores exponen que un Trail-Run de 6,5 km indujo pérdidas sustanciales en el KE y PF que todavía eran evidentes 2 días después. Inmediatamente después de la corrida, se observaron fatiga periférica, incluyendo deficiencia en la excitabilidad de las fibras musculares, fallo del acoplamiento excitación-contracción y fatiga central, caracterizada por un déficit en activación voluntaria (VA). Dos días después, el déficit en VA durante la flexión plantar seguía presente. En segundo lugar, estos resultados sugieren que la intensidad del descenso, cuando se considera como un estímulo de entrenamiento específico, debe realizarse con precaución, dado su impacto sustancial en las funciones neuromusculares. En tercer lugar, la minimización de los daños músculo-esqueléticos y la fatiga se considera un factor determinante del rendimiento en el Trail-Run. Se demostró que la cantidad de solicitación muscular durante la carrera descendente influye en el grado de fatiga neuromuscular. Debido a que la biomecánica en ejecución altera la actividad muscular, podría ser interesante estudiar hasta qué punto la variación de la cinemática en funcionamiento influye en la gravedad de la fatiga neuromuscular después de una carrera descendente.

Como se puede observar en esta recopilación de investigaciones, todos concluyen que aproximadamente la fatiga neuromuscular, siendo de origen central como periférico, tarda aproximadamente entre 24 y 48 horas, para recuperarse completamente, luego de haber realizado un ejercicio fatigante, de larga duración y en algunas ocasiones con alta intensidad. Se pudo observar como la fatiga influye en el desarrollo de cada actividad, ya que en la presente revisión se tuvieron en cuenta no solo la disciplina deportiva del “running” sino otros como los ejercicios de fuerza. Vale aclarar que, en estas investigaciones, los sujetos evaluados, generalmente tenían un alto grado de entrenamiento, y en algunos de ellos eran atletas de elite. Afirmando de esta manera que falta hacer hincapié en aquellos deportistas recreacionales y/o amateurs, que entrenan con cierta regularidad, pero no tienen el nivel de entrenamiento de estas personas que se sometieron a las pruebas.

## **Marco teórico:**

**Fatiga:**

La fatiga muscular, es uno de los principales temas investigados dentro del área de fisiología del ejercicio, siendo bien conocida pero no bien definida y entendida (Silva, S.; Goncalves, M., 2003) por lo que el interés por su estudio ha aumentado. Por mucho tiempo fue descrita como una reacción del músculo al ácido láctico, formulándose la hipótesis de que una cantidad fija de lactato resultaría en una reducción fija de la tensión (Hill, A.;Kupalov, P, 1929). Asimismo, (Kugelber & Edstrom, 1968), demostraron que las fibras pueden ser altamente fatigables o presentar moderada resistencia a la fatiga, por causa de la depleción de glucógeno en las unidades motoras. De ese modo, son muchos los conceptos dados para definir a la fatiga muscular; fenómeno reversible ( (D G Allen, G D Lamb, H Westerblad, 2008), considerado como un conjunto de manifestaciones sintomáticas producidas por trabajo o por un ejercicio prolongado (Rossi & Tirapegui, 1999)o una deficiencia en sustentar un nivel particular de desempeño durante un ejercicio físico (David & Bayley , 1997), sea de resistencia o en estados de sobreentrenamiento (Davis , 1995). (Davis, M.; Fitts, R, 2001) (Cooke, R.; Pate, E, 1990)

Generalmente, también está asociada a la incapacidad del músculo esquelético de generar elevados niveles de fuerza muscular (Green, 1997/95) (Enoka, R.; Stuart, D., 1992) y potencia (Edwards, 1981) a la incapacidad de mantener una determinada intensidad de ejercicio en el tiempo, a la disminución de la velocidad de contracción y al aumento del tiempo de relajación muscular ( (Allen, D.; Lännergren, J.; Westerblad H, 1995) (Bangsbo, 1997); (Davis, M.; Bailey, S, 1997); (McKenna, 1992) (Newsholme, E.; Blomstrand, E.; Ekblom, B., 1992); (Pagala, M.; Ravindran, K.; Amaladevi, B.; Namba, T.; Grob, D., 1994); (Sahlin, 1992), generando de esa forma una disminución en el rendimiento (Mannion, A.F.; Dolan, P, 1996), por lo que, para los entendidos en el área de desempeño físico, resulta un importante indicador de uno de los factores de riesgo para la ocurrencia de lesiones por sobrecarga (Ascensão, A.; Magalhães, J.; Oliveira, J.; Duarte, J.; Soares, J., 2003), mostrándose como un antecedente de algún tipo de injuria relacionada al deporte (Duarte, V.; Dias, D. & Melo, H, 2008)

Es un fenómeno complejo y sus causas son multifactoriales, por lo que además se combinan entren sí. Los mecanismos están basados en factores relacionados con el ejercicio (tipo de ejercicio, velocidad, duración de la contracción muscular, intensidad, pausas, etc.) y factores relacionados con el individuo al momento de realizar el ejercicio (reservas de energía, sexo, edad, acondicionamiento físico, emocional, estrés, descanso, alimentación, hidratación, etc.)

La evidencia y la literatura científica indicarían, que cuando el ejercicio es máximo o sub máximo, la fatiga proviene de una disminución neuromuscular en la producción de fuerza después de diferentes fenómenos fisiológicos. Para entender la fatiga, es necesario ser claro sobre la fisiología de la contracción del músculo esquelético, de las fuentes de producción de energía, de los desechos y sustancias intermedias, de la inhibición en la actividad enzimática, de los desplazamientos de electrolitos, y de los procesos inhibidores del SNC. (P. O. Astrand (coord.), Roy J. Shephard (coord.), 1996)

**Causantes de la fatiga:**

(P. O. Astrand (coord.), Roy J. Shephard (coord.), 1996) Plantean que pueden ser distintas las causas por la que la fatiga se hace evidente, y la misma se nombraron de la siguiente manera:

-Disminución de las reservas energéticas (por ejemplo, fosfocreatina o glucógeno)

-Acumulación de sustancias intermedias y terminales del metabolismo (por ejemplo, urea, lactato, etc.)

-Inhibición de la actividad enzimática por un aumento de la acidez o cambios en la concentración de enzimas.

-Desplazamientos de electrolitos (por ejemplo, del potasio y del calcio, de la membrana celular).

-Disminución de las hormonas por el esfuerzo fuerte y continuo (por ejemplo, la adrenalina y noradrenalina como sustancia de transmisión, la dopamina en el SNC).

-Cambios en los órganos celulares (por ejemplo, en las mitocondrias y en el núcleo de la célula).

-Procesos inhibidores a nivel del SNC por la monotonía de las cargas.

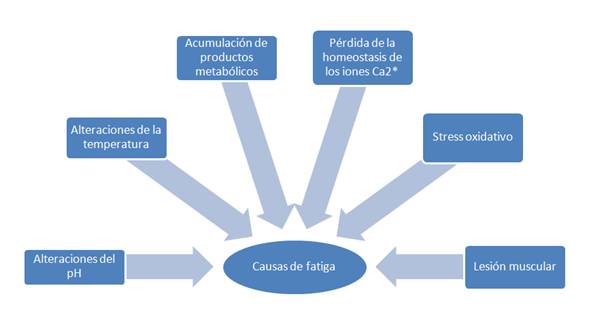
-Cambios en la regulación a nivel celular dentro de cada uno de los sistemas orgánicos y con referencia a la central integradora de control.

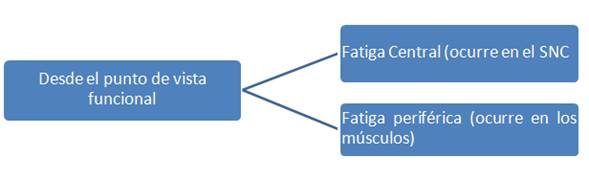
Pero también hace referencia a estados de fatiga mental, (paro transitorio de la capacidad de concentración), sensorial (disminución transitoria de la percepción sensorial sobre todo visual, auditiva y táctil) motor, (reducción transitoria de la emisión de estímulos motrices a través del SNC, este sería el caso de fatiga neuromuscular, según este autor.) y, por último, de tipo motivacional (ausencia de estímulos volitivos o bien emocionales)

Otros investigadores agregan a los mencionados anteriormente como posibles causas de fatigas, las alteraciones del ph, de la temperatura y del flujo sanguíneo, la pérdida de la homeostasis del ión Ca2+, el papel de la cinética de algunos iones en los medios intra y extracelular (como el K+, Na+, Cl- Mg2+), la lesión muscular (inducida por el ejercicio) y el estrés oxidativo (Ascensão, A.; Magalhães, J.; Oliveira, J.; Duarte, J.; Soares, J., 2003)

Sin embargo, a pesar de la gran cantidad de estudios, los mecanismos asociados a su etiología se encuentran aún por determinar (Green, 1997/95) (McLester, 1997)consecuentemente una de las principales dificultades al investigar la fatiga se debe a la naturaleza multifactorial y complejidad de la misma ( (McArdle, W.; Katch, F.; Katch, V, 1998) (Kirkendall, 2000), de donde se deriva una división funcional de la misma, en fatiga central y fatiga periférica (Duarte, V.; Dias, D. & Melo, H, 2008), que lleva en cuenta factores metabólicos interactivos que afectan a los músculos (fatiga periférica) y al cerebro (fatiga central) durante la realización del trabajo físico intenso en atletas y otros individuos (Lehmann, M.; Foster, C.; Keul, J., 1993)

A modo de referencia, se esquematizan 2 cuadros para su mejor comprensión, propuestos por (Gómez-Campos, R., 2010)

****



**Fatiga neuromuscular (central y periférica):**

La fatiga neuromuscular se puede dividir en fatiga central y periférica. La fatiga central incluye factores supraespinales y espinales, mientras que la fatiga periférica se refiere a las propiedades contráctiles del músculo y a la velocidad de transmisión y conducción del potencial de acción de las terminaciones nerviosas a lo largo del sarcolema (Gandevia, 2001)

En un “review” realizado por (Wim Ament , Gijsbertus J Verkerke, 2009)en varias universidades de Holanda, afirmaron que, en la fatiga periférica, el origen de la misma se encuentra fuera del SNC. En todos los demás casos la fatiga se genera en alguna parte del SNC. Sin embargo, estos términos se pueden definir con mayor precisión. La fatiga periférica se define como la pérdida de fuerza o poder de contracción causada por procesos distales a la unión neuromuscular y la fatiga central es una pérdida similar próxima a la unión neuromuscular.

Durante el ejercicio muscular, un mayor sentido del esfuerzo significa probablemente que, por alguna razón, el ejercicio o la contracción sólo puede continuar a expensas de una mayor intensidad de órdenes corticales. Las razones para tales requisitos de mando cambiados son a menudo periféricas (caída de la capacidad de producir fuerza en los músculos) pero también pueden estar situadas dentro del SNC (por ejemplo, cambios en las propiedades neuronales y / o sinápticas). (Wim Ament , Gijsbertus J Verkerke, 2009)

Cuando el músculo recibe un estímulo en forma de potencial de acción, el retículo sarcoplasmático (RS) libera Ca+, el cual se liga a la troponina y forma el complejo tropomiosina, exponiendo a su vez la actina, el sitio de ligación para la cabeza de la miosina (Duarte, V.; Dias, D. & Melo, H, 2008) así la cabeza de miosina desligada de la actina, en presencia de ATP, utiliza la energía de la hidrólisis del ATP para moverse, ligándose enseguida a la actina, empujando el filamento fino a lo largo del filamento grueso, haciendo que el sarcómero se acorte y se produzca el proceso de contracción muscular (Scott, 2001)

La incapacidad de mantener ese potencial de acción (que depende de la capacidad de recapturar los iones de potasio K+, para dentro de la célula y desprender los iones sodio Na+, con el fin de repolarizar la membrana sarcoplasmática y permitir la entrada de un nuevo impulso eléctrico, (Green, 1997/95) constituye un importante factor desencadenador de la fatiga; de ese modo, se considera que la Fatiga Periférica, resulta de las alteraciones de la homeostasis en el músculo esquelético (Ascensão, A.; Magalhães, J.; Oliveira, J.; Duarte, J.; Soares, J., 2003) debido a una falla o limitación de uno o más procesos en la unidad motora (nervios periféricos, ligaciones neuromuscular o fibras musculare) (Edwards, 1981). Así, como consecuencia de la disminución del pH sistólico, se produce un aumento de la capacidad del retículo sarcoplasmático para retener el Ca+, reduciendo la estimulación del proceso contráctil (Nakamura, Y.; Schwartz, A., 1972). En ese sentido, varios estudios (Allen, D.; Lännergren, J.; Westerblad H, 1995); (Appell, H.; Soares, J.; Duarte, J, 1992), (Gandevia, 2001); (McKenna, 1992); (McLester, 1997) (Sahlin, 1992) le dan un sustento científico a la fatiga muscular, enfocado en los factores que resultan de la disfunción del proceso de contracción, como impedimentos en la transmisión neuromuscular en el RS; así también, otro estudio (Williams, J.; et al., 1998), realizado en modelos animales, corrobora que el desarrollo de la fatiga está asociado a alteraciones funcionales del RS y a las propiedades del aparato contráctil, relacionadas a los puentes cruzados del ciclo cinético con el aumento de Ca+.

La fatiga muscular, depende del tipo, duración e intensidad del ejercicio, del tipo de fibra muscular reclutada, del nivel de entrenamiento del sujeto y de las condiciones ambientales de realización del ejercicio (Davis, M.; Fitts, R, 2001); (Enoka, R.; Stuart, D., 1992); (Fitts, R.; Metzger, J. , 1998); (Roberts, D.; Smith, D, 1989) En ese sentido, cabe considerar que en el músculo esquelético, la glucosa es el almacén de glucógeno, y este es la fuente de mayor almacenamiento de energía durante varias formas de actividad muscular (Allen, D.; Lamb, G.; Westerblad, H, 2008), por lo que, durante la realización de ejercicios físicos se producen alteraciones metabólicas de suma importancia (Coyle, E.; Hagberg, J.; Hurley, B., Martin, W., Ehsani, A., Holloszy, J, 1983), que envuelven la deficiencia de energía para el trabajo muscular, conocida también como “Hipótesis de la depleción de glucógeno” (Snyder, 1998), donde de acuerdo con la duración e intensidad del ejercicio hay una activación de los sistemas energéticos y metabólicos específicos (Lancha Junior, 1996) generando la disminución en la disponibilidad de substratos energéticos al músculo esquelético activo durante el ejercicio (Ascensão, A.; Magalhães, J.; Oliveira, J.; Duarte, J.; Soares, J., 2003). Esta hipótesis que fue justificada por (Davis, M.; Fitts, R, 2001) (Fitts, R.; Metzger, J. , 1998) (Sahlin, 1992) indicando que, durante la realización de ejercicios de alta intensidad, donde hay una producción elevada de energía obtenida a través de la vía glucolítica “no oxidativa”, se genera una disminución del glucógeno muscular, con la consiguiente producción de lactato y la intervención del sistema de regeneración del ATP, Creatinfosfato. En el caso de la ejecución de ejercicios prolongados de baja intensidad, donde existe una baja producción de energía, el ATP se obtiene de la degradación oxidativa de substratos metabólicos como el glucógeno muscular, la glucosa sérica, los ácidos grasos libres oriundos de los músculos o del tejido adiposo (Duarte, V.; Dias, D. & Melo, H, 2008) ,siendo característica de la fibra muscular, el consumo de ATP, y producción de ADP y Pi, mucho más rápido de lo que se regenera (Allen, D.; Lamb, G.; Westerblad, H, 2008)

Por otro lado, durante el ejercicio moderado, el músculo esquelético activo se torna la principal fuente de amonio ((Lowesntein, 1978) que es producido por las reacciones celulares durante el ejercicio asociado tanto a la fatiga central como la periférica (Banister, E.W.; Cameron, B.J.C, 1990) (Banister, E.; Rajendra, W.; Mutch, B., 1985); (Guezennec, 1998). Durante el ejercicio prolongado la concentración plasmática de amonio puede elevarse significativamente, lo que depende de la intensidad y duración del ejercicio (Eriksson, L.; Broberg, S.; Bjorkman, O.; Wahren, J., 1985); (Lo, P.; Dudley, G., 1987) (Ament, W.; Huizenga, J.; Mook, G.; Gip. H.; Verkerke, G, 1997); (Snow, 2000), y aunque parte de la cantidad de amonio permanece en el musculo esquelético la mayor parte es liberada a la circulación sanguínea, que al ser capaz de atravesar la barrera hematoencefálica (Bachmann, 2002), puede acumularse en altos niveles en los espacios intra y extracelulares del SNC y ocasionar importantes efectos a nivel de los neurotransmisores en el metabolismo cerebral y en la circulación (Banister, E.W.; Cameron, B.J.C, 1990), cuyos disturbios pueden contribuir negativamente en la funciones del cuerpo durante el ejercicio (Davis, M.; Bailey, S, 1997), provocando perturbaciones cerebrales que pueden influir en el desarrollo de la fatiga central. Sin embargo, una reducción en los niveles plasmáticos de amonio durante el ejercicio, puede aumentar la capacidad individual para soportar la intensidad del ejercicio exhaustivo (Yuan, 2002); (Nybo, L.; Dalsgaard, M, 2005)

La fatiga central es probablemente la que presenta mayores controversias entre los investigadores (Gandevia, 2001), al referirse a las alteraciones en el funcionamiento cerebral (Davis, M.; Bailey, S, 1997) traducidas en una falla voluntaria o involuntaria en la conducción del impulso (Stackhouse, S et. Al, 2000); (Sunnerhagen, K; Et A, 2000), que pueden ocurrir en uno o más niveles de las estructuras nerviosas que intervienen en la actividad física, lo cual puede provocar una alteración en la transmisión desde el SNC o en el reclutamiento de los axones motores (Santos, M.; Dezan, V.; Sarraf, T. , 2003).

El papel del SNC en el origen de la fatiga, investigado a nivel muscular por (Allen, D.; Lännergren, J.; Westerblad H, 1995), (Stackhouse, S et. Al, 2000), determinan que la fuerza máxima que el sujeto consigue generar voluntariamente, es comparada con la fuerza producida supramaximalmente por electro estimulación exógena del nervio motor o del propio músculo (Allen, D.; Lamb, G.; Westerblad, H, 2008) (Davis, M.; Fitts, R, 2001), concluyéndose inicialmente que la disminución de la actividad nerviosa, y por ende del Sistema Nervioso (SN), no representaba un factor relevante en la instalación de la fatiga muscular (Ascensão, A.; Magalhães, J.; Oliveira, J.; Duarte, J.; Soares, J., 2003) sin embargo, estudios recientes justifican la importancia de los mecanismos centrales en el mantenimiento de un determinado nivel de fuerza (Davis, M.; Bailey, S, 1997); (Davis, M.; Fitts, R, 2001); (Gandevia, 2001)

Cabe destacar, que uno de los probables mecanismos asociados a la fatiga central, está relacionado a la alteraciones en la síntesis y en la actividad de algunos neurotransmisores (Silva, A.; Oliveira, F.; Silva, M, 2006), hecho de donde deriva la llamada “Hipótesis de la Fatiga Central”. La serotonina (5-hidroxitriptamina: 5-HT) derivada del triptófano, la histamina deriva de la histidina y las catecolaminas – dopamina, norepinefrina y epinefrina derivan de la tirosina. En consecuencia, producto del ejercicio físico intenso y prolongado, estas aminas o neurotransmisores influyen en el desarrollo de la fatiga, aunque aún poco se sabe respecto a los mecanismos que envuelven este proceso de fatiga (Davis , 1995); (Davis, M.; Bailey, S, 1997)

### **Estimación del nivel de fatiga neuromuscular - Instrumentos de medición.**

El grado de fatiga en los mismos músculos puede estimarse usando, por ejemplo, estimulación eléctrica para evaluar si su fuerza máxima ha disminuido. En algunas condiciones experimentales, el componente de la «fatiga central» se puede estimar comparando la fuerza máxima obtenida voluntariamente con la fuerza resultante de la estimulación eléctrica voluntaria eléctrica (por ejemplo, la «técnica de interpolación de contracción»). Durante las contracciones isométricas sostenidas los músculos se activan eléctricamente. Esta activación crea una contracción superpuesta. Mediante esta técnica se puede distinguir entre componentes de fatiga en el músculo contraído (fatiga periférica) y componentes dentro del SNC (fatiga central). Además de los cambios centrales que provocan un impulso central menos eficiente de las neuronas motoras, los episodios prolongados e intensos de ejercicio motor pueden también causar cambios cualitativos en el control del movimiento del SNC, con una pérdida de coordinación y menor corrección de errores.

Con la alfombra del salto, realizando el CMJ (countramovement jump) se obtiene información sobre la fuerza y potencia funcional a nivel muscular del tren inferior o superior (Millet & cols, 2003) (Skof & Strojnik, 2006)

**Principio de la sobrecarga**

El proceso de entrenamiento deportivo se diseña con el objetivo de mejorar el rendimiento a través de alteraciones o cambios funcionales en el organismo. Dichos cambios están relacionados con modificaciones en la homeostasis que llevan a la adaptación.

Los Entrenadores Deportivos aplican muchos principios biológicos, particularmente el principio de “dosis y respuesta” (dosis: estímulo de entrenamiento; respuesta: resultado o adaptación de la sesión de entrenamiento) para mejorar las resultados adaptativos.La correcta manipulación de las variables como Planificación, Métodos de Entrenamiento, Nutrición e Hidratación, Biomecánica, Psicología, entre otras, no sólo pueden introducir cambios en la adaptación a la carga de entrenamiento sino que además pueden acelerar los procesos de recuperación. (Lamberts, R. P. et al, 2010)

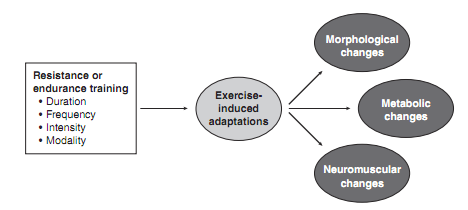
Existen dos tipos de estímulos, dentro del entrenamiento deportivo: Estimulo agudo, Estimulo crónico.

Estimulo Agudo:

* Una sesión de entrenamiento puede ser explicada en términos de estrés fisiológico, donde la homeostasis sufre cambios en las células musculares.
* Luego de una sesión de ejercicio, la adaptación aguda revierte los cambios hacia la situación de pre-ejercicio.

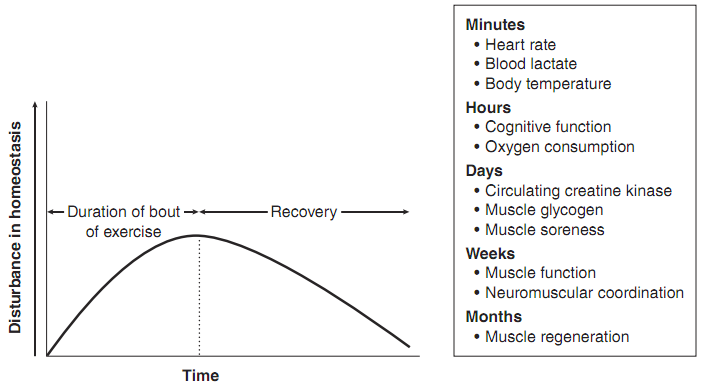
Estimulo Crónico:

* Las adaptaciones a largo plazo son debidas a los efectos acumulativos de cada sesión de entrenamiento.
* Desde una perspectiva biológica, completar una serie de ejercicios luego de un proceso de entrenamiento disminuye los disturbios en la homeostasis que realizar la misma tarea en estado desentrenado.



(Mujika, 2013)

Luego de una serie de ejercicios, los diferentes sistemas fisiológicos pueden tomar minutos, horas, días, semanas y hasta meses para recuperarse y adaptarse, dependiendo de la duración, intensidad, y la modalidad de ejercicio.



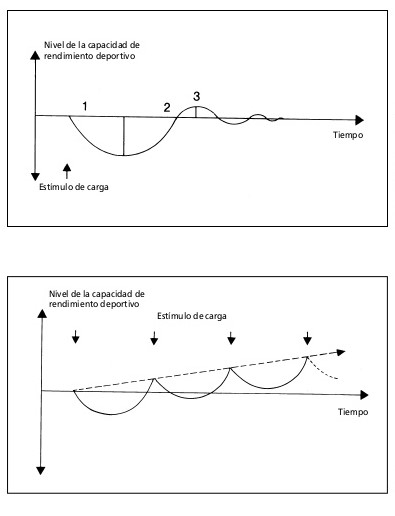
(Mujika, 2013)

La sobrecarga puede ser impuesta en diferentes vías. Las más comunes vías de ajuste son la Frecuencia, Duración e Intensidad de la sesión de entrenamiento, como también un programa de entrenamiento debería progresivamente incrementar la carga por adecuada manipulación de la frecuencia, duración, intensidad, y recuperación, inter e intra-sesiones. Este principio de sobrecarga es aplicable tanto para el entrenamiento de la Endurance como para el de Fuerza, respetando las etapas en que cada deportista se encuentre y los tiempos de carga-descarga, como así también los tiempos de recuperación (Lambert, M. I., Mujika, I, 2013)

Una adecuada recuperación debería ser integrada dentro del programa de entrenamiento para asegurar un balance entre estímulos y recuperación además de evitar el sobreentrenamiento (fatiga excesiva que puede llegar a ser crónica).

El proceso de desarrollo de los fenómenos de adaptación originarios por el entrenamiento discurre en fases. Se distinguen la fase de carga y la fase de recuperación, incluida la supercompensación. Después de una carga, se produce una merma transitoria de la capacidad de rendimiento deportivo (caída del potencial energético), seguida de un nuevo ascenso (en la fase de recuperación) por encima del nivel de partida. Esta situación de mayor capacidad de rendimiento energético se conoce como “supercompensación” (Weineck, 2015)

El concepto “supercompensacion” solo se debería utilizar para describir los cambios, condicionados por el entrenamiento, que afectan al metabolismo energético; se trata, sobre todo del nivel de fosfatos ricos en energía ( en particular del creatinfosfato) y de las reservas de glucógeno. (Weineck, 2015)



(Weineck, 2015)

**Recuperación:**

Las exigencias de rendimiento en el deporte han hecho focalizar casi exclusivamente, tanto a atletas como entrenadores, en el entrenamiento y en la competencia. Pero, el alto rendimiento deportivo y la importancia del éxito, conducen a los mismos para que continuamente busquen alguna ventaja que pueda mejorar la performance.

La tasa y la calidad de la recuperación son extremadamente importantes para los atletas, donde una óptima recuperación puede proveer numerosos beneficios durante entrenamiento y/o competiciones repetitivas.

Por lo tanto, investigar diferentes intervenciones y sus efectos en la fatiga, la tasa de lesiones, en la recuperación y en la performance es muy importante.

La recuperación es el estado funcional del deportista una vez que concluye el trabajo, donde se restablecen las reservas energéticas y todas las sustancias que intervinieron durante la ejecución de la carga física, así mismo quedan restablecidas las diversas funciones del organismo, se recupera la capacidad física de trabajo y se produce un incremento gradual de la misma.

Cuando la relación entre entrenamiento y recuperación no es balaceada, los síntomas de fatiga pueden ser desarrollados, seguido por un deterioro en el rendimiento.(Meeusen & cols, 2006). Aparentemente, un período pasivo es importante para las subsecuentes adaptaciones del entrenamiento. Por ej., la expresión de mARN de varias enzimas oxidativas es regulada luego de 24 Hs. de una serie de ejercicio (Leick et al, 2010). Esto sugiere que una importante acción asociada con las adaptaciones del entrenamiento ocurre luego de los efectos agudos de una carga.

Para la mejora de los procesos de recuperación, los atletas frecuentemente emprenden estrategias de recuperación luego del entrenamiento, tales como masaje, crioterapia, inmersión en agua de temperaturas contrastes, compresión, y estiramiento muscular -*stretching*- (Barnett, 2006). Estas sesiones cambian el balance estrés/recuperación a favor de los procesos de recuperación

Se ha podido constatar que la eficiencia del entrenamiento deportivo depende de la rapidez con que se puedan recuperar los sistemas energéticos y todos los sustratos perdidos durante el trabajo, como se ha mencionado anteriormente.

Para que el organismo retorne a la normalidad es necesario la intensificación del metabolismo proteico (síntesis de proteínas estructurales y enzimáticas destruidas durante el trabajo), restauración del equilibrio iónico y hormonal, así como el restablecimiento total de las reservas energéticas lo cual tiene lugar muchas horas después de haber concluido el trabajo.

Factores que se deben tener en cuenta durante el proceso de recuperación:

* Restauración de las reservas musculares de fosfágenos.
* Restablecimiento de la mioglobina con oxígeno.
* Reposición de las reservas de glucógenos muscular.
* Eliminación del ácido láctico de los músculos y sangre, así como de otras sustancias tóxicas al organismo que se producen durante el trabajo físico.

El tiempo de recuperación necesario de estos factores y de otros como es la cancelación de la deuda de oxígeno (fase anaerobia), la recuperación de las reservas de glucógenos hepático y la intensificación de la síntesis inductivas de proteínas estructurales y enzimáticas ocurre de forma heterocrónica, pues transcurren a diferentes velocidades y finalizan en distintos tiempos, en dependencia del tipo de ejercicio que se ejecute.

La intensificación de los procesos de recuperación da lugar a que en un instante determinado después del trabajo las reservas energéticas superen su nivel inicial, lo que se conoce como supercompensación.

**Síndrome general de adaptación (SGA) y Recuperación:**

Hans Selye, formulo en 1956 el denominado “Síndrome General de Adaptación” donde lo que intento explicar era que ante una carga de trabajo, que es muy importante que sea adecuada teniendo en cuenta todos los parámetros de la carga (Q), también era igual o aún más importante el tiempo de recuperación, ya que en este momento también se producen cambios fisiológicos y psicológicos, que conllevan a una adecuada adaptación.

El Síndrome de Adaptación General de Selye, se basa en la respuesta del organismo ante una situación de estrés ambiental o física distribuida en tres fases o etapas:

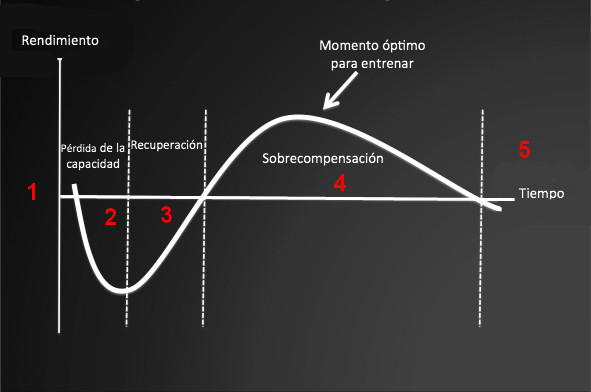
•Excitación o choque: en esta fase se producen dolores que conllevan a una reducción temporal del rendimiento y que además lleva a un estado de alarma en el organismo. Siempre que se comience con una rutina de entrenamiento, siendo esta personalizada y adaptada a las necesidades, objetivos y estado de forma, es natural que se sienta dolores musculares, propios de la actividad física, y no se esté totalmente adaptado a ella.

•Resistencia o adaptación: tras un tiempo realizando la rutina, el organismo (cuerpo) poco a poco logrará un estado en el que los músculos se irán adaptando a los estímulos, dependiendo de las actividades realizadas, lo que conllevará a un aumento del rendimiento.

•Fatiga o cansancio: sin embargo, cuando se realice un entrenamiento aumentando las cargas a lo largo de varias semanas, después de pasar por la fase de adaptación, el organismo llega a un punto en el que no es capaz de responder de forma positiva a los estímulos. Lo que sucederá será es que el rendimiento bajará y existe bastante riesgo de que se una lesión.

Se puede afirmar, que si la planificación se adecua a las particularidades de cada sujeto, se respetan los tiempos de recuperación, y se dosifican correctamente las cargas, la adaptación será positiva. De esta manera se cumpliría con uno de los objetivos del entrenamiento deportivo, el cual consta de adaptar fisiológicamente y psicológicamente al atleta a las cargas de entrenamiento (Mora, 1995)

En la siguiente imagen, se observa más claramente y de forma sintética lo que provoca una carga de trabajo y el momento “óptimo de recuperación”. Solo se aprecia a forma de explicación, ya que como se ha mencionado anteriormente, la curva dependerá del tipo de entrenamiento y de las distintas variables de la carga, ya descriptas.



(Mora, 1995)

# **CAPITULO III**

## 

## **Tipo de investigación:**

Este trabajo de investigación puede definirse de tipo descriptivo, ya que el propósito es evaluar el nivel de fatiga neuromuscular que provoca una carrera de 10 km. en un grupo de corredores, para posteriormente determinar el tiempo óptimo de recuperación. Y el mismo presentara un enfoque de tipo cuantitativo y presenta un instrumento de medición con enfoque cualitativo, como es la “escala de esfuerzo percibida” (EEP)

**Población:**

La población de estudio estará conformada por 10 corredores (masculinos), pertenecientes al grupo de entrenamiento físico, “Rosario Team Merrell”

## **Muestra:**

La selección de la muestra será probabilística, ya que los 10 seleccionados, deberán cumplir con una serie de requisitos fundamentales para el desarrollo de este trabajo de investigación y además, presentaran un consentimiento por escrito para el desarrollo de la misma.

## **Criterios de selección de la muestra:**

Los requisitos fundamentales serán:

-2 o más años perteneciendo al grupo de entrenamiento físico, “Rosario Team Merrell”

- que al menos hasta la fecha hayan corrido, un mínimo de 4 carreras de 10 km de calle (no de aventura o trail-run).

-sexo masculino, y el rango etario será de 25 a 40 años.

-todos los corredores deberán ser evaluados, y no deberán tener ningún dolor físico, ni lesión al momento de la carrera.

-todos los corredores deberán realizar el mayor esfuerzo en la carrera intentando obtener su mejor marca.

## **Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **Técnicas**

Los instrumentos para la recolección de datos serán la alfombra de salto (Axon Jump) el salto a realizar será el CMJ, siguiendo el protocolo de ejecución solicitados por sus fabricadores nombrados anteriormente y dos barreras de fotocélulas marca ProCell para registrar con alta precisión el tiempo y la velocidad de un sprint de 10 metros. Software ChronoJump.

Al finalizar la carrera, se les mostrara la “Escala de esfuerzo percibido” de Borg, para que indiquen en qué estado de fatiga se encuentran.

Ambos revelaran información acerca del estado neuromuscular, de la fuerza y potencia funcional del sujeto luego de una carrera de 10 km, a las 2, 24 y 48 horas, con el objetivo de tener un seguimiento del estado neuromuscular del sujeto y determinar el tiempo óptimo de recuperación.

### **Instrumentos:**

Para las mediciones de la fuerza y la potencia funcional de los miembros inferiores, se utilizara la alfombra de salto Axon Jump T, siguiendo el protocolo de ejecución que recomiendan sus propios fabricantes. (Millet & cols, 2003); (Skof & Strojnik, 2006)



Los requerimientos mínimos que recomiendan son los siguientes:

HARDWARE

Procesador: 486 DXII o superior

RAM: 16 Mbytes

Espacio en Disco: 8 Mbytes libres

Mouse: presente

Puerto: USB

Monitor: Recomendado: VGA 800x600 color

Drive: CD ROM

SOFTWARE

Windows® ´95, ´98, Me, NT, 2000, XP, Vista u 8

Para la evaluación del estado neuromuscular, se realizara un sprint de 10 metros, donde prácticamente no existe demanda metabólica, donde el ATP es predominantemente utilizado para la obtención de energía. Se colocaran dos barreras de fotocélulas marca ProCell para registrar con alta precisión el tiempo y la velocidad del sprint. Software Chrono Jump

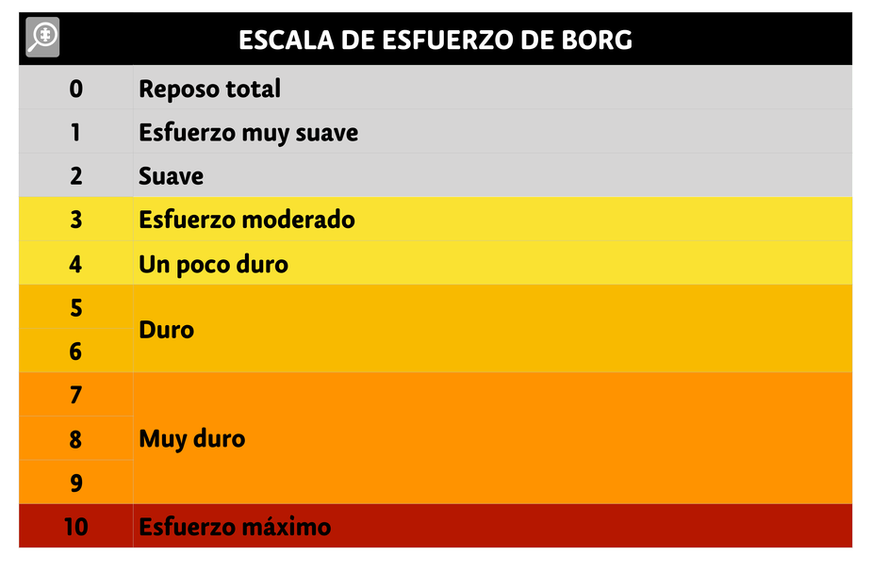




Odómetro profesional marca Cross Master para la medición de la distancia de 10 metros, con total exactitud.



La escala de esfuerzo percibida, de Borg. (modificada)



### **Procedimientos para la recolección de datos**

Las evaluaciones mencionadas anteriormente se realizaran unos 10’ aproximadamente, antes de la carrera de 10 km. Las mismas se la ejecutaran a los 10 corredores.

Y una vez finalizada la carrera, se les dará un tiempo de 10’ para que puedan hidratarse, y recuperar la frecuencia respiratoria; para luego realizar las mismas evaluaciones post carrera- a las 2 horas, 24 Hs y 48 Hs.

La entrada en calor será estandarizada y se repetirá en todas las evaluaciones, la misma durara 15 minutos.

Y la pausa intra-evaluación (diferencia entre el salto CMJ y el sprint de 10 metros) será de 3’.

En primera instancia realizaran el CMJ, con su técnica correcta.

En este salto, el atleta ingresa a la plataforma, sitúa la vista al frente, ambas manos en las caderas (imagen 1). En un movimiento descendente rápido y continuo dobla las rodillas (fase excéntrica) (imagen 2) hasta un ángulo de flexión de 90º (fase isométrica o acoplamiento) manteniendo el tronco lo más próximo al eje vertical posible y desde allí genera la impulsión vertical (fase concéntrica) (imagen 3) que lo eleva.

Durante toda la fase de vuelo al atleta debe mantener sus miembros inferiores y tronco en completa extensión, hasta la recepción con la plataforma (imagen 4).

Es muy importante comprender que la recepción durante la caída debe ejecutarse en flexión plantar a nivel del tobillo (extensión de la articulación del tobillo) y en extensión de rodilla y cadera, para luego si generar flexión de los núcleos articulares y amortiguar el impacto generado por la masa corporal durante la caída del salto.

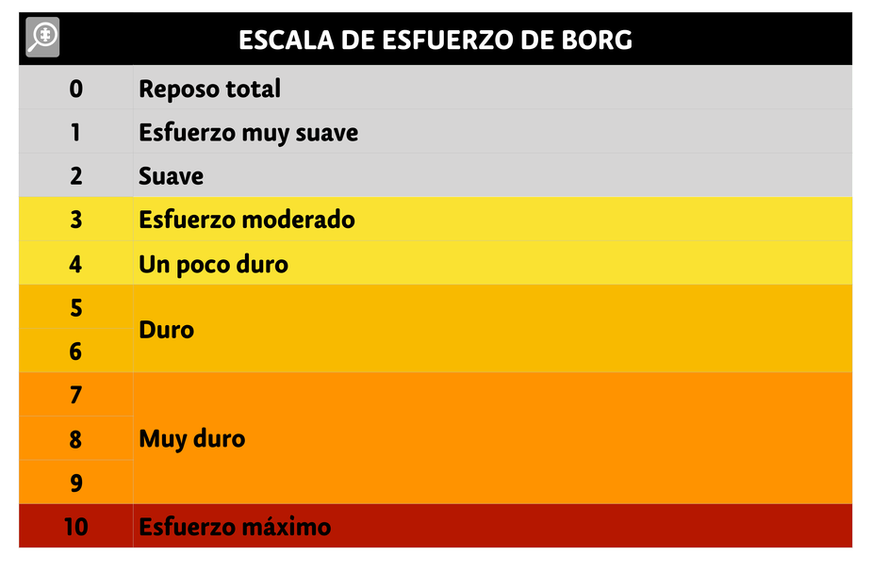


Para luego realizar el sprint, de 10 metros, en donde las fotocélulas arrojaran datos con total exactitud.

El lugar por donde realizara el sprint estará demarcado con conos amarillos, y se dejara unos 10 metros más para que el corredor pueda realizar el frenado con un espacio disponible.

10 metros.

La escala de esfuerzo percibida de Borg, (modificada) se la mostrara una vez finalizada la carrera y luego de cada evaluación. El corredor leerá la misma, e indicará con un número, como es su estado de fatiga en ese momento.



# **CAPITULO IV**

## **Resultados**

## **Análisis e interpretación de resultados (Estadística).**

El análisis estadístico realizado mediante la técnica Análisis de la Variancia y las pruebas se realizaron con un nivel de significación del 5%. ( p. valor 0.05)

La gráfica sugiere una disminución en el Tiempo de Vuelo hacia las 2 horas después de correr los 10km, recuperando valores a las 24hs y volviendo casi a la normalidad a las 48hs.

El análisis estadístico realizado mediante la técnica Análisis de la Variancia encontró los siguientes resultados:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Tiempo | Grupos/Promedios | | |
| 1 | 2 | 3 |
| Pre |  |  | 527,6 |
| 10m |  |  | 525,9 |
| 2h | 491,2 |  |  |
| 24h |  | 511,7 |  |
| 48h |  |  | 527,6 |

Se observa un grupo de 3 momentos homogéneos con promedios similares (Pre, 10m y 48h), un momento con un promedio significativamente menor (24h) y otro momento con un promedio significativamente menor a este último (2h).

ALTURA

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Tiempo | Grupos/Promedios | | |
| 1 | 2 | 3 |
| Pre |  |  | 34,11 |
| 10m |  |  | 33,93 |
| 2h | 29,45 |  |  |
| 24h |  | 32,39 |  |
| 48h |  |  | 34,12 |

La fuerte correlación (0,99) entre las variables Tiempo de Vuelo y Altura, hace que los resultados obtenidos en el análisis de la primera, sean también válidos para la segunda.

SPRINT

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Tiempo | Grupos/Promedios | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Pre | 2,0350 |  |  |  |
| 48h | 2,0550 | 2,0550 |  |  |
| 10m |  | 2,1150 | 2,1150 |  |
| 24h |  |  | 2,1500 | 2,1500 |
| 2h |  |  |  | 2,2150 |
| Sig. | ,902 | ,084 | ,543 | ,051 |

Este cuadro de resultados tiene una interpretación algo más complicada que los casos anteriores, ya que los promedios de cada momento no se pueden incluir en un único grupo.

Algunas conclusiones que sí pueden tomarse son que:

* El promedio del sprint a las 2 Hs es significativamente mayor que los promedios de todos los otros momentos (excepto 24hs). Sin embargo, la significación de este resultado es 0.051, extremadamente próximo a 0.05 por lo cual esta conclusión es bastante débil.
* Los promedios del Sprint en los momentos Pre y 48 Hs son significativamente más bajos que los demás.
* Trabajando con un nivel de significación del 10% se conformarían 3 grupos:

Pre / 48 Hs

10m / 24 Hs

2h

Resultados no muy diferentes al obtenido al analizar otras variables.

EEP

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Tiempo | Grupos/Promedios | | |
| 1 | 2 | 3 |
| 48h | 1,7000 |  |  |
| 24h | 2,2000 | 2,2000 |  |
| 2h |  | 2,8000 |  |
| 10m |  |  | 9,5000 |

En este caso se observa que la EEP a los 10m tiene un promedio significativamente mayor que en los otros momentos.

También existen diferencias significativas en la EEP entre los momentos 2 Hs. y 48 Hs, siendo mayor en el primero (2Hs)

# **CAPITULO V**

## **Discusión**

Como ya se ha mencionado anteriormente, quedara apartado de esta investigación los métodos de recuperación utilizados. Ya que en la misma, los métodos utilizados fueron los que realizan habitualmente, como descanso, hidratación y nutrición.

Quedará para una futura investigación determinar cuáles son los métodos adecuados para esta población, y determinar cuáles favorecen y aceleran estos tiempos para volver a realizar una carga de entrenamiento, en el tiempo adecuado.

Una cuestión a tener en cuenta al momento de realizar los test, fue el inconveniente con el nuevo software “Chrono Jump 2.0” de las fotocélulas “Procell”, ya que el mismo no pudo instalarse correctamente. Por lo tanto, los tiempos del sprint de 10 metros fueron tomados con cronometro de mano.

Para el mismo, el evaluador se colocó a unos metros de distancia, formando un “triangulo” entre el punto de partida, y el punto de llegada.



En cuanto a la “escala de esfuerzo percibida” (EEP), puede observarse como todos los corredores llegaron al máximo (9-10) luego de la carrera de 10km, pero la misma se reestablece a las pocas horas.

Aun así, se cree conveniente utilizarla periódicamente no solo para que el entrenador conozca en qué estado se encuentra el corredor, sin la necesidad de realizar ningún test, sino también para que el mismo corredor, conozca su estado.

Cabe destacar que por sí sola, la “EEP”, es un buen indicador de la fatiga pero con algunas limitaciones, ya que en este trabajo de investigación se puede observar como a las pocas horas los valores de esta variable se reestablecen, sin embargo los valores neuromusculares se mantienen deprimidos por un tiempo mucho mayor.

**Conclusiones:**

En base al análisis estadístico realizado, y tal como la hipótesis lo indica, los tiempos óptimos de recuperación para estos corredores, estuvieron entre las 36 y 48 Hs post carrera.

Se puede observar como los valores de los test del CMJ y, se mantuvieron deprimidos incluso a las 24 Hs. post carrera, con una diferencia significativa entre “pre” vs “2 horas post”, entre “pre” vs “24 horas post”.

Esto estaría explicado porque existe una relajación de los husos musculares, y también una reducción tanto metabólica, como también neuromuscular, que enlentece los procesos de activación y excitación de las neurona motoras (Edwards, 1981), como así también una disminución del pH sanguineo, que produce un aumento de la capacidad del retículo sarcoplasmático para retener el Ca+, reduciendo la estimulación del proceso contráctil (Nakamura, Y.; Schwartz, A., 1972)

No existiendo una diferencia significativa, como bien lo muestra el grafico, entre “pre” vs “10 min post” y entre “pre” vs “48 horas post”.

En cuanto al sprint de 10 metros, se concluye que el promedio del sprint a las 2hs es significativamente mayor que los promedios de todos los otros momentos (excepto 24 Hs). Sin embargo, la significación de este resultado es 0.051, extremadamente próximo a 0.05 por lo cual esta conclusión es bastante débil.

Los promedios del Sprint en los momentos Pre y 48 Hs son significativamente más bajos que los demás.

Trabajando con un nivel de significación del 10% se conformarían 3 grupos:

-Pre / 48 Hs

-10m / 24 Hs

-2 HS

Como se ha mencionado anteriormente, estos valores fueron obtenidos con cronometro de mano, lo cual sugiere un riesgo de error mayor. Igualmente los resultados obtenidos no soy muy diferentes con respecto a las otras variables de análisis del CMJ. (Tiempo de vuelo – Altura).

Y la última variable analizada (EEP), se puede ver cómo está a los 10m tiene un promedio significativamente mayor que en los otros momentos, propio del esfuerzo de la carrera. Pero su comportamiento es distinto, con respecto a las otras variables, como se puede observar en el gráfico.

También existen diferencias significativas en la EEP entre los momentos 2 HS y 48 Hs, siendo mayor en el primero (2 Hs).

Otro aspecto a tener en cuenta al momento de sacar la conclusión, es que las evaluaciones se realizaron Pre carrera, 10 minutos post, 2 – 24 y 48hs post. Pero no se realizó, por una cuestión de logística con los corredores, a las 36 Hs.

Posiblemente algunos de los corredores ya a las 36 Hs estarían con los mismos valores que el testeado pre, por eso se cree conveniente tomar el rango horario de 36 a 48 Hs para concluir de manera más exacta.

Concluyendo de esta manera que luego de realizar 10km a la máxima intensidad posible, se recomiendan entre 36 y 48 Hs de recuperación ya que como se puede observar en el análisis estadístico, no existen diferencias significativas entre las evaluaciones pre y las 48 Hs post (nivel de significación del 5%), para volver a realizar una carga de entrenamiento y reponer los niveles neuromusculares, metabólicos y también psicológicos.

# **CAPITULO VI**

## **Glosario**

CMJ: salto vertical con contra-movimiento.

KE: extensor de la rodilla.

MVC: parámetro de fuerza isométrica.

FP: flexor plantar.

LFF: fatiga de baja frecuencia.

EEMpace: ritmo medio de carrera.

R.M: una repetición máxima.

EMGintegrada: activación neural voluntaria máxima.

VL: vasto lateral.

GL: gastronemio lateral.

VA: activación voluntaria.

SSE: sensación subjetiva del esfuerzo

EEP: escala de esfuerzo percibida

TV: tiempo de vuelo (ms)

A: altura (cm)

## **Bibliografía:**

Lowesntein, G. (1978). The purine nucleotide cycle in skeletal muscle . *Federation Proceedings*.

Allen, D.; Lamb, G.; Westerblad, H. (2008). Skeletal Muscle Fatigue: Cellular Mechanics. *Physilo Rev*.

Allen, D.; Lännergren, J.; Westerblad H. (1995). Muscle cell function during. *Experimental Physiology*.

Almela, J. J. (2014). Historia del running.

Alvaro, N. (2014). Etiologia del running. *Universidad de Granada*.

Ament, W.; Huizenga, J.; Mook, G.; Gip. H.; Verkerke, G. (1997). Lactate and ammonia concentration in blood and sweat during incremental cycles. *Int J Sports Med*.

Appell, H.; Soares, J.; Duarte, J. (1992). Exercise, muscle damage and fatigue. *Sport Medicine* .

Ascensão, A.; Magalhães, J.; Oliveira, J.; Duarte, J.; Soares, J. (2003). Fisiologia da fadiga muscular. Delimitação conceptual, modelos de estudo e mecanismos de fadiga de origem central e periférica. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*.

B. Bigland, Ritchie & J. J. Woods. (1984). Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue.

Bachmann, C. (2002). Mechanisms of hyperammonemia . *Clin Chem Lab Med*.

Bangsbo. (1997). Physiology of muscle fatigue during intense exercise. *The clinical pharmacology of sport and exercise*.

Banister, E.; Rajendra, W.; Mutch, B. (1985). Ammonia as an indicator of exercise stress implications of recents findings to sports medicine. . *Sports Medicine*.

Banister, E.W.; Cameron, B.J.C. (1990). Exercise induced hyperammonemia: peripheral and central effects. *International Journal of Sports Medicine*.

Barnett. (2006). Using Recovery Modalities between Training Sessions in Elite Athletes. *Sports Medicine*.

Branko Škof & Vojko Strojnik. (2006). Neuromuscular fatigue and recovery dynamics following prolonged continuous run. *British Journal of Sports Medicine*.

Cooke, R.; Pate, E. (1990). The inhibition of muscle contraction by the products of. *J. Biochemestry of Exercise*.

Coyle, E.; Hagberg, J.; Hurley, B., Martin, W., Ehsani, A., Holloszy, J. (1983). Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. *J.Appl Physio*.

D G Allen, G D Lamb, H Westerblad. (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev*.

David & Bayley . (1997). Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Med Sci Sports Exerc*.

Davis . (1995). Carbohydrates, branched-chain amino acids, and endurance: the. *International Journal of Sport Nutrition*.

Davis, M.; Bailey, S. (1997). Possible mechanisms of central nervous system. *Med Sci Sports Exerc*.

Davis, M.; Fitts, R. (2001). Mechanisms of muscular fatigue. *ACSM´S*.

Duarte, V.; Dias, D. & Melo, H. (2008). Mecanismo Moleculares da fadiga. *Brazilian Journal of Biomotricity*.

Edwards, R. H. (1981). Human Muscle Function and Fatigue. *ACSM*.

Enoka, R.; Stuart, D. (1992). Neurobiology of muscle fatigue. *J Apll Physiol* .

Eriksson, L.; Broberg, S.; Bjorkman, O.; Wahren, J. (1985). Ammonia metabolism during exercise in man. . *Clin Physiol*.

Fernandez. (2015). Leptina, la hormona motivadora de los runners. *Running de Ciudad*.

Fitts, R.; Metzger, J. . (1998). Mechanisms of muscular fatigue. *Physiol Rev*.

Gandevia, S. (2001). THE MECHANISMS INVOLVED IN ACUTE FATIGUE. *International Journal of Medicine and Science*.

Gómez-Campos, R. (2010). THE MECHANISMS INVOLVED IN ACUTE FATIGUE. *International Journal of Medicine and Science*.

Green, H. (1997/95). Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. *J Sports Sci* .

Guezennec, C. e. (1998). Effects of prolonged exercise on brain ammonia and amino acids. . *International Journal of Sports Medicine*.

Hakkinen & cols. (1993). THE MECHANISMS INVOLVED IN ACUTE FATIGUE. *Rev.int.med.cienc.act.fís.deporte*.

Hill, A.;Kupalov, P. (1929). Anaerobic and Aerobic Activity in Isolated Muscle .

Johannes Fuss, Jörg Steinle, Laura Bindila, Matthias K. Auer, Hartmut Kirchherr, Beat Lutz, and Peter Gass. (2015). A runner’s high depends on cannabinoid receptors in mice. *Proceedings of the national Academy of sciences of the united states of america*.

Kim Petersen , Claus Bugge Hansen, Per Aagaard, Klavs Madsen. (2007). Muscle mechanical characteristics in fatigue and recovery from a marathon race in highly trained runners. *Eur J Appl Physiol*.

Kirkendall, D. (2000). Fatigue from voluntary motor activitiy. *Exercise and sport science*.

Kugelber & Edstrom. (1968). Histochemical composition, distribution of fibres. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*

Lambert, M. I., Mujika, I. (2013). Physiology of exercise training. *Recovery for Performance in Sport*.

Lamberts, R. P. et al. (2010). Measuring submaximal performance parameters to monitor fatigue and predict cycling performance. *Eur. J. Appl. Physiol*.

Lancha Junior, A. (1996). Atividade física, suplementação nutricional de aminoácidos e resistência periférica à insulina. *Revista Paulista de Educação fisica*.

Lehmann, M.; Foster, C.; Keul, J. (1993). Overtraining in endurance athletes: a brief review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*.

Leick et al. (2010). Effect of distillers dried grains with solubles and ractopamine (Paylean) on quality and shelf-life of fresh pork and bacon. *Journal of Animal Science*.

Lo, P.; Dudley, G. (1987). Endurance training reduces the magnitude of exerciseinduced hyperammonemia in humans. *J Appl Physiol*.

M Giandolini , N Horvais , J Rossi , G Y Millet , J-B Morin , P Samozino . (2015). Acute and delayed peripheral and central neuromuscular alterations induced by a short and intense downhill trail run. *Scand J Med Sci Sports*.

Mannion, A.F.; Dolan, P. (1996). Relationship between myoelectric and mechanical manifestations of fatigue in the quadriceps femoris muscle group. *Eur.J.Appl*.

McArdle, W.; Katch, F.; Katch, V. (1998). Fisiologia do exercicio: energia, nutrição e desempenho humano. *Rio de Janeiro*.

McKenna, M. (1992). The roles of ionic processes in muscular fatigue during. *Sports Med*.

McLester, J. (1997). Muscle contraction and fatigue – the role of adenosine 5´-diphosphate and inorganic phosphate. *Sports Med*.

Meeusen & cols. (2006). Prevention, diagnosis and treatment of the Overtraining Syndrome. *European Journal of Sport Science*.

Millet & cols. (2003). Neuromuscular and cardiovascular fatigue analysis after competing in a mountain marathon. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*.

Mizelman, E. (2018). Vertical Jump As a Measure of Neuromuscular Fatigue. *Journal of Exercise Physiology & Sports Nutrition*.

Mora. (1995). Actividad física y salud: aclaración conceptual. *EFdeportes*.

Mujika, I. (2013). Endurance Training – Infographic Edition. En I. Mujika, *Endurance Training – Infographic Edition.*

Nakamura, Y.; Schwartz, A. (1972). The influence of hydrogen ion concentrations by skeletal muscle sarcoplasmic reticulum. *J Gen Physiol*.

Natilia, A. (2014). Etiologia del running. *Universidad de Granada*.

Newsholme, E.; Blomstrand, E.; Ekblom, B. (1992). Physical and mental fatigue:Metabolic mechanisms and importance of plasma amino acids. *Sport Med*.

Nybo, L.; Dalsgaard, M. (2005). Cerebral ammonia uptake and accumulation during prolonged exercise in humans. *J Physiol*.

P. O. Astrand (coord.), Roy J. Shephard (coord.). (1996). La resistencia en el deporte. En P. O. Roy J. Shephard, *La resistencia en el deporte* (págs. 103-114). Paidotribo.

Pagala, M.; Ravindran, K.; Amaladevi, B.; Namba, T.; Grob, D. (1994). Potassium and caffeine contractures of mouse muscle before and after fatiguin stimulation. *Muscle and Nerve*, .

Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. (199).

Roberts, D.; Smith, D. (1989). Biochemical aspects of peripheral muscle fatigue. *Sports Med*.

Rodriquez, E. A. (2015). Mecanismos Fisiológicos de la fatiga neuromuscular. *Revista Médica de Costa Rica y Centroamérica*.

Rossi & Tirapegui. (1999). Aspectos atuais sobre o exercicio físico, fadiga e nutricao. *Revista Paulista*.

Sahlin, K. (1992). Metabolic factors in fatigue. *Sport Medicine*.

Santos, M.; Dezan, V.; Sarraf, T. . (2003). Bases metabólicas da fadiga muscular aguda. *Rev. Bras. Ciên. e Mov. Brasília*.

Scott. (2001). The Effects of Fatigue and Sleepiness on Nurse Performance and Patient Safety.

Silva, A.; Oliveira, F.; Silva, M. (2006). Mecanismo de Fadiga durante o exercicio fisico. *Revista Brasileira de cineantropometria Desempenho Human*.

Silva, S.; Goncalves, M. (2003). Análise da fadiga muscular pela amplitude do sinal. *Rev Bras. Ci. E Mov. Brasilia*.

Skof & Strojnik. (2006). Neuromuscular fatigue and recovery dynamics following prolonged continuous run at anaerobic threshold. *British Journal of Sports Medicine*.

Snow. (2000). Effect of carbohydrate ingestion on ammonia metabolism during exercise in humans. *J Appl Physiol*.

Snyder. (1998). Overtraining and glycogen depletion hypothesis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*.

Stackhouse, S et. Al. (2000). Measurment of central activation failure of the quadriceps femoris in healthy adults. *Muscle and nerve*.

Sunnerhagen, K; Et A. (2000). Electrophysiologic evaluation of muscle fatigue development and recovery in late polio. *Arch Phys Med Rehabil*.

T J Carroll , J L Taylor , S C Gandevia. (2017). Recovery of central and peripheral neuromuscular fatigue after exercise. *J Appl Physiol* .

Weineck, J. (2015). Entrenamiento Total. En J. Weineck, *Entrenamiento total.* Paidotribo.

Williams, J.; et al. (1998). Functional aspects of skeletal muscle contractile apparatus and sarcoplasmic reticulum after fatigue. *American physiological society*.

Wim Ament , Gijsbertus J Verkerke. (2009). Exercise and fatigue. *Sports Med*.

Yuan, Y. (2002). Ammonia threshold- comparation to lactate threshold, correlation to other physiological parameters and response to training. . *Scand J Med Sci Sports*.

## **Anexo:**

**Evaluaciones pre**



**Evaluaciones post 10 min.**



**Evaluaciones post 2 Hs**



**Evaluaciones post 24 Hs.**



**Evaluaciones post 48 Hs**



TV: TIEMPO VUELO (m/s)

A: ALTURA (cm)