

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA  
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



**UANL**

**EFICIENCIA VENTILATORIA Y PATRÓN RESPIRATORIO EN  
UNA PARATRIATLETA ÉLITE: UN ESTUDIO DE CASO**

**Por**

**REYES EMMANUEL HERNÁNDEZ SALAZAR**

**PRODUCTO INTEGRADOR**

**TESINA**

**Como requisito parcial para obtener el grado de  
MAESTRÍA EN ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE  
CON ORIENTACIÓN EN ALTO RENDIMIENTO DEPORTIVO**

**Nuevo León, Junio, 2024**



UANL



FOD

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO  
LEÓN FACULTAD DE ORGANIZACIÓN  
DEPORTIVA SUBDIRECCIÓN DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

Los miembros del comité de titulación de la Subdirección de Posgrado e Investigación de la Facultad de Organización Deportiva, recomendamos que el Producto Integrador en modalidad de Tesina titulado “Eficiencia ventilatoria y patrón respiratorio en paratriatleta élite: un estudio de caso” realizado(a) por el Lic. Reyes Emmanuel Hernández Salazar, sea aceptado para su defensa como oposición al grado de Maestro en Actividad Física y Deporte con Orientación en Alto Rendimiento Deportivo.

COMITÉ DE TITULACIÓN

Dra. Marina Medina Corrales

Asesor Principal

Dr. José Raúl Hoyos Flores

Co-asesor 1

Dr. Alberto Garrido Esquivel

Co-asesor 2

Dr. Jorge Isabel Zamarripa Rivera

Subdirección de Posgrado e Investigación de la FOD

## **Dedicatorias**

Primeramente, quiero agradecer a Dios y a la vida por permitirme esta gran oportunidad de cursar un posgrado donde quise desde pequeño.

Quiero dedicar esta tesina a mis padres Reyes e Hilda, gracias por respetar y apoyar mis decisiones en todo momento y ser el pilar principal para lograr este objetivo, los amo con todo mi ser, soy afortunado de tenerlos como mi guía de vida.

A mi hermana Soni que al adoptar su patrón de personalidad diplomática me ha beneficiado en todo aspecto de mi vida, a mi hermana Naye por estar en todo momento para escucharme, motivarme y hacerme reír. En especial a mi hermano Jahir por ser el mejor compañero de vida que pude tener, a Gael por ser mi hermano menor y motivarme, a mis sobrinos Axel, Santiago, Victor y especialmente a mi mejor amigo Ángel David.

A mi amorcito, mi pisesita bonita, Selene Zumaya, por ser tan increíble ser humano, especialmente conmigo, cuidarme, apoyarme, motivarme y amarme, aun cuando las situaciones no están del todo bien.

## **Agradecimientos**

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por el apoyo otorgado a través del programa de Becas Nacionales para la realización de mis estudios de maestría, elaboración de mi producto integrador, la participación de difusión o divulgación académica y la obtención de grado.

A mis asesores: Dra. Marina, Beto y Raúl por sus enseñanzas tanto académicas como personales, así como al Dr. Luis Enrique Carranza, Dr. Fernando Ochoa, Dr. Gerardo Cárdenas, Dra. Janeth y Dra. Myriam por escucharme y darme consejos en momentos difíciles. A la Dra. Mariela por enseñarme a tomar lactato.

A mi mejor amigo David Castillo del cual me llevo el aprendizaje más grande que es el amor al conocimiento, a mi amigo Kevin por ser tan amable conmigo y a mis demás compañeros del posgrado por amenizar el momento.

A mis abuelitos: Sofí, Monche por criarnos con mucho amor, especialmente a mi abue Reyes por tantas enseñanzas prácticas en el taller, ha sido la persona que más admiro y la más influyente para estudiar ciencias del ejercicio.

A mis tíos: Roger, Chucho, Pavo, Felipe, por estar al pendiente en todo momento y ser un soporte muy importante emocionalmente en este ciclo, así como mi tía Nar, Chuy, Chepa y Susy.

A mis primos: Chícharo, Fercho, Yeyito, Cris, Pollo y Gordo, por sus palabras de apoyo y cariño en todo momento, pero sobre todo, por la unión tan bonita que se formó entre nosotros después de un distanciamiento.

A mis primos: Fati, Pao, Yox, por darme ánimos en todo momento, sobre todo apoyarme cuando sentí que no lo lograba.

A mis mejores amigos de licenciatura: Giso, Chabe, Hec, por apoyarme, ser parte de mi vida y quererme mucho, aunque hayamos trazado diferentes caminos de vida, siempre los tengo presentes en mi corazón.

A mi amigo Ove, por ser muy amable y comprensivo conmigo



UANL



FOD

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA

### FICHA DESCRIPTIVA

Fecha de Graduación: Junio, 2024

**NOMBRE DE LA ALUMNA(O):** REYES EMMANUEL HERNÁNDEZ SALAZAR

**Título del Reporte de Tesina:** EFICIENCIA RESPIRATORIA Y PATRÓN

RESPIRATORIO EN PARATRIATLETA ÉLITE: UN ESTUDIO DE CASO

**Número de páginas:** 60

Candidato para obtener el Grado de  
Maestría en Actividad Física y Deporte  
con Orientación en Alto Rendimiento

Deportivo

**Estructura de Tesina:** Se establece al triatlón como un deporte relativamente nuevo por la popularidad que ha tenido durante los últimos años debido a los medios de difusión, del mismo modo, es una actividad compleja ya que está conformado de tres disciplinas como natación, ciclismo y atletismo. El paratriatlón es una forma dinámica de práctica deportiva para para sujetos que muestran dificultades físicas o cognitivas debido a lesiones y no es posible realizar convencionalmente el triatlón.

Dadas las características del esfuerzo en dicho deporte, la capacidad aeróbica es de suma importancia para condicionar el rendimiento físico del triatleta, por lo que el objetivo del estudio fue examinar eficiencia ventilatoria, patrón respiratorio, consumo máximo de oxígeno, potencia

aeróbica máxima, umbrales ventilatorios, en una paratriatleta categoría élite en su preparación a Juegos Olímpicos París 2024 mediante dos ergoespirometrías, una en bicicleta de mano y en silla de ruedas. Se mostraron resultados aceptables de los valores, con tendencia a ser mejorables de acuerdo a parámetros de referencia hallados en la literatura respecto a variables ventilatorias, por lo tanto, se concluye el considerar la inclusión de evaluación de la eficiencia ventilatoria y patrón respiratorio para futuros estudios debido al aporte de información que generan en cuanto a rendimiento del atleta.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Marina', is positioned in the lower right quadrant of the page.

FIRMA DEL ASESOR PRINCIPAL Dra. Marina Medina Corrales

## Tabla de Contenido

Introducción .....	1
Marco Teórico.....	5
Resistencia.....	5
Clasificación de Resistencia .....	5
Variables que Intervienen en la Resistencia Aeróbica .....	6
Adaptaciones Específicas al Entrenamiento de Ciclismo de Ruta .....	9
Entrenamiento .....	10
Clasificación del Entrenamiento .....	10
Control de la Carga del Entrenamiento .....	11
Control de la Carga Externa .....	12
Medición Mediante GPS .....	13
Medición Mediante Acelerómetro.....	13
Control de la Carga Interna .....	13
Métodos Para Medición de Carga Interna Utilizados en el Ciclismo de Ruta .....	14
Calificación de Esfuerzo Percibido .....	15
Concentración de Lactato en Sangre .....	15
Impulso de Entrenamiento.....	16
Modelo Fitness-Fatigue.....	16
Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca.....	17
Mecanismos fisiológicos implicados en el entrenamiento del ciclismo.....	18
Variables ventilatorias .....	20
Características de las bicicletas de mano.....	27
Antecedentes de otros estudios.....	29
Marco Metodológico.....	32
Población y Muestra.....	32
Criterios de Inclusión .....	32
Criterios de Eliminación.....	32
Protocolo de Investigación .....	33
Protocolo Específico.....	34
Determinación de Consumo Máximo de Oxígeno (VO <sub>2</sub> max) .....	35
Protocolo Umbrales Ventilatorios (VT1 y VT2).....	35
Resultados y Discusión .....	36

Consumo máximo de oxígeno ( $VO_2\text{max}$ ) .....	36
Potencia Aeróbica Máxima (PAM) .....	38
Umrales Ventilatorios.....	39
Respuesta y Patrón Ventilatorio .....	41
Prueba de consumo de oxígeno en campo.....	43
Conclusión .....	46
Referencias.....	47
Anexos .....	56

## Lista de Figuras

Figura 1 Factores fisiológicos determinantes del consumo máximo de oxígeno.....	8
Figura 2 Modelo del proceso del control del entrenamiento.....	12
Figura 3 Métodos de monitorización del entrenamiento.....	14
Figura 4 Modelo fitness-fatigue.....	17
Figura 5 Diferentes modelos de bicicletas de mano.....	26
Figura 6 Consumo máximo de oxígeno (VO <sub>2</sub> max).....	36
Figure 7 Umbrales ventilatorios modelo trifásico de Skinner- McLlelan .....	40
Figura 8 Valores obtenidos en umbrales ventilatorios.....	41
Figura 9 Valores hallados de respuesta ventilatoria.....	42
Figura 10 Pendiente VE/VCO <sub>2</sub> .....	43
Figure 11 Valores encontrados en consumo de oxígeno pico.....	44

## Introducción

El triatlón es un deporte relativamente nuevo que ha tenido una gran popularidad durante los últimos años, dicho deporte está conformado por tres disciplinas: natación, ciclismo y atletismo (carrera). El triatlón consiste en realizar un recorrido en circuito, dando inicio por la natación posteriormente se realiza la primera transición donde el atleta se prepara para el recorrido en bicicleta y al finalizar el recorrido en bicicleta se realiza la segunda transición en la cual el atleta deja la bicicleta y accesorios complementarios para finalizar la competición con la carrera a pie (Cejuela Anta et al., 2007).

El paratriatlón es una práctica deportiva y dinámica para sujetos que no pueden practicar triatlón convencional debido a discapacidad física de extremidades inferiores o distintas lesiones en la médula espinal. Las distancias en el paratriatlón olímpico para natación son 750 metros, para el recorrido en bicicleta son 20 kilómetros y la distancia para la carrera son 5kilómetros, dichas distancias por disciplina pueden variar dependiendo de las características propias de cada competición y especificaciones del evento (Stephenson et al., 2021).

Las categorías se clasifican de acuerdo al grado de posibilidad motriz del sujeto de acuerdo a criterios médicos y funcionales establecidos por la Unión Internacional de Triatlón (ITU, por sus siglas en inglés) y el Comité Paralímpico Internacional (IPC, por sus siglas en inglés), con el objetivo de garantizar una competición equitativa (Stephenson et al., 2021).

Las categorías establecidas son: PTWC (Wheelchair) categoría destinada a atletas que compiten en silla de ruedas por discapacidad en extremidades inferiores, se permite

el uso de bicicletas adaptadas para impulsarse con las manos en el recorrido en bicicleta (Parsons, 2021).

PST2(Standing) esta categoría incluye a atletas con discapacidad en ambas extremidades inferiores o solo en una, pero pueden competir de pie. PST3 (Standing) mismos criterios que PTS3, pero aquí se incluyen atletas con prótesis en el recorrido de la carrera. PTVI (visually impaired) en dicha categoría compiten atletas con debilidad visual o ceguera que compiten con guía durante el evento. PTHC (Hand Cycle) Categoría para atletas con discapacidad en extremidades inferiores que emplean bicicletas de mano en el ciclismo. PTS4 (Standing) categoría nueva empleada en Tokio 2020 donde los atletas con discapacidad e extremidad inferior o superior afecta su equilibrio en carrera y pueden usar silla de ruedas o ir de pie (Parsons, 2021).

Para la disciplina de natación, el atleta puede ayudarse de un guía o implementos permitidos por la *World Triathlon* que sirven como ubicación para el atleta, en la disciplina del ciclismo se pueden incluir disposiciones respecto a las adaptaciones y equipamiento permitido lo que incluye bicicletas adaptadas, en la disciplina de atletismo se pueden emplear guías o dispositivos de asistencia. Las transiciones se pueden realizar con ayuda de guías de ser necesario, con el requisito de ser abalados por la *World Triathlon* (Stephenson et al., 2021).

El ciclismo de mano, es una forma de desplazamiento deportivo en el paraciclismo, respecto a los sujetos con capacidades específicas en extremidades inferiores, dicho deporte ha sido de utilidad teniendo un impacto positivo en la valoración de variables de rendimiento en paratriatletas (Stephenson et al., 2021).

Es por ello, que las características fisiológicas son esenciales en paratriatletas como poseer una capacidad aeróbica elevada que comprende un consumo máximo de oxígeno ( $\text{VO}_2\text{max}$ ) absoluto de hasta  $3 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ , alta producción de potencia aeróbica máxima (PAM) de 150W, frecuencia cardíaca máxima entre 150 a 180 latidos por minuto, junto con un alto gasto cardíaco, producción de lactato en sangre de  $6.9 \text{ mmol/L}$ , distribución uniforme de la producción de potencia relativamente alta durante periodos de tiempo prolongados, así como un alto valor de cadencia media de hasta 100 revoluciones por minuto (Stephenson et al., 2021).

Dentro de éstas características fisiológicas, encontramos que estos deportistas, deben de tener una alta eficiencia, la cual se considera como capacidad del organismo para convertir energía química en movimiento. Este refiere a la energía química requerida para mantenimiento de velocidad o potencia, mientras que la economía comprende a la cantidad de oxígeno necesario para sostener potencia de salida (Turpin & Watier, 2020). Por lo tanto, una variable a tomar en cuenta es la eficiencia ventilatoria, la cual se presenta cuando hay una mayor ventilación para eliminar rápidamente el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) dicha característica en deportes de resistencia es de gran importancia ya que controla el equilibrio ácido-base del organismo (Salazar-Martínez et al., 2016).

Por otro lado, los patrones respiratorios han sido mayormente objeto de estudio a diferencia de la eficiencia ventilatoria en ciclistas de ruta. Recientes hallazgos en un estudio longitudinal realizado durante tres temporadas, muestran los cambios en el rendimiento de ciclistas profesionales, los cuales no modifican variables respiratorias en relación a la eficiencia ventilatoria, aunque la variación en la pendiente de  $\text{VE}/\text{VCO}_2$ , se

asocia a mejoras respecto al control respiratorio junto con un patrón más eficaz (Salazar-Martínez et al., 2016).

Del mismo modo, investigaciones publicadas en los últimos años, se han centrado en la valoración fisiológica de parámetros que condicionan la capacidad aeróbica como consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ), potencia aeróbica máxima (PAM) (Stephenson et al., 2021).

Sin embargo, aunque existe gran cantidad de información respecto a la relación de las variables fisiológicas respecto al rendimiento en ciclistas y corredores de categorías convencionales, al día de hoy se conoce poco respecto a eficiencia ventilatoria y patrón respiratorio en paratriatletas.

Es por lo anterior que el objetivo general es: Examinar la eficiencia ventilatoria y patrón respiratorio en una paratriatleta elite en preparación a Juegos Olímpicos París 2024. Para ello planteamos los siguientes objetivos específicos:

Describir el Consumo Máximo de Oxígeno ( $VO_{2max}$ ), Potencia Aeróbica Máxima (PAM) y Umbrales Ventilatorios (VT1 y VT2) mediante ergoespirometría en bicicleta de mano en una paratriatleta de élite.

Analizar la eficiencia ventilatoria y patrón respiratorio mediante ergoespirometría en silla de ruedas en una paratriatleta elite en preparación a Juegos Olímpicos París 2024

## **Marco Teórico**

En el presente marco teórico se retomarán temas fundamentales en cuanto a la resistencia como capacidad física, sus factores limitantes, sistema nervioso, adaptaciones fisiológicas, adaptaciones específicas al entrenamiento del ciclismo de mano, variables como los patrones respiratorios, equivalentes ventilatorios, eficiencia ventilatoria, consumo de oxígeno, características determinantes que condicionan el rendimiento en el para triatlón.

### **Resistencia**

Se entiende a la resistencia como la capacidad psico-física fundamental que presenta el organismo para ejecutar actividades físico deportivas donde se utilizan grandes grupos musculares en periodos de tiempo largos cuyo objetivo es el desarrollo cardiorrespiratorio consiguiendo múltiples beneficios para la salud física y mental (Piñero, 2006). Dicha capacidad que condiciona el rendimiento, consiste en realizar un esfuerzo físico durante un tiempo prolongado sin que disminuya su efectividad, siendo una cualidad física de tolerar la fatiga durante esfuerzos prolongados e intensos asociada al tener una recuperación rápida posterior al ejercicio, se limita por factores como el grado de adaptación al entrenamiento, suministro de sustratos energéticos, volumen e intensidad a la que se trabaja (Piñero, 2006).

### **Clasificación de Resistencia**

Existen distintos tipos de resistencia en función de necesidades, por tanto, se adoptará la clasificación desde el punto de vista fisiológico donde existen 3 vertientes, la primera es la resistencia aeróbica la cual se refiere a la capacidad de generar trabajos

extensos de mucha duración que oscila desde los 3 minutos hasta varias horas en presencia de oxígeno.

Así mismo, la resistencia anaeróbica es la capacidad de realizar trabajos demandantemente intensos el mayor tiempo posible sin la necesidad suficiente del aporte de oxígeno, siendo dependiente de la potencia máxima relacionada con la fuerza y velocidad óptima que se tenga para el logro de esta. A partir de ello está la segunda que es la resistencia anaeróbica láctica con periodos que oscilan de entre los 16 segundos a los 2 minutos, pero con la presencia y producción de lactato, respecto a la resistencia anaeróbica aláctica con una duración máxima de 14-16 segundos (Piñero, 2006). La resistencia anaeróbica-aeróbica, se refiere a la zona donde se puede lograr la adquisición de las resistencias especiales a la acidosis metabólica, creatina quinasa, modificaciones del pH, entre otras con más rapidez mediante trabajo específico a las cargas de poco o medio volumen, intensivas y frecuentes (Chicharro & Vaquero, 2013).

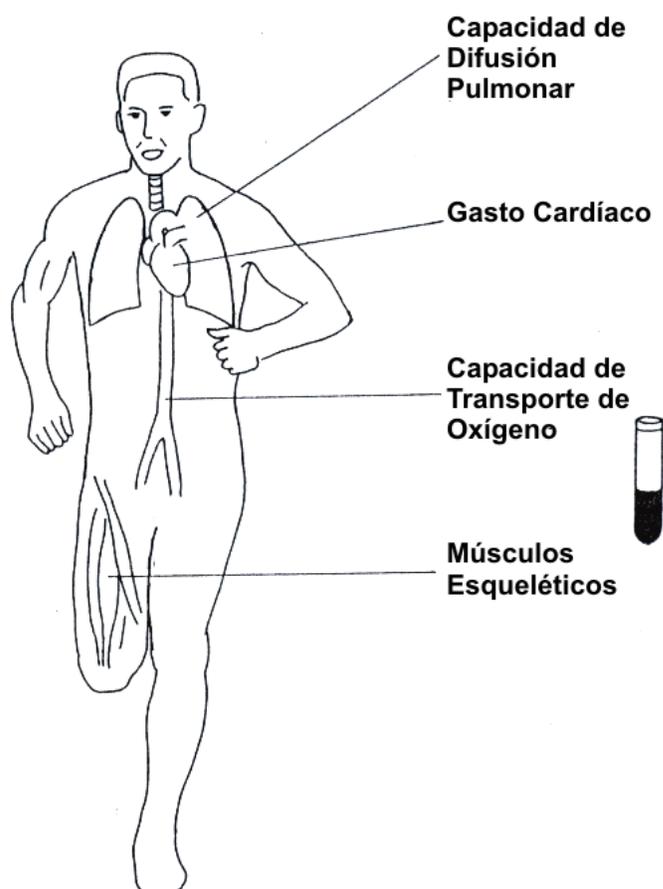
### **Variables que Intervienen en la Resistencia Aeróbica**

En cuanto a resistencia, la variable que prevalece es el Consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ), el cual se considera como el ritmo más alto de consumo de oxígeno alcanzable durante la ejecución de ejercicio máximo. Sí se cambia de intensidad y esta aumenta, el esfuerzo más allá del punto en que se alcanza el  $VO_{2max}$  el consumo de oxígeno se estabilizará o se reducirá ligeramente. La unidad de medida del  $VO_{2max}$  es;  $L \cdot min^{-1}$  (Litros de oxígeno/minuto) en valor absoluto,  $mL \cdot Kg^{-1} \cdot min^{-1}$  (mililitro/kilogramo/minuto) como valor relativo (Svedenhag, 2000).

Por otro lado, existe la economía de ciclismo, considerada como uno de los mayores indicadores de rendimiento en dicho deporte, ésta se refiere al desgaste del ciclista a nivel energético, maximizando la expresión de aplazamiento de la fatiga destacando aspectos biomecánicos, fisiológicos, psicológicos, antropométricos, materiales, ambientales, entre otros (Sánchez-Picón, 2011). Previamente se ha identificado a los factores fundamentales determinantes que influyen en la economía de ciclismo, una vez identificados hará eficiente al ciclista (distancia de la especialidad, entrenamiento y puesta a punto, pendiente del terreno, temperatura, aire y viento, fatiga, ventilación, cadencia, rigidez/componentes elásticos, otros factores biomecánicos, género, edad y estado emocional/psicológico) (Svedenhag, 2000).

**Figura 1**

*Factores fisiológicos determinantes del consumo máximo de oxígeno*



Nota. Factores que potencialmente limitan el máximo consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2\text{max}$ ) en el ser humano que realiza ejercicio. Tomado de *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(1), 70-84. En *Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance*, por Bassett & Howley (2000).

Se ha demostrado que la capacidad aeróbica está sujeta a varias limitantes (Figura 1), en tanto al consumo máximo de oxígeno se condiciona por la capacidad del sistema cardio-respiratorio para el suministro de oxígeno para la producción de energía al tejido

muscular durante el ejercicio. Se puede notar en tres condiciones, la primera se genera al suministrar oxígeno ya que se altera (ambiente hipóxico, dopaje, entre otras) y por consecuencia se modifica el  $VO_2\text{max}$ , la segunda se da cuando aumenta el  $VO_2\text{max}$  producto de adaptaciones al entrenamiento el cual se puede apreciar directamente en el incremento del gasto cardiaco máximo, y la tercera se da obtiene cuando la masa muscular es per fundida excesivamente durante el ejercicio ya que tiene una gran capacidad de consumir oxígeno. Por tanto, el suministro de oxígeno se puede considerar como la principal limitante del  $VO_2\text{max}$  (Howley et al., 1995).

Se considera que la economía de ciclismo, así como la dosificación segmentada de  $VO_2\text{max}$ , afectan directamente al rendimiento de la capacidad aeróbica, donde un indicador fisiológico del rendimiento de carreras de resistencia es la velocidad del umbral láctico donde se integra las tres variables antes mencionadas (Rønnestad & Mujika, 2018).

### **Adaptaciones Específicas al Entrenamiento de Ciclismo de Ruta**

Una adaptación fisiológica se obtiene a partir de generar determinado estímulo, el ciclista de ruta tiene la capacidad de resistencia desarrollada permitiendo realizar trabajos de duración prolongada (Bassett & Howley, 2000).

Generalmente las adaptaciones producen hipertrofia del miocardio permitiendo poseer una frecuencia cardiaca menor en reposo, predisponer al organismo para esfuerzos muy intensos, un alto contenido mitocondrial en el músculo, menor frecuencia respiratoria, un bajo peso corporal para una mayor velocidad de desplazamiento, mejora el  $VO_2\text{max}$  para absorber mayor cantidad de oxígeno en el organismo transportarlo a los tejidos lo que genera una eficiencia al realizar el gesto deportivo de pedaleo, es decir, realizarlo de manera correcta con un gasto energético menor (Bassett & Howley, 2000).

## **Entrenamiento**

El entrenamiento deportivo es un proceso psicofísico que tiene como objetivo principal la mejora del rendimiento deportivo, habilidades, capacidades coordinativas, así como condicionales ejecutadas durante la actividad deportiva, recientemente se basa en un sustento científico, ajustando resultados obtenidos con anterioridad aplicando teorías, comprobando especulaciones, empleando los hechos, suposiciones y dudas además de contar con una visión versátil para su planificación (Verkhoshansky, 2001).

### **Clasificación del Entrenamiento**

Existen distintos tipos de entrenamiento, generalmente los más usuales según la evidencia de la literatura científica son:

Entrenamiento de resistencia, asociado con el sistema de energía oxidativo el cual se centra en el ejercicio de larga duración que fortalece el sistema cardiovascular, aumentando la condición física para resistir la fatiga, beneficiando directamente al metabolismo, entre otras. Algunos ejemplos de este tipo de entrenamiento es montar en bicicleta, correr, nadar, entre otros (Velázquez et al., 2019).

Entrenamiento de fuerza, se comprende con el sistema de energía anaeróbico centrada construcción muscular y en el fortalecer distintos grupos musculares, entre otras. Un ejemplo de este tipo de entrenamiento es el uso de máquinas, con peso o auto carga (Velázquez et al., 2019).

Entrenamiento de Velocidad, se refiere a la rapidez asociada al sistema de energía anaeróbico aláctico- láctico el cual su centra en un trabajo intenso involucrando grupos musculares similares, normalmente se realiza en series o repeticiones. Ejemplos de este

tipo de entrenamiento engloban al ciclismo en pista, circuitos de fuerza o sincronización (Velázquez et al., 2019).

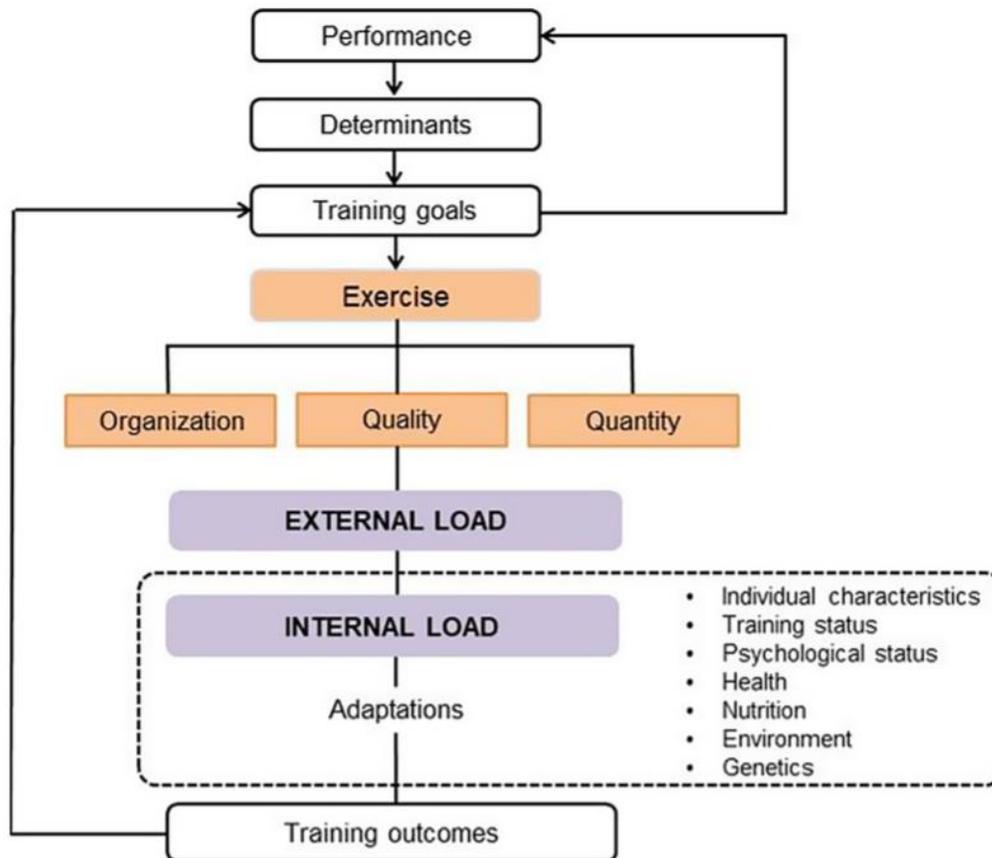
A partir de estos tipos de entrenamiento se han obtenido métodos contemporáneos los cuales retoman y fusionan los antes mencionados basándose en las necesidades del ciclista, algunos ejemplos son: gimnasio, funcional, HIIT, core, entre otros (Velázquez et al., 2019).

### **Control de la Carga del Entrenamiento**

El control de la carga del entrenamiento se refiere al monitorear constantemente las cargas del entrenamiento del ciclista basado en múltiples aspectos (Figura 2), debido a la importancia para determinar la adaptación de un ciclista al programa de entrenamiento, minimizar patologías, lesiones, malestares, sobrecargas no funcionales, entre otras. Su utilidad se ajustan las cargas en varios momentos del ciclo de entrenamiento para incremento o decremento la fatiga respecto a la etapa del entrenamiento, se debe considerar que la fatiga se monitorice de forma adecuada ya que será de gran utilidad para las adaptaciones al entrenamiento y futuras competiciones (Halsón, 2014).

**Figura 2**

*Modelo del proceso del control del entrenamiento*



Nota. La figura explica el múltiple proceso del control de entrenamiento. Tomado de International Journal of Sports Physiology and Performance, 14(2), 270-273. En Internal and external training load: 15 years on, por Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2019).

### **Control de la Carga Externa**

Tiene gran impacto en los sistemas de monitoreo ya que se considera la base, se define como el trabajo realizado por el ciclista, el cual es cuantificable mediante distintos componentes (Figura 3) donde el volumen (suma del trabajo realizado por el

atleta), intensidad (manifiesta la manera en que se tiene que trabajar el volumen), densidad (se refiere a la relación entre duración del esfuerzo y duración de la recuperación), complejidad (grado de dificultad del gesto técnico considerando el ámbito), tradicionalmente son los más empleados (Halson, 2014).

### **Medición Mediante GPS**

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un dispositivo portátil que se emplea para cuantificar y monitorear los aspectos fundamentales de la carga externa del atleta como volumen referido a la distancia recorrida, intensidad referida en tiempo que tarda el ciclista en recorrer cierta distancia, entre otros. Éste equipo, genera retroalimentación segunda a segundo (Toledo et al., 2020).

### **Medición Mediante Acelerómetro**

El acelerómetro es un dispositivo que se ha utilizado en diversos deportes debido a su practicidad al no ser invasivo, no modifica la postura corporal al portarlo, debe tener un receptor (hardware) y un software (aplicación) la cual permita ver la información, así como administrar la información desde el receptor (tableta, ordenador, dispositivos móviles, entre otros) sirve para registrar aceleraciones y desaceleraciones de un cuerpo y así saber su tiempo en movimiento (Martinez-Mendez et al., 2012).

### **Control de la Carga Interna**

La carga interna se refiere al estrés generado a nivel psicofisiológico relativamente impuesto, es de suma importancia considerarlo para determinar la carga externa del

entrenamiento y fundamentalmente para determinar las adaptaciones posteriores, al complementarse con la carga externa se ve beneficiado en el seguimiento del entrenamiento del ciclista (Halson, 2014).

## Métodos Para Medición de Carga Interna Utilizados en el Ciclismo de Ruta

**Figura 3**

### *Métodos de monitorización del entrenamiento*

Method	Cost	Hardware needed	Software needed	Ease of use	Valid	Reliable	Used to interpret	Used to prescribe	Variables
<b>Internal Measures</b>									
RPE	L	N	Y/N	H	M-H	M-H	Y	Y	Single variable in AU (time dependent)
Session rating of perceived exertion	L	N	Y/N	H	M-H	M-H	Y	Y	Single variable in AU (time dependent)
TRIMP <sup>4</sup>	L-M	Y	Y	M	M-H	M-H	Y	N	Single variable in AU (time dependent)
Wellness questionnaires*	L	N	Y/N	M-H	M	M-H	Y	Y/N	Ratings, checklists, AU scale measures
Psychological inventories (eg. POMS, Rest-Q-Sport)*	L-M	N	Y/N	M-H	M-H	M-H	Y	Y	Ratings, checklists, AU scale measures
Heart-rate indices	L-M	Y	Y	H	H	M-H	Y	Y	Heart rate, time in zones, HR variability/recovery measures, etc
Oxygen uptake	H	Y	Y	L	H	H	Y	Y	VO <sub>2</sub> , metabolic equivalents
Blood lactate	M	Y	Y/N	M	H	H	Y	Y	Concentration
Biochemical/hematological assessments	M-H	Y	Y/N	L	H	M-H	Y	Y	Concentrations, volumes
<b>External Measures</b>									
Time	L	Y	Y/N	H	H	H	Y	Y	Units of time (s, min, h, d, wk, y)
Training frequency	L	N	N	H	H	H	Y	Y	Session count
Distance/mileage	L	Y/N	Y/N	H	H	H	Y	Y	Units of distance (m, km)
Movement repetition counts	L	Y/N	Y/N	M-H	H	M-H	Y	Y	Activity counts (eg, steps, jumps, throws)
Training mode	L	Y/N	N	H	H	H	Y	Y	Weight training, run, cycle, swim, row, etc
Power output	M-H	Y	Y	L-M	H	H	Y	Y	Relative (W/kg) and absolute power (W)
Speed	L-M	Y	Y/N	M-H	H	H	Y	Y	Speed measures (m/s, m/min, km/h)
Acceleration	L-M	Y	Y	L	H	H	Y	Y	Acceleration measures (m/s <sup>2</sup> )
Functional neuromuscular tests	L-M	Y	Y/N	M	M-H	H	Y	Y	Countermovement-jump and drop-jump measures
Acute:chronic-workload ratio	L-M	Y/N	Y	M	M-H	M-H	Y	Y	Size of acute training load relative to chronic load
GPS measures	M	Y	Y	M	M-H	M	Y	Y	Velocity, distance, acceleration, time in zones, location
Metabolic power	M	Y	Y	L-M	L-M	M	Y	N	Energy equivalent
Time-motion analysis video (automated)	H	Y	Y	L	M-H	M	Y	Y	Velocity, location, acceleration
Time-motion analysis video (nonautomated)	M-H	Y	Y	L	M-H	M	Y	Y	Velocity, location, acceleration
Accelerometry	M	Y	Y	L-M	M-H	M	Y	N	x-y-z g force
Player load	M	Y	Y	M	M	M	Y	Y	Single variable in AU (time dependent)

Abbreviations: L, low; M, medium; H, high; Y, yes; N, no; AU, arbitrary units.

\*Measures of training response.

Nota. La figura explica algunos métodos de monitorización de entrenamiento. Tomado de International Journal of Sports Physiology and Performance, 12(s2), S2-161. Monitoring athlete training loads: consensus statement, por Bourdon, P. C., et al. (2017)

*Algunos de los métodos de control (Figura 3) pueden ser los siguientes:*

### **Calificación de Esfuerzo Percibido**

La calificación del esfuerzo percibido, conocido como percepción del esfuerzo (RPE, por sus siglas en inglés), es uno de los indicadores más empleados para monitorear la carga interna. Su uso se fundamenta en la noción que tiene el ciclista ya que él mismo puede monitorear el estrés a nivel fisiológico durante la actividad realizada, así mismo, arroja información acerca del esfuerzo posterior al entrenamiento o competición, se relaciona con la frecuencia cardiaca durante estado estable y sometido a ejercicio, aunque para esfuerzos intermitentes o de corta duración no es muy confiable. Foster desarrolló el RPE sesión con el objetivo de cuantificar carga del entrenamiento, se inicia con una multiplicación del RPE del atleta (ponderación en una escala del 1 al 10) por la duración en minutos de la sesión, el método RPE sesión, se desarrolló para sustituir la utilización de pulsómetros, potenciómetros, u otros métodos para la estimación de la intensidad de la actividad (Halson, 2014).

### **Concentración de Lactato en Sangre**

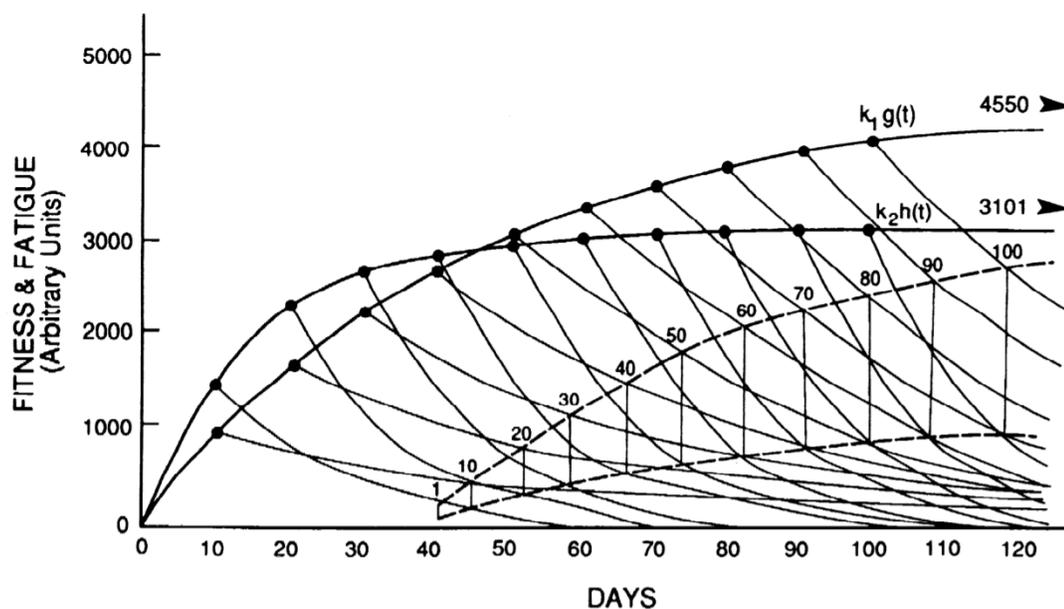
La concentración de lactato se ve afectada mediante los cambios de duración e intensidad respecto al ejercicio físico, sus principales limitantes para utilizarlo como indicador bioquímico en el entrenamiento o competición, la temperatura ambiente debido a las diferencias intra e interindividuales en la acumulación de lactato, régimen alimenticio, contenido de glucógeno, previa actividad, procedimientos de muestreo, lugar, tiempo de toma, eficiencia individual de capacidad de aclaramiento entre otros (Cuadrado & Grimaldi, 2012).

## **Impulso de Entrenamiento**

Impulso de entrenamiento (TRIMP, por sus siglas en inglés), se considera un indicador para monitorear la carga del entrenamiento, es una unidad del esfuerzo físico generado por el entrenamiento donde se calcula empleando la duración y frecuencia cardiaca máxima, en reposo y medida durante la sesión de ejercicio físico (Morton et al., 1990). Se han realizado desarrollos de variantes del TRIMP inicial de Banister donde se incluye el TRIMP de Edwards el cual adopta la acumulación del tiempo en cinco zonas de frecuencia cardiaca multiplicándolo por un factor de ponderación establecido (Banister et al., 1980).

## **Modelo Fitness-Fatigue**

El modelo fitness – fatigue fue publicado por Morton et al (1990), propuesto por Banister (1980), es un modelo el cual sostiene que diferentes intensidades de entrenamiento dan como respuesta diferentes resultados a nivel fisiológico, el estado de rendimiento sin entrenamiento es la referencia que refleja la aptitud del deportista, el entrenamiento arroja dos indicadores que influyen sobre el rendimiento, la primera es la forma física y la segunda la fatiga que a su vez hay factores que afectan al estado físico general. Para los ciclistas de resistencia media y larga duración, sus principales limitantes son factores cardiorrespiratorios, musculares y reserva actual de adaptación (Figura 4).

**Figura 4***Modelo fitness-fatigue*

Nota. Ejemplo gráfico del Modelo fitness-fatigue. Tomado de Modeling human performance in running. Journal of Applied Physiology, 69(3), 1171-1177. Por Morton, Fitz-Clarke & Banister (1990).

### Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca

La Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca (VFC) se refiere al espacio entre latido a latidos en los intervalos R-R, incrementa sin modificación en el consumo máximo de oxígeno, aunque se reduce al relacionarse con incrementos de la condición física (Jovaloyes et al., 2009). Se sugiere tener registros de cada sesión a solo tener un registro, Plews emplea LnRMSSD el cual se refiere al uso del logaritmo natural de la raíz cuadrada de la suma media de las diferencias al cuadrado entre los intervalos R-R debido al mayor grado de validez y fiabilidad a diferencia de otros índices, aunque sus limitantes principalmente son ambientales y homeostáticas (Plews et al., 2013).

## **Mecanismos fisiológicos implicados en el entrenamiento del ciclismo**

### ***Sistema Nervioso Autónomo***

El sistema Nervios Autónomo, frecuentemente se considera como parte del sistema nervioso periférico, controla las funciones involuntarias del cuerpo, varias de estas funciones son de gran importancia para los deportistas como: la frecuencia cardiaca, tensión arterial, difusión y perfusión del oxígeno en la sangre y diferentes tejidos, así como la respiración, entre otros. El SNA tiene dos divisiones principales Sistema Nervioso Simpático y Sistema Nervioso Parasimpático. Estos se originan en diversas secciones de la médula espinal y la base del cerebro. Los efectos de los dos sistemas no necesariamente son antagonistas, aunque actúan en todo momento los dos juntos (Hall, 2012).

### ***Sistema Nervioso Simpático***

El sistema nervioso simpático, se considera el sistema de huida, el cual se encarga de preparar al cuerpo humano para hacer frente a una crisis, cuando el organismo se encuentra en una situación de sorpresa, el sistema nervioso simpático produce una descarga a nivel masivo en todo el cuerpo, preparándonos para la acción. Ejemplos como un ruido fuerte repentino, turbulencia en un vuelo, una situación de peligro de muerte, ladrido de un perro por sorpresa o los pocos segundos anteriores al inicio de una competición deportiva constituyen ejemplos de cuándo podemos experimentar esta descarga simpática masiva (Hall, 2012).

### ***Sistema Nervioso Simpático en Actividad Física***

La función principal del sistema nervioso al realizar actividad física es el de incrementar la estimulación al organismo del deportista, se inicia cuando se recibe

información central de la respuesta autónoma, a partir de aquí, dos sistemas caracterizan la salida de información, tanto de los ganglios paravertebrales como el de ganglios autónomos, los simpáticos como los parasimpáticos existe la estimulación de los axones presinápticos, para inducir a la liberación de la neurotransmisora acetilcolina, aunque en ocasiones en las fibras postganglionares simpáticas el neurotransmisor es la noradrenalina (Chicharro & Vaquero, 2013).

### ***Sistema nervioso parasimpático***

El sistema respiratorio Se encarga de introducir el oxígeno (O<sub>2</sub>) presente en la atmosfera mediante la inspiración del sujeto, en el interior del organismo por una serie de conductos hasta llegar a los pulmones, que son las estructuras más importantes de este sistema, situados por encima del diafragma y rodeados por las vértebras y las costillas (Piñero, 2006).

El sistema nervioso parasimpático tiene la función contraria al sistema nervioso simpático, su función principal se refiere a la acción de provocar la relajación, el funcionamiento más lento y menos excitados o intensos de los órganos inervados, a su excepción del aparato digestivo, se activa cuando se está tranquilo ( Boullosa et al., 2012).

### ***Sistema Nervioso Parasimpático en la Actividad Física***

Las fibras parasimpáticas tienen sus terminaciones en los órganos incorporados que se estimularon, teniendo como trayecto los pares craneales, mientras que las que están dirigidas a la parte media que es el tronco y el abdomen lo hacen con el nervio vago. Al poseer estas dos distinciones, los receptores para la inervación pueden ser de dos tipos:

muscarínicos y nicotínicos, el primero se refiere a ser excitador o inhibidor depende donde esté localizado, por tanto, el segundo solo es un excitador (Chicharro & Vaquero, 2013).

### ***Sistema cardiorespiratorio***

El sistema cardiorrespiratorio está constituido por los pulmones y corazón, por lo que la mecánica de respiración de este sistema da inicio cuando se inhala aire mediante la boca y la nariz, los pulmones y diafragma más otros músculos suministran aire a los pulmones donde se mezcla el oxígeno con la sangre (Cordero et al., 2014).

El sistema cardio-respiratorio se encarga de captar y proveer el oxígeno a los tejidos del cuerpo humano donde los músculos con mayor actuación son: el corazón que se encarga de impulsar la sangre de tal manera que reparte nutrientes y oxígeno, al mismo tiempo recoge los productos de desecho, así como dióxido de carbono para su eliminación (Piñero, 2006).

### **Variables ventilatorias**

#### ***Eficiencia Ventilatoria***

La eficiencia ventilatoria se define como la relación entre producción de dióxido de carbono ( $VCO_2$ ) y ventilación (VE). Los métodos más comunes para la medición de eficiencia ventilatoria durante una prueba incremental son:

- 1.- Pendiente  $VE/VCO_2$
- 2.- Equivalente de bióxido de carbono más bajo al realizar la prueba incremental ( $LEqCo_2$ ) Sun et al (2002).
- 3.- Equivalente de bióxido de carbono en el umbral ventilatorio dos ( $EqCo_2 VT_2$ ) Sun et al (2002).

#### 4.- Pendiente de eficiencia del consumo de oxígeno (OUES) (Baba et al,1999).

El bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es producido a nivel celular en el metabolismo, la ventilación se encarga de expulsarlo a la atmosfera (VE), en dicho proceso, el  $\text{CO}_2$  es fundamental debido a la regulación del potencial de hidrógeno corporal (pH), tono vascular y en control ventilatorio (Salazar-Martínez et al., 2016).

En pacientes que padecen insuficiencia cardiaca congestiva se utiliza la pendiente de  $\text{VE}/\text{VCO}_2$ , recientemente se ha utilizado en sujetos los cuales consideran valores de normalidad de 19 a 32, valores mayores a 34 son anormales, por lo que se indica poca eficiencia a nivel cardiorrespiratorio. (Brown et al., 2013; Salazar-Martínez et al., 2016).

Las variaciones halladas en la pendiente de  $\text{VE}/\text{VCO}_2$ , se atribuye a características propias del sujeto, así como a falta de consenso en cuanto a los métodos de medición, de modo que surgen diferencias en dicha variable dependiendo su medición, ya sea desde el reposo hasta el segundo umbral ( $\text{VT}_2$ ) o desde el reposo hasta la máxima carga de trabajo (Salazar-Martínez et al., 2016).

En atletas entrenados, la pendiente  $\text{VE}/\text{VCO}_2$  no se ha estudiado a profundidad en relación al rendimiento deportivo, por lo que al momento no es claro su comportamiento. En un hipotético caso, podría existir que dos deportistas tuvieran valores diferentes respecto al equivalente de bióxido de carbono ( $\text{VE}/\text{VCO}_2$ ) para una misma tasa metabólica, pero a lo largo de la prueba incrementar se mostrara el mismo valor de pendiente  $\text{VE}/\text{VCO}_2$ . En dicho caso, se tiene diferente eficiencia a una intensidad determinada pero la misma eficiencia en general, porque se necesita el mismo incremento de ventilación (VE) por cada incremento de  $1\text{min}^{-1}$  en cuanto a la producción de bióxido de carbono en la pendiente  $\text{VE}/\text{VCO}_2$ .

Hay posibilidad que a altas intensidades en el ciclismo se promueva una menor pendiente  $VE/VCO_2$ , por lo que se traduce en un aumento menor de ventilación para incremento determinado de equivalente de bióxido de carbono, las condiciones en las que se incrementa la producción de  $CO_2$  en el ciclismo, se asocian a un factor clave para el control ventilatorio (Milsom et al 2004). El control de eficiencia ventilatoria se podría modificar a lo largo del tiempo por consecuencia de gran cantidad de entrenamiento y competición como el caso de otras variables respiratorias y de desempeño (Lucia et al., 1998).

### ***Patrón Respiratorio***

El patrón respiratorio se refiere a la frecuencia y secuencia de la respiración de un sujeto. El patrón respiratorio se considera un proceso que empieza por el ciclo respiratorio el cual se refiere a un ciclo completo de respiración englobando una inspiración seguida de una espiración, en sujetos sanos la duración suele ser similar (Benchetrit, 2000).

Dicha variable ha sido ampliamente estudiada en sujetos adultos sanos, sobre todo al estar en reposo, los hallazgos muestran una gran diversidad en el patrón de respiración en cuanto a volumen corriente el cual se refiere a la cantidad de aire en la inspiración, así como en duración inspiratoria, espiratoria y perfil del flujo del aire (Benchetrit, 2000).

Además de las diversidades anteriormente mencionadas, en cada registro de ventilación en reposo (condiciones estacionarias del sujeto) se observan variaciones sobre las variables ventilatorias al respirar, dicha variación no es aleatoria por lo que se puede explicar por intermitencia en la estabilidad de los circuitos de retroalimentación y

mecanismos neuronales a nivel central, además de esa variabilidad, cada sujeto tiene distinta tendencia al seleccionar un patrón en específico en el gran sin fin de combinaciones existentes respecto al perfil de flujo de aire y variables ventilatorias(Benchetrit, 2000) .

### ***Frecuencia Respiratoria***

La frecuencia respiratoria se refiere al número de ventilaciones realizadas por el sujeto por unidad de tiempo, es decir, el número de veces que el sujeto respira considerando el proceso de inspiración hasta espiración, usualmente se mide en respiraciones por minuto, un ejemplo de ello pueden ser la media de frecuencia respiratoria para sujetos adultos de 16 respiraciones por minuto(Benchetrit, 2000).

Anteriormente se realizaron estudios respecto a frecuencia espiratoria espontanea con una gran muestra en donde los resultados mostraron un rango de seis a treinta y un respiraciones por minuto en adultos dando como conclusión el tener ventajas por la factibilidad de edición a novel perceptivo sin dispositivos de medición (Benchetrit, 2000)

### ***Volumen Respiratorio***

El volumen respiratorio indica la cantidad de aire que interactúa dentro y fuera de los pulmones durante el ciclo respiratorio, el volumen respiratorio incluye el volumen corriente ( $V_t$ ) el cual se refiere a la cantidad de aire inspirado en cada ventilación en reposo, por otro lado, el volumen minuto, es el producto de volumen corriente por frecuencia respiratoria el cual expresa el total del volumen de aire intercambiado por unidad de tiempo (Benchetrit, 2000),

El sistema nervioso es el controlador principal del patrón respiratorio mediante el centro respiratorio el cual se ubica en el tallo cerebral, dicho sitio sincroniza la actividad de los músculos respiratorios (Serratos, escalenos, intercostales, diafragma, esternocleidomastoideo, entre otros) con el objetivo de regular la frecuencia respiratoria y profundidad de la misma en respuesta a las demandas del organismo en determinado momento, especialmente el oxígeno y dióxido de carbono a nivel sanguíneo durante el ejercicio (Benchetrit, 2000).

El patrón respiratorio se puede adaptar en respuesta a determinadas situaciones como estrés, patologías, actividad física, ejercicio físico, estrés térmico, ambiente hipoxico, se ha evidenciado que en condiciones de ejercicio físico se aumenta la frecuencia y profundidad respiratoria para cubrir demandas de oxígeno en el organismo especialmente en el sistema musculo esquelético (Benchetrit, 2000).

### ***Caracterización Paratriatlón***

El ciclismo de mano se anexa por primera vez en el paraciclismo, como competición a nivel internacional en juegos Paralímpicos Atenas 2004, contando con diecinueve atletas masculinos compitiendo cuatro eventos de tres clases. En los juegos paralímpicos de 2016, el ciclismo de mano tuvo una contribución del 33% de pruebas del calendario de paraciclismo de ruta, en su primera edición de paratriatlón en categoría masculina, con un total de setenta y cinco ciclistas de mano de los cuales cuarenta y cuatro masculinos, veinte un femeninos y diez paratriatletas masculinos, se compitió en diez clases con catorce eventos en total (Stephenson et al., 2021).

Para ser elegible en competiciones internacionales, se debe cumplir con ciertos criterios respecto a condiciones de salud: deficiencias de extremidades inferiores, lesión

de médula espinal (SCI), parálisis cerebral o algunas otras lesiones traumáticas a nivel cerebral (Stephenson et al., 2021).

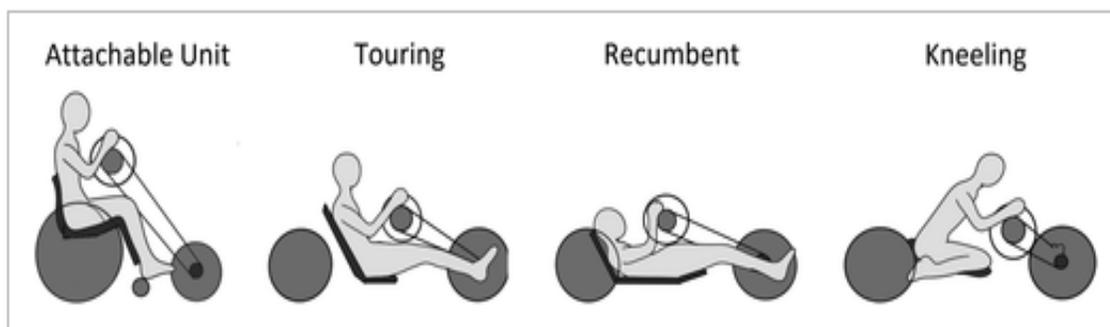
Desde el punto de vista deportivo a nivel competitivo, los deportistas mostrarán diversas habilidades funcionales valoradas por grados establecidos. Dichas habilidades tienen relación con respuestas a nivel cardiorrespiratorio en el ejercicio, por otro lado, la fuerza muscular, coordinación motriz, rango de movimiento de extremidades superiores y tronco, dependerán de su grado de deterioro (Stephenson et al., 2021).

Para promover un equilibrio de condiciones en competición en el deporte paralímpico, se emplea un sistema de clasificación que imita efectos de diferencias a nivel funcional anteriormente descritas, entre atletas respecto al resultado de cada evento, dicho sistema se coordina con la Unión de Ciclismo Internacional (UCI) (2018).

Sistema de clasificación de ciclismo de mano por la UCI, se conforma de cinco categorías dependiendo del deterioro: H1- mayor deterioro, H5 – menor deterioro. H1 – H4 para atletas que no pueden arrodillarse, usan bicicletas de mano con posición reclinable y se considera la diferencia más notable entre clases de atletas, en tanto a H5 emplean bicicletas de mano en posición arrodillada, por lo que es una categoría donde se incluyen atletas con deficiencias en extremidades inferiores y paraplejia nivel inferior (Stephenson et al., 2021).

## Figura 5

*Diferentes modelos de bicicletas de mano*



*Nota.* LA figura muestra los distintos modelos de bicicletas de mano. Tomado de *Physiology of handcycling: A current sports perspective* por Arnet et al and Stone (2014), *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 24(2), 386-394, por Van Breukelen (2001).

Las duraciones de carreras oficiales en el ciclismo de mano rondan en un rango entre 15km a 60km, lo equivalente en tiempo a 20m y 140m, las competiciones suelen ser carreras de contrarreloj o ruta sobre el pavimento, las velocidades durante contrarreloj se promedian a  $24 - 45 \text{ km h}^{-1}$ , alcanzando picos de velocidad de  $55 \text{ km h}^{-1}$ , lo cual depende del circuito de la carrera y táctica empleada (Stephenson et al., 2021).

El ciclismo de mano es un deporte que ha tenido grandes modificaciones a nivel competitivo, reflejado en un mejor progreso, ya que anteriormente en los Juegos Paralímpicos, Beijing 2008, los márgenes de diferencia en el medallero eran de hasta el 3,1%, la media de la velocidad era de  $25-37 \text{ km h}^{-1}$ , 12.7km de distancia, lo que es una menor distancia en comparación a las actuales. 2016, la diferencia entre el primer y segundo lugar fue de 0,5%, lo equivalente a aproximadamente 26 segundos en la contrarreloj, en otras clases hubo márgenes muy pequeños de hasta 3 segundos,

equivalente a 0,16%. Respecto a las pruebas de ruta, la definición de lugares fue mínima de igual manera, se definía en el sprint final (Stephenson et al., 2021).

Anteriormente el ciclismo se ha estudiado por un largo periodo temporal en áreas poblacionales con características específicas, hospitalizadas y rehabilitación con el objetivo de la promoción de actividad deportiva en dicha población con deterioro de capacidades en extremidades inferiores (Stephenson et al., 2021).

### **Características de las bicicletas de mano**

Las bicicletas de mano son implementos utilizados en deportes como el paraciclismo y paratriatlón, dichos implementos han existido desde inicios del siglo veinte, aunque las primeras bicicletas eran incómodas, teniendo un objetivo de desplazamiento limitado del sujeto sin considerar la competición (Abel et al., 2003).

Para 1960, el ciclismo de mano empezó desarrollarse en cuanto a la investigación a partir de la necesidad de obtener mejores máquinas: más ligeras, duraderas, eficientes y con mejor propulsión que la silla de ruedas convencional (van der Woude et al., 2001)

Existen dos tipos de bici, el tipo uno se refiere a las bicicletas de mano con unidad ajustable, por lo general son utilizados para realizar actividades diarias. El tipo dos de las bicicletas de mano cuentan con estructuras rígidas y se emplean para competiciones (van der Woude et al., 2001).

A principios de los años 2000 se realizaron los primeros estudios de las bicicletas de mano, centrados en la posición del tronco, medida en el respaldo del implemento, en ese entonces era una posición bastante erguida oscilando el ángulo del tronco entre 45° a 90°, dicha inclinación tenía el objetivo de hallar una posición más eficiente en cuanto a

producción energética debido a menor área frontal, por lo tanto, en la actualidad las ganancias mayores en cuanto a aerodinámica la poseen ciclistas con posición reclinable respecto a arrodillada, ya que la posición naturalmente genera menor área de fricción (van der Woude et al., 2000).

En el 2010 se publicaron estudios en los cuales se analizaron variables fisiológicas en el ciclismo de mano en posición reclinada y arrodillada posteriormente a que modificaciones en la regulación generara que las bicicletas de mano posición reclinada empleara ángulos menores a 45° respecto a la inclinación del tronco, en esos estudios la rueda delantera tiene un sistema de propulsión sincronizada a una transmisión de bicicletas convencionales que se compone de platos de multiplicación, brazos de manivela, cadena, desviador, palancas para cambio y empuñadoras en lugar de pedales (Abel et al., 2003).

La posición de la manivela respecto al deportista depende de la relación entre la bicicleta de mano reclinada con brazo y arrodillada con brazo y tronco (Abel et al., 2003).

En la bicicleta de mano reclinada, el atleta se coloca en una posición prono, las bielas van posicionadas encima de la altura de los hombros, a manera que, a la mayor extensión, los brazos queden próximos a la máxima extensión de codo, considerando que la UCI establece que en posición reclinable el eje de biela no debe rebasar la línea perceptible visualmente del ciclista durante la competición, por otro lado, en la posición arrodillada, la posición de las bielas es por debajo de los hombros, la distancia horizontal entre biela y hombro es menor, suelen tener manivelas más largas, mangos más anchos que las reclinadas (Fischer, 2013).

Actualmente se ha popularizado como modalidad deportiva al ciclismo de mano para personas con discapacidades en las extremidades inferiores, también lo practican a nivel recreativo, se consideran distintas posiciones respecto a las bicicletas en función de las categorías y distancias a recorrer. En los últimos veinte años ha incrementado el nivel de investigación en el ciclismo de mano sin embargo al momento se conoce muy poco sobre las variables fisiológicas y biomecánicas en dicha actividad deportiva y son factores importantes a considerar para el desarrollo del desempeño deportivo (Vegter et al., 2019).

### **Antecedentes de otros estudios**

Se realizó una revisión narrativa con el objetivo de plasmar una perspectiva en la investigación acerca del ciclismo de mano, en cuanto a la documentación en patatletas elite. Respecto a la metodología, se emplearon cincuenta y ocho estudios de caso de carácter experimental y cuatro tesis doctorales en los cuales se describieron características determinantes de la capacidad aeróbica de ciclistas de mano, así como la influencia que tiene el estado actual de entrenamiento (Stephenson et al., 2021).

Posteriormente se detallan resultados de las respuestas fisiológicas al desempeño en dicho deporte que incluye rendimiento en carreras de rapidez, así como información limitada a pocas variables de capacidad aeróbica, así como hábitos respecto al entrenamiento de los deportistas (Stephenson et al., 2021).

Dado que se obtuvieron bastantes protocolos utilizados en los estudios, se presentaron consideraciones para interpretar estudios existentes y sugerencias para próximos trabajos con enfoque competitivo respecto a dicho deporte (Stephenson et al., 2021).

Se obtuvieron como resultados veintiún estudios en total en los cuales se describe la información acerca de la capacidad aeróbica, detallando tasas de consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2MAX}$ ) con valores en torno a los  $3,0 \text{ L min}^{-1}$ , potencia aeróbica máxima (PAM) con valores aproximados de 240 W en atletas masculinos de categorías H3-H4 (Stephenson et al., 2021).

Por otro lado, para el atletismo en silla de ruedas se realizó una revisión que tuvo como objetivo examinar métodos existentes en la literatura para valorar la capacidad física en deportes que involucren silla de ruedas en situaciones reales en el terreno de competición, focalizando la consideración a las variables de resultado, validez, fiabilidad, influencias no fisiológicas respecto al desempeño físico del atleta (Goosey & Letich, 2013).

Así mismo, se establece el ambiente acerca de las pruebas de campo, proporcionando información respecto a las características de cada deporte como dimensiones de cancha paralímpica e influencia del grado de capacidad sobre el rendimiento deportivo (Goosey & Letich, 2013).

En tanto a la disponibilidad limitada de dispositivos especializados en valoración en el laboratorio, a deportistas que utilicen silla de ruedas, el empleo de pruebas en campo suele ser una gran opción, generalmente es la más utilizada por entrenadores o preparadores físicos de estos atletas debido a lo factible que son, aportan resultados muy útiles ya que se puede evaluar al atleta en condiciones reales en su terreno de juego y configuración correcta de la silla de ruedas, en deportes de equipo permite evaluar a un gran número de atletas (Goosey & Letich, 2013).

Dado que la mayoría de pruebas existentes se establecieron para atletas de deporte convencional, la opción de emplearlas para atletas de silla de ruedas puede ser errónea, por lo que se proponen nuevas pruebas considerando especificades de dicha población, las pruebas se categorizaron por discapacidad, dominio de silla de ruedas, mejoras del rendimiento (Goosey & Letich, 2013).

## **Marco Metodológico**

La investigación se realizó desde un enfoque cuantitativo ya que se recolectaron datos respecto al comportamiento de variables antes mencionadas. Se realizó mediante un diseño transversal de tipo descriptivo con tendencia de análisis longitudinal en el que el sujeto se encuentra en un periodo competitivo previo a Juegos Olímpicos París 2024 respecto al proceso de entrenamiento.

### **Población y Muestra**

La muestra se conformó por un sujeto de sexo femenino: un estudio de caso

### **Criterios de Inclusión**

- Nivel de rendimiento: alto, categoría elite de acuerdo a la clasificación de participantes (McKay et al., 2022)
- Ratificar certificado médico
- Firmar consentimiento informado para participar en la investigación

### **Criterios de Eliminación**

- Presentar patologías
- Presentar lesiones durante la investigación
- Incumplir con alguna prueba

## Protocolo de Investigación

Al iniciar la investigación se elaboró un expediente clínico. Se informó al sujeto considerar los siguientes puntos:

- Evitar realizar ejercicio físico vigoroso 24 horas previas a la valoración.
- No consumir sustancias estimulantes 4 horas previas a la evaluación
- No tener un ayuno mayor a 4 horas
- Portar indumentaria cómoda al realizar las valoraciones.

Todos los procedimientos de la investigación se realizaron considerando el acuerdo de la declaración de Helsinki (World Medical Association, 2013). Se obtuvo el conocimiento informado por escrito del atleta.

Posteriormente se realizó las prueba de esfuerzo para determinar el consumo máximo de oxígeno  $VO_{2max}$ , a través de una ergoespirometría, consumo de oxígeno ( $VO_2$ ), producción de dióxido de carbono ( $VCO_2$ ), ventilación pulmonar (VE), volumen corriente ( $V_t$ ), frecuencia respiratoria ( $f_R$ ), conducción ( $V_t/T_i$ ), sincronización ( $T_i/T_{tot}$ ), máxima producción de potencia (PPO), Potencia aeróbica máxima (PAM), equivalente ventilatorio de bióxido de carbono ( $EqCO_2$ ) equivalente ventilatorio de oxígeno ( $EqCO_2$ ), eficiencia gruesa (GE), delta eficiencia ( $\Delta E$ ) y la eficiencia ventilatoria ( $VE/VCO_{2slope}$ ).

Más adelante se aplicó la prueba de campo para determinar el consumo máximo de oxígeno  $VO_{2max}$ , a través de una ergoespirometría, consumo de oxígeno ( $VO_2$ ), umbral ventilatorio uno (VT1) y umbral ventilatorio 2 (VT2).

### **Protocolo Específico**

El protocolo se aplicó de manera continua de tipo incremental respecto a la intensidad, es decir, no hubo pausas durante la prueba la cual fue realizada en rampa debido a los aumentos de potencia cortos de tiempo, llevando al sujeto hasta el agotamiento voluntario.

Al principio de la prueba se capturó el registro de frecuencia cardiaca y el intercambio de gases con el espirómetro COSMED Quark PFT de turbina (COSMED The Metabolic Company Roma Italia) respiración a respiración en estado basal estable durante un minuto.

Posteriormente se comenzó a rodar a 20W en bicicleta de mano montada al rodillo entrenador empleada como ergómetro. Se prosiguió con aumentos de 15w cada minuto hasta concluir la prueba. Se registraron valores de ventilación, gases y electrocardiograma.

Dos días después, se realizó la prueba en campo para determinación de consumo máximo de oxígeno y umbrales ventilatorios.

Al inicio de la prueba se capturó el registro de frecuencia cardiaca y el intercambio de gases con el espirómetro PNOÈ portatil (PNOÈ, Atenas Grecia) respiración a respiración en estado basal estable durante un minuto.

Posteriormente se comenzó la prueba máxima de tipo incremental en escalones largos sobre la silla de ruedas. Reposo de 1:00 minuto. Se prosiguió con aumentos de

2Km·h<sup>-1</sup> de manera incremental en promedio cada 2 minutos hasta el agotamiento. Registro de Ventilación, Gases y Frecuencia Cardíaca.

### **Determinación de Consumo Máximo de Oxígeno (VO<sub>2</sub>max)**

Los criterios de maximidad considerados para la valoración, se tiene una meseta en la curva de VO<sub>2</sub>. Para detectar la meseta el criterio fue no tener una diferencia de 150mLO<sub>2</sub>·min<sup>-1</sup> en cuanto al valor absoluto, que durara más de un minuto y que se presentara por lo menos un aumento de intensidad (Midgley et al., 2007). En dado caso de presentar los datos anteriores la prueba se consideró máxima para obtención de VO<sub>2</sub>max y PAM. En caso contrario, los criterios que se consideraron para los valores de VO<sub>2</sub>max y consumo pico fueron un cociente respiratorio (RER) mayor a 1.10, frecuencia cardíaca máxima teórica igual o mayor al 90% respecto al valor de la fórmula 220-Edad (Howley et al., 1995).

### **Protocolo Umbrales Ventilatorios (VT1 y VT2)**

Respecto a la detección de los umbrales ventilatorios se consideraron los criterios del modelo trifásico de Skinner y McLellan (1980) basado en método de equivalentes ventilatorios. En tanto a la detección del VT1 se identificó el punto más bajo del EqVO<sub>2</sub>, su posterior incremento, en tanto al inicio de estabilización en la meseta de la P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>. Para detección del VT2 se identificó el punto más bajo del EqVCO<sub>2</sub>, así como su posterior incremento y el comienzo de descenso de la P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> (Lucía et al., 2000).

## Resultados y Discusión

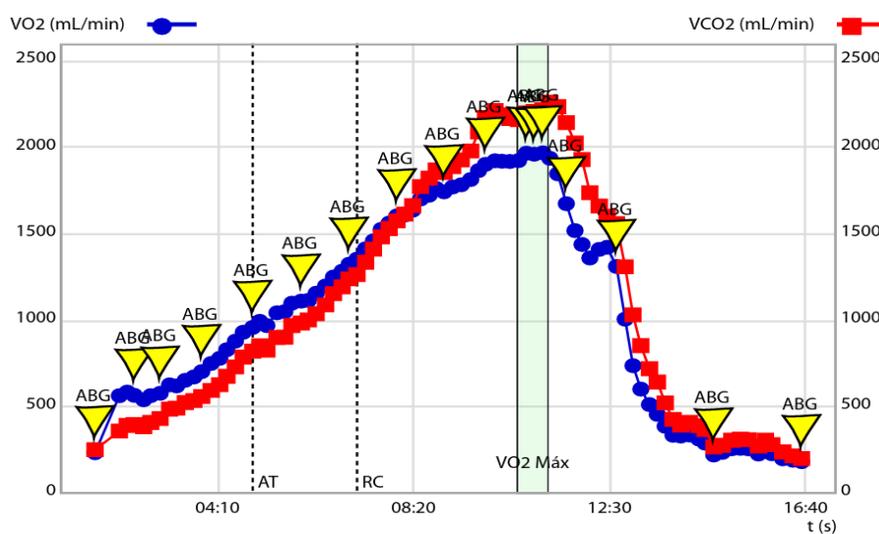
Se detallarán a continuación los resultados de cada variable de rendimiento, los cuales fueron obtenidos mediante ergoespirometrías en el laboratorio y en campo, proporcionando una comparativa con valores de referencia de atletas élite de paratriatlón respecto a otros estudios.

### Consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ )

El consumo máximo de oxígeno es la capacidad del organismo humano para absorber transportar y consumir oxígeno, se ha considerado como la valoración estándar de oro en cuanto a función oxidativa cardiopulmonar y muscular (Poole & Jones, 2017).

**Figura 6**

*Consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ )*



Respecto al consumo máximo de oxígeno se halló una meseta respecto a la curva del  $VO_{2max}$ , con un valor absoluto de  $1,96 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ , por lo que en su valor relativo corresponde a  $41,8 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , lo que indica que el sujeto presenta un valor alto de

capacidad aeróbica y aptitud cardiorrespiratoria en comparación con valores de paratriatletas élite de algunos estudios los cuales oscilan entre 34 a 40 mL·Kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> (Stephenson et al., 2021), valores obtenidos en otros estudios donde se evaluaron a atletas de distintos deportes establecen 2,75 L·min<sup>-1</sup> para su valor absoluto, 40,2 mL·Kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> para su valor relativo (Bernardi et al., 2010). En estudios con atletas de esquí nórdico los valores suelen estar en un rango de valor absoluto de 3,34 L·min<sup>-1</sup>, para valor relativo 38,8 mL·Kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> (Bernardi et al., 2010).

En un estudio realizado en sujetos con tetraparaplejia y paraplejia, se obtuvieron valores de consumo pico de cinco grupos, los cuales se clasificaba de acuerdo a la edad, masa corporal, grado de lesión y nivel de actividad establecidos mediante valores normativos donde se consideró el nivel de integridad de lesión, los valores se expresaron en valor relativo, para el grupo uno se obtuvieron 12,6 mL·Kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>, para el grupo dos 22,8 mL·Kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>, el grupo tres 24,7 mL·Kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>, grupo cuatro 29,2 mL·Kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>, grupo cinco 21,6 mL·Kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>, se observa que los valores bajos debido a que la población varió considerablemente en cuanto a las características antes mencionadas (Janssen et al., 2002).

El valor obtenido en el estudio, resultó tener un nivel medio alto en comparación a corredores de silla de ruedas, los cuales muestran valores más altos, 3,05 L·min<sup>-1</sup> en termino absoluto, para valor relativo se obtuvo 48,1 mL·Kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> (Bernardi et al., 2010). De mismo modo se mostraron valores inferiores respecto a resultados obtenidos en remeros muestran valores relativos de consumo de oxígeno de 52,6 mL·Kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>, para ciclistas los valores relativos son de 50,4 mL·Kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> (Deguchi et al., 2010).

El consumo máximo de oxígeno se ha considerado una variable de interés general en los deportes de resistencia y determinante del rendimiento, por lo que un valor alto del mismo impactará positivamente al desempeño del atleta (Nevin et al., 2022).

### **Potencia Aeróbica Máxima (PAM)**

Hallando la potencia inicial a la que el consumo máximo de oxígeno comienza a establecerse, se obtiene el valor de la PAM, la cual mostró un valor de 155Watts (W), indicando un valor inferior en comparación con datos de paratriatletas élite de otros estudios en los que valoran de PAM, encontrando en un rango de 168 a 177 W (Stephenson et al., 2021).

Por otro lado, resultados obtenidos en un estudio de caso tendencia longitudinal el cual fue realizado con población de atletas de ciclismo de mano, establecen valores de potencia de 152W para la toma uno realizada en Abril 2014, 150W para la segunda toma realizada en Octubre de 2014, 182W para la última toma en Mayo 2015 (Zeller et al., 2017).

En deportes de resistencia como el paratriatlón es de suma importancia contar con valores altos de potencia aeróbica máxima debido a que se considera una variable condicionante en conjunto con el consumo máximo de oxígeno para la disciplina del ciclismo de mano debido a la exigencia que implica el esfuerzo, asemejándose a una hibridación entre una contrarreloj individual con salida en grupo masivo (Nevin et al., 2022).

A demás de valores altos de PAM, se considera tener valores altos de potencia mecánica máxima, ya que es un indicador de rendimiento, en un estudio se obtuvieron valores de potencia máxima para cinco grupos, para el grupo uno se obtuvo un valor de 25W, para el grupo dos 66.4W, el grupo tres 74.9W, grupo cuatro 79.9W, grupo cinco 57.5W, aunque fueron valores máximos se observa que los valores son bajos considerando que son sujetos con tetraparaplejia y paraplejia (Janssen et al., 2002).

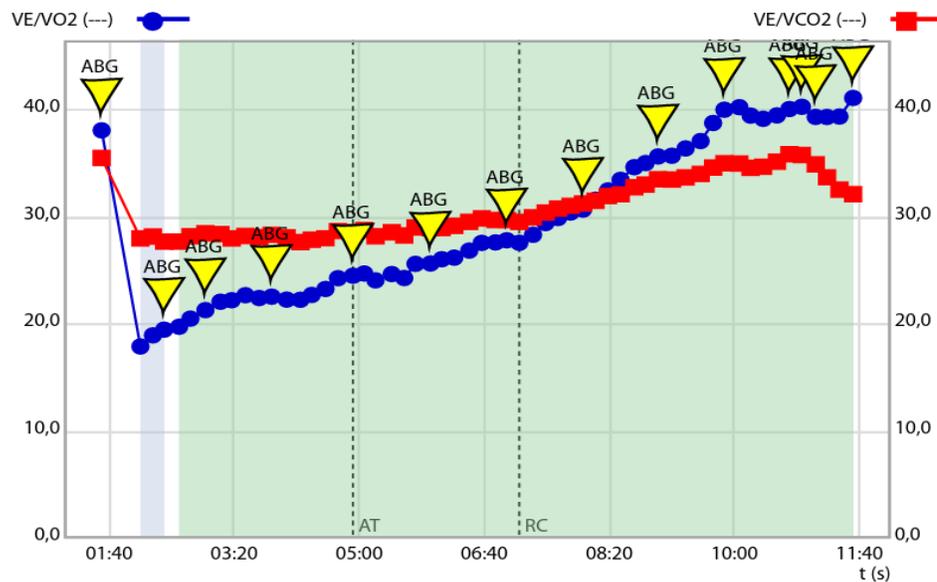
### **Umbrales Ventilatorios**

Los umbrales ventilatorios son aquellos que muestran el comportamiento del metabolismo ante determinada situación. Primeramente, se tiene al umbral ventilatorio 1 (VT1) también conocido como umbral aeróbico el cual se caracteriza por la utilización de ácidos grasos como fuente de energía en mayor medida, para VT1 se encontró un valor del 60% respecto al valor del consumo máximo de oxígeno, lo cual establece que está dentro de los parámetros de referencia de atletas elite, umbral ventilatorio uno: VT1, FC = 109-115ppm, 50-65 Watts (Stephenson et al., 2021).

Posteriormente a VT1, a nivel metabólico, da inicio a la utilización de ácidos grasos e hidratos de carbono como fuente energética, también conocido como zona de transferencia o transición aeróbica- anaeróbica. Seguidamente se encuentra el umbral ventilatorio 2 (VT2), conocido como umbral anaeróbico, se caracteriza porque sobrepasando dicho umbral da inicio el proceso de acidosis metabólica donde la fuente energética primordial son los hidratos de carbono (Lucía et al., 2000).

**Figure 7**

*Umbrales ventilatorios modelo trifásico de Skinner- McLlelan*



Para VT2 se obtuvo un valor del 80% respecto al valor de consumo máximo de oxígeno, los valores obtenidos se encuentran con nivel aceptable respecto a los rangos de los parámetros hallados en otros estudios en atletas elite para el umbral ventilatorio dos: VT2, FC = 131-145ppm, 95-110 Watts (Stephenson et al., 2021), en atletas de esquí nórdico se halló un valor de 73,7% en cuanto al valor del consumo máximo de oxígeno, con 158 ppm para frecuencia cardiaca (Bernardi et al., 2010).

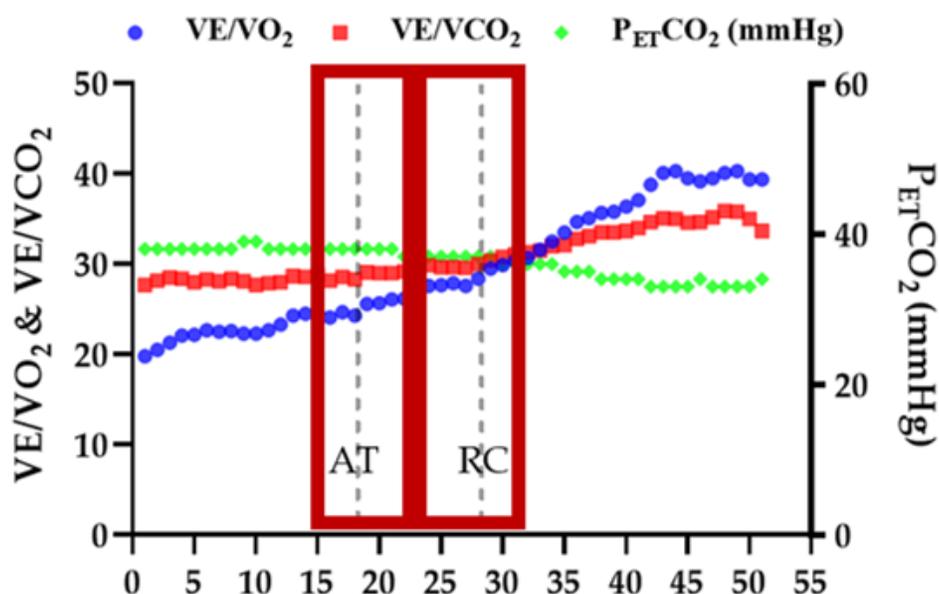
Se obtuvieron valores en corredores de silla de ruedas para el umbral se halló un valor de 73,5% respecto al valor del consumo máximo de oxígeno, frecuencia cardiaca con un valor de 15,8ppm (Bernardi et al., 2010). En estudios realizados con atletas de diferentes deportes se hallaron valores de 151 ppm para la frecuencia cardiaca en el

segundo umbral ventilatorio que tiene un valor de 71,3% respecto al consumo máximo de oxígeno (Bernardi et al., 2010).

Para la frecuencia cardiaca máxima se presentó un valor de 164ppm (pulsaciones por minuto), el cual se considera un alto valor ya que en los parámetros de referencia de atletas elite la frecuencia cardiaca máxima oscila entre 142 a 168ppm (Stephenson et al., 2021).

### Figura 8

*Valores obtenidos en umbrales ventilatorios*



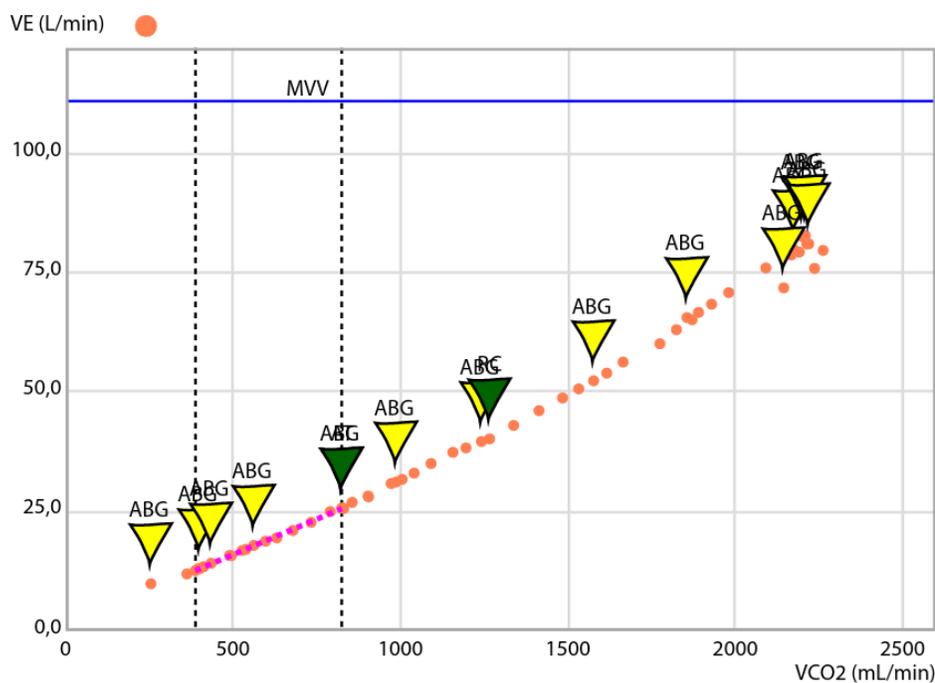
### Respuesta y Patrón Ventilatorio

En cuanto a la eficiencia ventilatoria y patrón respiratorio se obtuvieron valores de ventilación máxima de 82,91 L·min<sup>-1</sup> con una frecuencia respiratoria de 46 respiraciones por minuto, por lo tanto, los valores de respuesta ventilatoria se encuentran

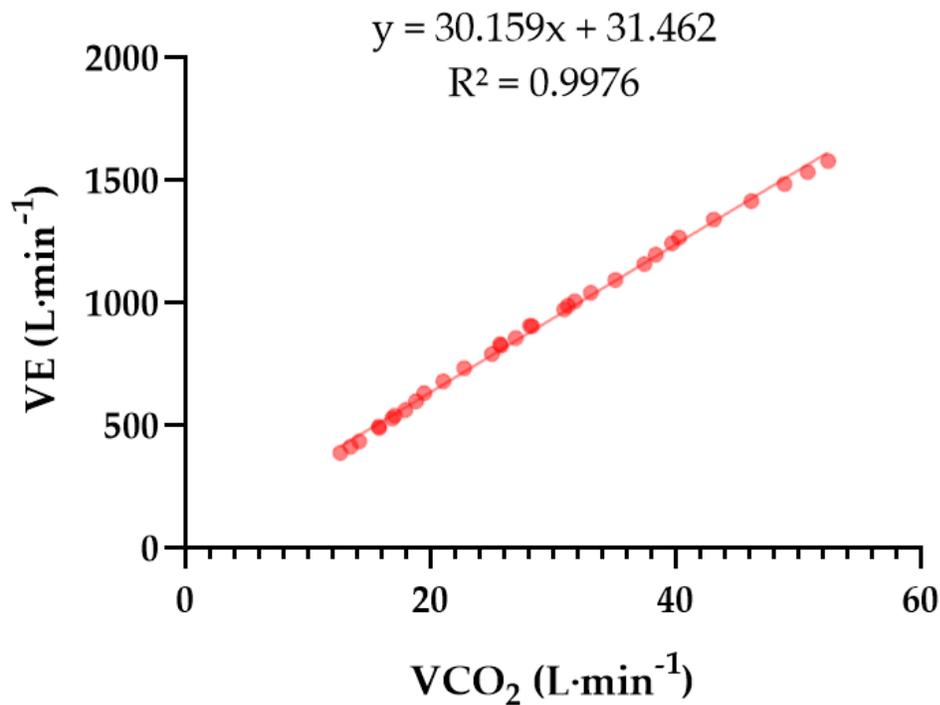
dentro del rango de normalidad de acuerdo a los valores de referencia encontrados en ciclistas de élite (Salazar-Martínez et al., 2016).

### Figura 9

*Valores hallados de respuesta ventilatoria*



Respecto a eficiencia ventilatoria se halló un valor considerado bueno debido a un 30,15 (VE/VCO<sub>2</sub>Slope) para el DeltaCO<sub>2</sub>, comparado con los valores de referencia en un estudio longitudinal en ciclistas de elite, en la toma uno durante el primer año mostraron un valor de 24,63 VE/VCO<sub>2</sub>Slope, en la toma dos durante el segundo año se encontró un valor de 23,61 VE/VCO<sub>2</sub>Slope, en la tercer toma durante el tercer año se obtuvo un valor de 24,89VE/VCO<sub>2</sub>Slope, lo que indica una adecuada eliminación de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el proceso de ventilación, así mismo, se encuentra un adecuado patrón ventilatorio (Salazar-Martínez et al., 2016)

**Figura 10***Pendiente VE/VCO2***Prueba de consumo de oxígeno en campo**

Considerando al consumo máximo de oxígeno como la capacidad de un organismo para absorber, difundir y utilizar oxígeno a nivel aeróbico, en algunos casos solo se puede determinar un valor pico (VO<sub>2</sub>pico) aunque la prueba sea máxima debido a ciertos criterios de maximidad (Midgley et al., 2007). De igual manera se encuentran valores de potencia media.

**Figure 11**

*Valores encontrados en consumo de oxígeno pico*



Para la prueba de consumo máximo de oxígeno en campo se obtuvieron resultados del consumo pico de oxígeno ( $VO_{2\text{pico}}$ ) de  $2,64 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  en valor absoluto,  $56,2 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  para valor relativo del consumo de oxígeno pico, lo que indica que dichos valores están por encima de la media de los parámetros de referencia en atletas elite de esquí nórdico que oscilan en un rango de  $41,3 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  de consumo de oxígeno pico su valor relativo, los valores fueron de 172ppm para frecuencia cardiaca (Bernardi et al., 2010).

Resultados hallados en estudios realizados con atletas de remo cuentan con un valor relativo de consumo de oxígeno de  $41,7 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , en el grupo de ciclistas se halló un valor de  $35,5 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  (Deguchi et al., 2010). Por lo tanto, se muestran valores inferiores a los hallados en el estudio.

Valores obtenidos en corredores de silla de ruedas fueron de  $40,5 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  en valor relativo del consumo de oxígeno pico, registrando 176 ppm de valor de frecuencia cardiaca alcanzada (Bernardi et al., 2010), en atletas de diferentes deportes se obtuvieron valores de  $30,6 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  respecto a consumo de oxígeno pico, con 157.6 ppm para

la frecuencia cardiaca (Bernardi et al., 2010) mostrando parámetros aún más bajos a los hallazgos de este estudio.

## **Conclusión**

De acuerdo a los parámetros fisiológicos como el consumo máximo de oxígeno y potencia aeróbica máxima, se obtuvieron valores que coinciden con los valores de referencia propuestos en la literatura. Respecto a patrón respiratorio y eficiencia ventilatoria, se sugiere considerarlas como variables de interés en futuros estudios, debido a la útil información que aporta para emplearse en prescripción y diseño de programas de entrenamiento mediante valoraciones en laboratorio y campo.

## Referencias

- Abel, T., Vega, S., Bleicher, I., & Platen, P. (2003). Handbiking: Physiological Responses to Synchronous and Asynchronous Crank Montage. *European Journal of Sport Science*, 3(4), 1–9. <https://doi.org/10.1080/17461390300073401>
- Anta, R. C., Turpin, J. A. P., Vicente, J. G. V., Tormo, J. M. C., & Marroyo, J. A. R. (2007). An analysis of performance factors in sprint distance triathlon. *Journal of Human Sport and Exercise*, 2(2), 1-25.
- Arnet, U., van Drongelen, S., Schlüssel, M., Lay, V., van der Woude, L. H., & Veeger, H. E. (2014). The effect of crank position and backrest inclination on shoulder load and mechanical efficiency during handcycling. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(2), 386–394. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01524>.
- Baba, R., Tsuyuki, K., Kimura, Y., Ninomiya, K., Aihara, M., Ebine, K., Tauchi, N., Nishibata, K., & Nagashima, M. (1999). Oxygen uptake efficiency slope as a useful measure of cardiorespiratory functional reserve in adult cardiac patients. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 80(5), 397–401. <https://doi.org/10.1007/s004210050610>
- Banister, E. W., & Calvert, T. W. (1980). Planning for future performance: implications for long term training. *Canadian journal of applied sport sciences. Journal canadien des sciences appliquees au sport*, 5(3), 170–176.
- Bassett, D. R., Jr, & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(1), 70–84. <https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012>

- Benchetrit G. (2000). Breathing pattern in humans: diversity and individuality. *Respiration physiology*, 122(2-3), 123–129. [https://doi.org/10.1016/s0034-5687\(00\)00154-7](https://doi.org/10.1016/s0034-5687(00)00154-7)
- Bernardi, M., Guerra, E., Di Giacinto, B., Di Cesare, A., Castellano, V., & Bhambhani, Y. (2010). Field evaluation of paralympic athletes in selected sports: implications for training. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(6), 1200–1208. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181c67d82>
- Boullosa, D. A., Abreu, L., Tuimil, J. L., & Leicht, A. S. (2012). Impact of a soccer match on the cardiac autonomic control of referees. *European journal of applied physiology*, 112(6), 2233–2242. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2202-y>
- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gatin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., Gabbett, T. J., Coutts, A. J., Burgess, D. J., Gregson, W., & Cable, N. T. (2017). Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement. *International journal of sports physiology and performance*, 12(Suppl 2), S2161–S2170. <https://doi.org/10.1123/IJSPP.2017-0208>
- Camacho Velázquez, J. E., Ochoa Reyes, N. D., & Rincón Bolívar, N. J. (2019). Revisión teórica de la planificación tradicional y contemporánea en el entrenamiento deportivo.
- Chicharro, J. L., & Vaquero, A. F. (2013). *Fisiología del ejercicio*. Ed. Médica Panamericana.
- Cordero, A., Masiá, M. D., & Galve, E. (2014). Ejercicio físico y salud. *Revista española de cardiología*, 67(9), 748-753.
- Deguchi, M., Yokoyama, H., Hongu, N., Toya, A., Matsutake, T., Suzuki, Y., ... & Okazaki, K. (2023). Does Exercise Testing with Arm Crank Ergometer Substitute for Cycle Ergometer

to Evaluate Exercise Capacity?. *Applied Sciences*, 13(23), 12926.  
<https://doi.org/10.3390/app132312926>

Fischer, G., & Ardigo, L. P. (2013). *Bioenergetics and Biomechanics of Handbiking: focus on spinal cord injured athletes* (Doctoral dissertation, PhD thesis. Verona: Verona University).

Goosey-Tolfrey, V. L., & Leicht, C. A. (2013). Field-based physiological testing of wheelchair athletes. *Sports medicine* (Auckland, N.Z.), 43(2), 77–91.  
<https://doi.org/10.1007/s40279-012-0009-6>

Hall, J. E. (Ed.). (2016). *Guyton y Hall. Tratado de fisiología médica*. Elsevier España.

Halson S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports medicine* (Auckland, N.Z.), 44 Suppl 2(Suppl 2), S139–S147. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z>

Howley, E. T., Bassett, D. R., Jr, & Welch, H. G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Medicine and science in sports and exercise*, 27(9), 1292–1301.

Howley, E. T., Bassett, D. R., Jr, & Welch, H. G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Medicine and science in sports and exercise*, 27(9), 1292–1301.

Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2019). Internal and External Training Load: 15 Years On. *International journal of sports physiology and performance*, 14(2), 270–273.  
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0935>

- Janssen, T. W., Dallmeijer, A. J., Veeger, D. J., & van der Woude, L. H. (2002). Normative values and determinants of physical capacity in individuals with spinal cord injury. *Journal of rehabilitation research and development*, 39(1), 29–39
- Javaloyes, A., Sarabia, J. M., Lamberts, R. P., & Moya-Ramon, M. (2019). Training Prescription Guided by Heart-Rate Variability in Cycling. *International journal of sports physiology and performance*, 14(1), 23–32. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0122>
- Jorge Cuadrado Reyes y M Grimaldi (2011). Medios para Cuantificar la Carga Interna de Entrenamiento en Deportes de Equipo. La Frecuencia Cardiaca, el Consumo de Oxígeno, la Concentración de Lactato en Sangre y la Percepción Subjetiva del Esfuerzo: Una Revisión. PubliCE.  
<https://g-se.com/medios-para-cuantificar-la-carga-interna-de-entrenamiento-en-deportes-de-equipo.-la-frecuencia-cardiaca-el-consumo-de-oxigeno-la-concentracion-de-lactato-en-sangre-y-la-percepcion-subjetiva-del-esfuerzo-una-revision-1434-sa-857cfb2720d32f>
- Lucía, A., Carvajal, A., Calderón, F. J., Alfonso, A., & Chicharro, J. L. (1999). Breathing pattern in highly competitive cyclists during incremental exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 79(6), 512–521. <https://doi.org/10.1007/s004210050546>
- Lucía, A., Hoyos, J., Pardo, J., & Chicharro, J. L. (2000). Metabolic and neuromuscular adaptations to endurance training in professional cyclists: a longitudinal study. *The Japanese journal of physiology*, 50(3), 381–388. <https://doi.org/10.2170/jjphysiol.50.381>

- Lucía, A., Hoyos, J., Pérez, M., & Chicharro, J. L. (2000). Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(10), 1777–1782. <https://doi.org/10.1097/00005768-200010000-00018>
- Lucía, A., Pardo, J., Duránte, A., Hoyos, J., & Chicharro, J. L. (1998). Physiological differences between professional and elite road cyclists. *International journal of sports medicine*, 19(5), 342–348. <https://doi.org/10.1055/s-2007-971928>
- Martinez-Mendez, R., Sekine, M., & Tamura, T. (2012). Postural sway parameters using a triaxial accelerometer: comparing elderly and young healthy adults. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 15(9), 899–910. <https://doi.org/10.1080/10255842.2011.565753>
- McKay, A. K. A., Stellingwerff, T., Smith, E. S., Martin, D. T., Mujika, I., Goosey-Tolfrey, V. L., Sheppard, J., & Burke, L. M. (2022). Defining Training and Performance Caliber: A Participant Classification Framework. *International journal of sports physiology and performance*, 17(2), 317–331. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2021-0451>
- Midgley, A. W., McNaughton, L. R., Polman, R., & Marchant, D. (2007). Criteria for determination of maximal oxygen uptake: a brief critique and recommendations for future research. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 37(12), 1019–1028. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737120-00002>
- Morton, R. H., Fitz-Clarke, J. R., & Banister, E. W. (1990). Modeling human performance in running. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 69(3), 1171–1177. <https://doi.org/10.1152/jappl.1990.69.3.1171>

- Mujika, I., & Padilla, S. (2001). Physiological and performance characteristics of male professional road cyclists. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 31(7), 479–487. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131070-00003>
- Nevin, J., Kouwijzer, I., Stone, B., Quittmann, O. J., Hettinga, F., Abel, T., & Smith, P. M. (2022). The Science of Handcycling: A Narrative Review. *International journal of sports physiology and performance*, 17(3), 335–342. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2021-0458>
- Parsons, A. (2021). Los Juegos Paralímpicos: Una plataforma para el cambio. Los atletas paralímpicos: Faros de esperanza. Discurso pronunciado por el presidente del Comité Paralímpico Internacional en la ceremonia de apertura de Tokio 2020. *Citius, Altius, Fortius*, 14(2), 53-55.
- Piñero Mosquera, R. (2006). La resistencia y el sistema cardiorespiratorio en la educación física y el deporte. Sevilla: Wanceulen, 2006. <http://hdl.handle.net/11162/61407>
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(9), 773–781. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0071-8>
- Poole, D. C., & Jones, A. M. (2017). Measurement of the maximum oxygen uptake  $Vo_{2max}$ :  $Vo_{2peak}$  is no longer acceptable. *Journal of applied physiology*, 122(4), 997-1002. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01063.2016>

- Rønnestad, B. R., & Mujika, I. (2014). Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(4), 603–612. <https://doi.org/10.1111/sms.12104>
- Salazar-Martínez, E., Terrados, N., Burtscher, M., Santalla, A., & Naranjo Orellana, J. (2016). Ventilatory efficiency and breathing pattern in world-class cyclists: A three-year observational study. *Respiratory physiology & neurobiology*, 229, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2016.04.001>
- Sánchez-Picón, A., Aznar-Sánchez, J. A., & García-Latorre, J. (2011). Economic cycles and environmental crisis in arid southeastern Spain. A historical perspective. *Journal of arid environments*, 75(12), 1360-1367.
- Skinner, J. S., & Mclellan, T. H. (1980). The Transition from Aerobic to Anaerobic Metabolism. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51(1), 234–248. <https://doi.org/10.1080/02701367.1980.10609285>
- Stephenson, B. T., Stone, B., Mason, B. S., & Goosey-Tolfrey, V. L. (2021). Physiology of handcycling: A current sports perspective. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 31(1), 4–20. <https://doi.org/10.1111/sms.13835>
- Svedenhag, J. (2000). Endurance conditioning. *Endurance in sport*. Oxford, UK: Blackwell Science LTD, 402-408.
- Swart, J., & Holliday, W. (2019). Cycling Biomechanics Optimization-the (R) Evolution of Bicycle Fitting. *Current sports medicine reports*, 18(12), 490–496. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000665>

- Toledo, T., Atasoy, B., Jing, P., Ding-Mastera, J., Santos, J. O., & Ben-Akiva, M. (2020). Intercity truck route choices incorporating toll road alternatives using enhanced GPS data. *Transportmetrica A: Transport Science*, 16(3), 654–675. <https://doi.org/10.1080/23249935.2020.1722284>
- Turpin, N. A., & Watier, B. (2020). Cycling biomechanics and its relationship to performance. *Applied Sciences*, 10(12), 4112. <https://doi.org/10.3390/app10124112>
- Union Cycliste Internationale. Cycling Regulations—Part 16 Para-cycling 2018. [http://www.uci.ch/mm/Document/News/Rulesandregulation/16/80/73/1-GEN-70320160101-E\\_English.pdf](http://www.uci.ch/mm/Document/News/Rulesandregulation/16/80/73/1-GEN-70320160101-E_English.pdf). Accessed 13 Apr 2018.
- Van Breukelen, K. H. (2001). Arm-power versus arm-trunk-power, an ergonomic classification of handbikes: Double Performance.
- Van der Woude, L. H. V., Veeger, H. E. J., & Dallmeijer, A. J. (2000). Manual wheelchair propulsion. *Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention*, 609-636.
- Van der Woude, L. H., Veeger, H. E., Dallmeijer, A. J., Janssen, T. W., & Rozendaal, L. A. (2001). Biomechanics and physiology in active manual wheelchair propulsion. *Medical engineering & physics*, 23(10), 713–733. [https://doi.org/10.1016/s1350-4533\(01\)00083-2](https://doi.org/10.1016/s1350-4533(01)00083-2)
- Vegter, R. J. K., Mason, B. S., Sporrel, B., Stone, B., van der Woude, L. H. V., & Goosey-Tolfrey, V. L. (2019). Crank fore-aft position alters the distribution of work over the push and pull

phase during synchronous recumbent handcycling of able-bodied participants. *PloS one*, 14(8), e0220943. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220943>

Verkhoshansky, Y. (2001). *Teoría y metodología del entrenamiento deportivo* (Vol. 24). Editorial Paidotribo.

World Medical Association (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20), 2191–2194. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>

Zeller, S., Abel, T., & Strueder, H. K. (2017). Monitoring Training Load in Handcycling: A Case Study. *Journal of strength and conditioning research*, 31(11), 3094–3100. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001786>

## Anexos

### Anexo 1

### EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA PRÁCTICA

#### I. Datos del alumno:

<b>Matrícula:</b>	<b>1888630</b>
<b>Nombre del Alumno:</b>	<b>Reyes Emmanuel Hernández Salazar</b>
<b>Programa educativo:</b>	<b>Maestría en Actividad Física y Deporte</b>
<b>Orientación:</b>	<b>Alto Rendimiento Deportivo</b>
<b>Fecha del período de prácticas</b>	<b>13 de Febrero 2023 a 12 de Mayo de 2023</b>

#### II. Datos de la Empresa:

<b>Empresa/Institución:</b>	<b>Optimizaa Desempeño Deportivo</b>
<b>Departamento/Área:</b>	<b>Biomecánica Deportiva – Ciclismo</b>

#### III. Evaluación:

<b>Criterio</b>	<b>Excelente (100)</b>	<b>Bueno (90-99)</b>	<b>Regular (80- 89)</b>	<b>Malo (Menos de 80)</b>
<b>Asistencia</b>	<b>X</b>			
<b>Conducta</b>	<b>X</b>			
<b>Puntualidad</b>		<b>X</b>		
<b>Iniciativa</b>	<b>X</b>			

<b>Colaboración</b>		<b>X</b>		
<b>Comunicación</b>	<b>X</b>			
<b>Habilidad</b>	<b>X</b>			
<b>Resultados</b>		<b>X</b>		
<b>Conocimiento profesional de su carrera</b>	<b>X</b>			

#### IV. Comentarios:

Favor de indicar el desempeño del practicante actual en relación al perfil y actividades indicadas por usted a inicio de semestre y/o indicado en el formato de "Perfil de los estudiantes de prácticas".

Buen desempeño en el área de entrenamiento y evaluación.

Cumplió con las fechas y horarios de las evaluaciones.



Dr. Alberto Garrido Esquivel

Director de Optimizaa Desempeño Deportivo

**Nombre y firma del Tutor responsable de la práctica**

**Puesto del Tutor responsable de la práctica**



Optimizaa Desempeño  
Deportivo S.A. de C.V.  
ODD180314620  
Lázaro Cárdenas #5019,  
Burócratas Federales,  
C.P. 64380, Monterrey, N.L.  
[www.optimizaa.com](http://www.optimizaa.com)

**Sello de la institución/dependencia**

## EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA PRÁCTICA

## I. Datos del alumno:

<b>Matrícula:</b>	<b>1888630</b>
<b>Nombre del Alumno:</b>	<b>Reyes Emmanuel Hernández Salazar</b>
<b>Programa educativo:</b>	<b>Maestría en Actividad Física y Deporte</b>
<b>Orientación:</b>	<b>Alto Rendimiento Deportivo</b>
	<b>28 de Agosto 2023 a 09 de Noviembre de 2023</b>

## II. Datos de la Empresa:

<b>Empresa/Institución:</b>	<b>Optimizaa Desempeño Deportivo</b>
<b>Departamento/Área:</b>	<b>Biomecánica Deportiva – Ciclismo</b>

## III. Evaluación:

<b>Criterio</b>	<b>Excelente (100)</b>	<b>Bueno (90-99)</b>	<b>Regular (80- 89)</b>	<b>Malo (Menos de 80)</b>
<b>Asistencia</b>	<b>X</b>			
<b>Conducta</b>	<b>X</b>			
<b>Puntualidad</b>		<b>X</b>		
<b>Iniciativa</b>		<b>X</b>		
<b>Colaboración</b>	<b>X</b>			
<b>Comunicación</b>	<b>X</b>			

<b>Habilidad</b>	<b>X</b>			
<b>Resultados</b>		<b>X</b>		
<b>Conocimiento profesional de su carrera</b>	<b>X</b>			

#### IV. Comentarios:

. Favor de indicar el desempeño del practicante actual en relación al perfil y actividades indicadas por usted a inicio de semestre y/o indicado en el formato de "Perfil de los estudiantes de prácticas".

Buen desempeño en el área de entrenamiento y evaluación.

Cumplió con las fechas y horarios de las evaluaciones.



Dr. Alberto Garrido Esquivel

Director de Optimizaa Desempeño Deportivo

**Nombre y firma del Tutor  
responsable de la práctica**

**Puesto del Tutor responsable  
de la práctica**



Optimizaa Desempeño  
Deportivo S.A. de C.V.  
ODD180314620  
Lázaro Cárdenas #5019,  
Burócratas Federales,  
C.P. 64380, Monterrey, N.L.  
[www.optimizaa.com](http://www.optimizaa.com)

**Sello de la institución/dependencia**



UANL



FOD

Anexo 3

## **RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO**

**Reyes Emmanuel Hernández Salazar**

Candidato para obtener el Grado de Maestría en Actividad Física y Deporte  
con Orientación en Alto Rendimiento Deportivo

Tesina: Eficiencia ventilatoria y patrón respiratorio en paratriatleta élite: un estudio de  
caso

Campo temático: Entrenamiento Deportivo

Datos Personales: Toluca, Estado de México, 24 de Octubre de 1999.

Lugar de residencia San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.

Educación Profesional: Licenciado en Ciencias del Ejercicio por Universidad  
Autónoma de Nuevo León, Facultad de Organización Deportiva, campus Universidad.

Experiencia Profesional: Practicante de Optimiza Desempeño Deportivo en  
valoración fisiológica del ejercicio, análisis biomecánico del movimiento en tres  
dimensiones (3D), estudios de baropodometría.

E-mail: reyes.hernandezsyr@unal.edu.mx