



VALORACIÓN DE LA CAPACIDAD FUNCIONAL DEL CICLISTA AMATEUR MEDIANTE PRUEBA DE ASTRAND: IMPACTO SOBRE LA SATISFACCIÓN DE LOGRO ACADÉMICO EN UN PROGRAMA DE POSTGRADO

 **Julia Luisa Flores-Espejo**¹
jflorespejo@gmail.com

 **Pedro Felipe Gamardo-Hernández**²
pefegaher.2@gmail.com

 **Zuly Millán-Boadas**³
zumibo@gmail.com

 **Yordano Pineda Marcano**⁴
yordanopineda97@gmail.com

 **Aarón Pérez Rengifo**⁵
ftaaronepr@gmail.com

 **Pedro Guzmán-Garbán**⁶
pedroguzman77@hotmail.com

 **Ericka Ruíz-Maza**⁷
estefaniaruizm.25@gmail.com

Universidad Pedagógica Experimental Libertador
Venezuela

Recibido: 16/12/2025

Aprobado: 06/05/2026

RESUMEN

Este estudio, enmarcado en el curso Laboratorio de Bioquímica de la Maestría en Fisiología del Ejercicio (Instituto Pedagógico de Caracas), valoró la capacidad funcional de un ciclista amateur mediante la prueba de Astrand y su impacto en la satisfacción del logro académico estudiantil. Diseñado y ejecutado con rigor científico por los cuatro estudiantes de la cohorte bajo asesoría docente, el protocolo adaptó una bicicleta de ruta con rodillo inteligente como cicloergómetro. Los resultados demostraron la efectividad de la prueba: la frecuencia cardíaca guardó una relación lineal con la intensidad del esfuerzo ($r=0,99$), el lactato se asoció al esfuerzo relativo y se determinó la capacidad funcional del atleta. La experiencia generó un alto nivel de satisfacción académica en las dimensiones cognitiva, emocional, práctica y valorativa, por lo que se recomienda replicar este tipo de investigaciones en programas de posgrado.

Palabras clave: lactato; frecuencia cardíaca; prueba de esfuerzo; logro académico; satisfacción académica.

ASSESSMENT OF FUNCTIONAL CAPACITY OF AN AMATEUR CYCLIST THROUGH THE ASTRAND TEST: IMPACT ON ACADEMIC ACHIEVEMENT SATISFACTION IN A GRADUATE PROGRAM

ABSTRACT

This study, conducted as part of the Biochemistry Laboratory course in the Master's in Exercise Physiology (Pedagogical Institute of Caracas), evaluated the functional capacity of an amateur cyclist using the Astrand test and its impact on students' satisfaction with academic achievement. Designed and carried out with scientific rigor by the four students in the cohort under faculty guidance, the protocol adapted a road bike with a smart roller as a cycle ergometer. The results showed the effectiveness of the test: heart rate had a linear relationship with exercise intensity ($r=0.99$), lactate was associated with relative effort, and the athlete's functional capacity was determined. The experience generated a high level of academic satisfaction in cognitive, emotional, practical, and evaluative dimensions, so it is recommended to replicate this type of research in graduate programs.

Keywords: lactate; heart rate; exercise test; academic achievement; academic satisfaction.

¹ Doctorado en Enseñanza de las Ciencias. Docente adscrita a la Cátedra de Bioquímica de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas (Departamento de Biología y Química). **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0001-6286-4021>. **Universidad de Adscripción:** Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Caracas, Venezuela.

² Doctorado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Docente adscrito a la Cátedra Biomédica de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas (Departamento de Educación Física). **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0001-5298-7239>. **Universidad de Adscripción:** Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Caracas, Venezuela.

³ Doctorado en Ciencias de la Educación. Docente adscrita a la Cátedra de Estadística y Matemática Aplicada (Departamento de Matemáticas y Física) de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico. **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0003-0623-947X>. **Universidad de Adscripción:** Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Caracas, Venezuela.

⁴ Licenciado en Fisioterapia. Cursante de la Maestría en Educación, mención Fisiología del Ejercicio. **Orcid:** <https://orcid.org/0009-0001-4141-7975>

⁵ Licenciado en Fisioterapia. Cursante de la Maestría en Educación, mención Fisiología del Ejercicio. **Orcid:** <https://orcid.org/0009-0005-2941-4359>

⁶ Profesor de Educación Física. Cursante de la Maestría en Educación, mención Fisiología del Ejercicio. **Orcid:** <https://orcid.org/0009-0000-2044-4811>

⁷ Licenciada en Fisioterapia. Cursante de la Maestría en Educación, mención Fisiología del Ejercicio. **Orcid:** <https://orcid.org/0009-0004-6518-2586>

Introducción

Los profesionales vinculados con la salud deben tener un conocimiento sólido en ciencias biológicas tales como antropometría, biomecánica, bioquímica, fisiología del ejercicio y nutrición. Conocer estas áreas es esencial para comprender el funcionamiento del cuerpo humano y su rendimiento en situaciones de estrés, en concreto, durante el ejercicio físico. La formación académica debe promover experiencias prácticas que faciliten el aprendizaje y la aplicación de conceptos teóricos, como lo proponen Contreras et al. (2022). Autores como Torres Romo et al. (2017) concluyeron que estas prácticas ofrecen a los estudiantes una alternativa didáctica fundamental para vincular las ciencias básicas biomédicas. Así, el uso de actividades prácticas en el laboratorio permite mejorar la preparación de los futuros profesionales de la salud.

La bioquímica, como parte fundamental de las ciencias biológicas, permite conocer las reacciones que ocurren en el organismo y los sustratos energéticos utilizados por el cuerpo durante el ejercicio físico. Junto con la fisiología del ejercicio, que explica las respuestas del cuerpo y sus distintas adaptaciones durante la actividad, ambas ciencias proporcionan información necesaria para comprender los mecanismos orgánicos asociados al ejercicio físico. Además, las competencias de estas ciencias se integran durante la prescripción, ejecución, seguimiento y control del entrenamiento, con el fin de maximizar el rendimiento y mejorar la eficiencia energética del organismo ante el ejercicio.

El entrenamiento físico, cualquiera sea su objetivo, rendimiento, salud o rehabilitación, tiene como finalidad introducir un estrés controlado en el organismo con el propósito de fomentar adaptaciones biológicas. Para lograrlas, es crucial individualizar el entrenamiento físico en términos de tipo de actividad, frecuencia, duración e intensidad del esfuerzo a realizar. Una forma de personalizar esta prescripción es empleando pruebas de esfuerzo físico que, según su aplicación, pueden estimar variables determinantes como la intensidad, medida a través de indicadores fisiológicos, biomecánicos y bioquímicos. Además, determinar dicha variable permite plantear una línea base del rendimiento para comparar el progreso a lo largo del tiempo. Por ende, la valoración de la capacidad funcional de un atleta tiene un valor particular para su rendimiento.

En el contexto de los deportes de resistencia, el consumo máximo de oxígeno ($VO^2_{m\acute{a}x}$) es el indicador estándar para evaluar la capacidad cardiorrespiratoria de los atletas, y se trata de la máxima cantidad de oxígeno que el organismo capta, transporta y utiliza durante el esfuerzo (Navare y Thompson, 2003). Sin embargo, su cuantificación directa implica un alto costo económico. Como alternativa, se emplean la frecuencia cardíaca (FC) y la concentración de lactato que, por su bajo costo económico y sencillez para su aplicación, son indicadores accesibles y válidos para la valoración de la intensidad del esfuerzo físico (Calderón et al., 2009; Castillo y Cubillos, 2014; Faude et al., 2009; Grant et al., 1995).

Los métodos indirectos como los pulsómetros o los electrocardiogramas se utilizan para medir la frecuencia cardíaca. Este indicador representa un parámetro fundamental para valorar la intensidad del ejercicio y determinar la dosificación ante un esfuerzo estandarizado. Esto se fundamenta en que el ritmo cardíaco aumenta como parte del proceso homeostático, cuando el organismo se expone a un estrés metabólico, ya que el músculo requiere mayor irrigación sanguínea. El comportamiento de la frecuencia cardíaca muestra una relación positiva con las etapas de trabajo durante una prueba de esfuerzo. En el caso del lactato sanguíneo, su comportamiento consiste en el mantenimiento de concentraciones bajas en las primeras fases del esfuerzo, pero a medida que incrementa el esfuerzo realizado, su concentración aumenta de forma exponencial, indicando el umbral anaeróbico.

El lactato es un producto del metabolismo anaeróbico de la glucosa, que se origina durante la fermentación homoláctica, que incluye la glucólisis, es decir, la formación de piruvato a partir de glucosa. En este proceso, al haber baja disponibilidad de oxígeno, el piruvato se metaboliza a L-lactato a través de la enzima lactato-deshidrogenasa (LDH). Dicho mecanismo es crucial durante el ejercicio físico intenso, cuando los músculos requieren energía de forma inmediata y la disponibilidad de oxígeno en la célula es limitada.

La producción de lactato se relaciona con la demanda energética en la célula muscular bajo condiciones anaeróbicas (Ribas, 2010), lo que genera una aceleración de la glucólisis (efecto Pasteur), incrementa la acumulación de piruvato y favorece la fermentación homoláctica.

Desde la perspectiva neuromuscular, se ha descrito un incremento progresivo en el reclutamiento de las fibras musculares tipo II, de características glucolíticas, durante las etapas de pruebas de esfuerzo; determinando la transición aeróbica-anaeróbica con el aumento de la producción de lactato y alcanzando la capacidad máxima de la frecuencia cardíaca en la etapa final. En este sentido, la frecuencia cardíaca y el lactato son indicadores que permiten evaluar la condición física, por ello está justificado su uso durante las pruebas de esfuerzo progresivo hasta el agotamiento. Existen diversos protocolos que pueden ser aplicados según las características de los sujetos a evaluar: niños, jóvenes, adultos, deportistas. En este último caso se toma en consideración la disciplina deportiva practicada.

Por ejemplo, en el caso del ciclismo resulta necesario aplicar protocolos que permitan evaluar la aptitud cardiorrespiratoria en condiciones similares a su práctica. No obstante, el protocolo de Astrand es ventajoso por ser continuo, progresivo e incremental hasta el agotamiento, con la posibilidad de establecer etapas de tres minutos de duración, utilizando un cicloergómetro (Heyward, 2006). Se busca exponer al individuo a un esfuerzo físico en función de la potencia mecánica, para medir la respuesta cardiovascular a través de la frecuencia cardíaca. Además, de acuerdo con la intención del evaluador, el protocolo puede modificarse para incluir otras variables como, por ejemplo, el lactato sanguíneo, útil para valorar el componente metabólico durante el ejercicio.

Por último, cabe destacar que el trabajo experimental en el laboratorio, desarrollado de manera participativa con un enfoque constructivista, promueve una experiencia de aprendizaje en la que los estudiantes se involucran de manera activa y creativa, lo que favorece el aprendizaje significativo desde los principios de la teoría ausubeliana (Flores et al., 2011). Aunque hay estudios al respecto, poco se ha profundizado sobre la satisfacción del logro académico desde esta teoría, por lo que los aportes, prácticos y con propósitos operativos, de Flores-Espejo (2020) sobre este constructo, se hacen particularmente pertinentes en el contexto educativo en el que se desarrolló la valoración de la capacidad funcional del ciclista amateur, por iniciativa de los estudiantes.

Con base en lo planteado, el objetivo general de la presente investigación fue valorar la capacidad funcional de un ciclista amateur mediante la prueba de Astrand y el impacto de esta experiencia práctica sobre la satisfacción del logro académico en estudiantes de postgrado de la UPEL-IPC. Los objetivos específicos fueron: (1) caracterizar antropométricamente al ciclista amateur; (2) describir el comportamiento de la frecuencia cardíaca y el lactato sanguíneo del ciclista durante la prueba de esfuerzo; (3) estimar la capacidad funcional del ciclista en función de los parámetros biomecánicos, fisiológicos y bioquímicos; y (4) analizar la satisfacción de logro académico en los estudiantes de postgrado en función de las dimensiones de este constructo ausubeliano.

Esta investigación fue un esfuerzo interdisciplinario coordinado entre las áreas de bioquímica, fisiología del ejercicio y estadística, desarrollado por los estudiantes del Programa de Maestría en Educación, mención Fisiología del Ejercicio, en el Instituto Pedagógico de Caracas.

Metabolismo muscular anaeróbico de la glucosa: fermentación homoláctica

El músculo esquelético es capaz de liberar energía a través de distintos sustratos, entre ellos, la glucosa. La glucólisis es el proceso a través del cual la glucosa se cataboliza, generando piruvato y energía en forma de ATP en el citosol. La ruta glucolítica tiene la ventaja de sintetizar piruvato en presencia o ausencia de oxígeno, no obstante, el destino metabólico del piruvato depende de la disponibilidad de oxígeno en la célula muscular. Por una parte, el piruvato se convierte en L-lactato por fermentación homoláctica, en condiciones anaeróbicas, con un rendimiento neto de 2 moles de ATP por mol de glucosa degradada en presencia de la enzima *lactato deshidrogenasa* (LDH), mientras que en presencia de oxígeno el piruvato es llevado a las mitocondrias para su oxidación completa, generando un rendimiento energético mucho mayor, equivalente a unos 36 a 38 moles de ATP por mol de glucosa degradada.

En virtud del menor rendimiento energético por la vía fermentativa, el organismo compensa la demanda acelerando la rapidez de reacción de la ruta glucolítica en condiciones anaeróbicas, de modo que se puede degradar una mayor cantidad de glucosa en menor tiempo, lo que se ha denominado *efecto Pasteur*. Aunque el rendimiento energético aeróbico es superior al anaeróbico, es importante tomar en cuenta que la fermentación homoláctica es aprovechada por el músculo esquelético cuando se llevan a cabo esfuerzos físicos intensos de corta duración. Por el contrario, los esfuerzos aeróbicos de baja intensidad y larga duración aprovechan las grandes cantidades de energía liberada por la vía metabólica oxidativa.

Según Ribas (2010), por un lado, la producción de lactato se relaciona con la demanda energética en la célula muscular, especialmente durante el esfuerzo físico intenso, cuando la glucólisis se acelera incrementando la acumulación de piruvato que se convierte en lactato. Su transporte sanguíneo al hígado es necesario para su reciclaje en este órgano, donde se convierte mediante la gluconeogénesis nuevamente en glucosa, sustrato que puede ser liberado al torrente sanguíneo para ser reutilizado energéticamente en los músculos, proceso integral que se denomina Ciclo de Cori. Por otro lado, cuando la demanda física disminuye y se restauran las condiciones aeróbicas celulares, el lactato se convierte nuevamente en piruvato en el citosol e ingresa a las mitocondrias por la vía oxidativa del organismo para formar acetil coenzima A, intermediario metabólico que se incorpora al ciclo de Krebs para liberar más energía en conexión con la fosforilación oxidativa en la cadena respiratoria. La importancia de la glucosa como fuente energética de rápido acceso para los músculos justifica el mantenimiento de una disponibilidad de almacenaje en sus tejidos como glucógeno muscular.

Umbral láctico

La medición e interpretación de las variaciones en la concentración sanguínea de lactato durante el ejercicio es uno de los focos de principal interés para los fisiólogos del área, relacionados con el entrenamiento de resistencia aeróbica. El lactato quizás sea la variable fisiológica de mayor transferencia directa al proceso global de entrenamiento, ya que cambios en la curva de lactato se utilizan tanto para el proceso de gestión de cargas como para el control de las adaptaciones físicas (Faude et al. 2009).

El concepto de umbral láctico (UL/LT1) o umbral aeróbico se ha relacionado con el momento metabólico en el que las concentraciones de lactato superan los valores de reposo ($>2\text{mmol/L}$), marcando la transición de aeróbico a anaeróbico (Kindermann et al. 1979). Normalmente, cuando la formación de ATP por medio de la fosforilación oxidativa se satura hay una mayor activación de la glucólisis fuera de la mitocondria. Dicho aumento ocurre cuando la intensidad del esfuerzo exige la participación de la glucólisis con el fin de abastecer la demanda energética del músculo activo.

Para determinar el umbral láctico durante pruebas de esfuerzo realizadas en cicloergómetros, Jamnick et al. (2020) relacionan las concentraciones de lactato con la intensidad del esfuerzo correspondiente a cada etapa y posteriormente identifican el “punto de ruptura” en la curva de lactato, tomando como referencia el mayor valor de intensidad del esfuerzo obtenido antes de un aumento superior a $0,5\text{ mmol/L}$ respecto a la toma anterior. El máximo estado estable de lactato (MLSS, por sus siglas en inglés) o segundo umbral láctico está referenciado con la etapa que alcance concentraciones de lactato de 4 mmol/L . A partir de aquí, el organismo es incapaz de compensar la acidez metabólica por medio de la frecuencia respiratoria y, por lo tanto, se acumula el lactato sanguíneo, lo que determina a esta fase como metabólicamente inestable. Así pues, se describe como el punto de equilibrio entre la producción y aclaramiento de la acidez metabólica, lo que marca el inicio de la fase III del modelo trifásico de Skinner y McLellan (1980).

La frecuencia cardíaca y lactato

La frecuencia cardíaca puede utilizarse como un método de registro para evaluar el esfuerzo al que es sometido el organismo y como la variable para la dosificación de la intensidad en un entrenamiento (Zamorano et al., 2013). Cuando una persona se expone a estrés físico, el músculo genera mayor demanda metabólica y, en consecuencia, el ritmo cardíaco aumenta como parte del proceso homeostático (Fuentes-Barría et al., 2024). Normalmente, las pruebas de esfuerzo incremental utilizan esta variable para describir la respuesta cardiovascular al ejercicio hasta llegar a su máxima capacidad y posteriormente utilizar la frecuencia cardíaca. Posteriormente, el valor máximo alcanzado se utiliza para la prescripción del ejercicio.

Se entiende así, que la frecuencia cardíaca se ajusta según sea la demanda del trabajo ejercido. Con base en el estudio de Castilo y Cubillos (2014) se reconoce que sufre alteraciones que van asociadas a situaciones concretas como la temperatura, el estado nutricional y emocional. No obstante, la prescripción del ejercicio mediante el uso del porcentaje de la frecuencia cardíaca va a depender de la adaptabilidad fisiológica y nivel de entrenamiento de la persona (Buchheit, 2014). Por otro lado, diversos autores han observado asociaciones entre el lactato y la frecuencia cardíaca durante pruebas de esfuerzo incrementales. Describen relaciones entre el 80 por ciento de la frecuencia cardíaca máxima y el umbral láctico (2 mmol/L), como también valores entre el 90 por ciento de la frecuencia cardíaca máxima con el máximo estado estable de lactato (4 mmol/L) (Jamnick et al. 2020).

Frecuencia cardíaca de recuperación

En una revisión sistemática realizada por Daanen et al. (2012) afirman que una rápida disminución de la frecuencia cardíaca al cesar el ejercicio se relaciona con una mejor condición física y el estado de salud del individuo. Dicho esto, la frecuencia cardíaca de recuperación (FCR) se define como la diferencia entre la frecuencia cardíaca máxima durante el ejercicio y la frecuencia cardíaca a los 60 segundos posteriores. De acuerdo con Buchheit et al. (2007), el uso de la frecuencia cardíaca de recuperación recibe gran importancia en la fisiología del ejercicio por su relación con el sistema nervioso autónomo, especialmente el parasimpático.

Dicho esto, la frecuencia cardíaca de recuperación es una herramienta con gran versatilidad para estudiar la fatiga, el rendimiento físico-deportivo y las adaptaciones cardiorrespiratorias de los sujetos. Sin embargo, los hallazgos de Calderón et al. (2009), describen que posterior a las pruebas de esfuerzo, el cambio en la frecuencia cardíaca durante la recuperación es más rápido que los que ocurren en el lactato, lo que deja de manifiesto que el componente metabólico reflejado con el lactato se restablece más lento que el componente nervioso mostrado con la frecuencia cardíaca.

Satisfacción de logro académico

La satisfacción de logro académico es un constructo derivado de la teoría del aprendizaje significativo de David Ausubel (Flores Espejo, 2020). Tiene cuatro dimensiones constitutivas que permiten evidenciarla a través de indicadores. Estas dimensiones son: cognoscitiva, afectiva/emocional, práctica/experiencial y valorativa. A continuación, se describe este constructo:

responde a un estado emocional real desarrollado al alcanzarse la meta planteada, por lo que implica aspectos cognitivos y prácticos (experienciales), así como valorativos y emotivos sobre la tarea lograda en un contexto de aprendizaje determinado. La satisfacción de logro se contrapone al sentimiento de fracaso, de modo que implica un estado afectivo/emocional con diferentes grados de expresión en función de la percepción del individuo de su propio logro en cuanto a la meta propuesta. (Flores-Espejo, 2020, p. 14)

La *dimensión cognitiva* implica los aspectos del conocimiento sobre la tarea de aprendizaje; la *dimensión afectiva/emotiva* involucra sentimientos y emociones; la *dimensión práctica o experiencial* responde a la propia vivencia del aprendiz en la realización de la tarea; y la *dimensión valorativa* se refiere a aspectos apreciativos sobre la meta lograda.

Metodología

Tipo de investigación

La investigación responde a un estudio de caso que responde a un diseño pre-experimental preprueba-postprueba, de acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014), adaptado para el caso de un individuo. Se realizó asumiendo el paradigma positivista, con un enfoque cuantitativo y un nivel descriptivo-correlacional. El impacto de este estudio sobre la satisfacción de logro académico de los estudiantes que lo desarrollaron se abordó desde un paradigma interpretativo, enfoque cualitativo y método hermenéutico basado en un análisis de contenido. Más que una investigación mixta sobre un objeto de estudio, los investigadores lo plantean como dos objetos de estudio que dialogan entre sí para obtener una mirada más integral del estudio sobre el ciclista y su impacto en la satisfacción de logro de los estudiantes que lo realizaron.

Escenario educativo de la investigación

El protocolo de la investigación fue llevado a cabo en el Laboratorio de Fisiología del Ejercicio de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas (UPEL-IPC), y formó parte de las actividades del curso obligatorio de Laboratorio de Bioquímica de la Maestría en Educación Física, mención Fisiología del Ejercicio.

Participación

Por una parte, se seleccionó a través de un muestreo de tipo no probabilístico a un (1) sujeto masculino, de 29 años, atleta amateur en la disciplina de triatlón. Participó de forma voluntaria en la valoración de su capacidad funcional y avaló el consentimiento informado, conociendo previamente el proceso de investigación que se llevaría a cabo. Por la otra, el estudio fue desarrollado por cuatro (4) estudiantes cursantes del Laboratorio de Bioquímica, quienes fueron considerados para analizar el impacto del estudio de caso sobre la satisfacción de logro académico.

Procedimiento para la valoración de la capacidad funcional del atleta

- **Simulación de condiciones reales del ciclista en el laboratorio.** El uso de una bicicleta de ruta con un potenciómetro móvil, como alternativa para simular las condiciones reales del ciclista en el laboratorio, es aplicable en este tipo de estudio. Dado que las características biomecánicas del cicloergómetro son distintas a las de una bicicleta convencional, resultó de interés emplear este instrumento cotidiano para exponer al ciclista a la prueba de esfuerzo bajo las condiciones similares de entrenamiento o competición (Paton & Hopkins, 2001). Además, el uso de un potenciómetro móvil se justifica en el hecho de que estos dispositivos han demostrado ser válidos ($r= 0,99$ $p< 0,001$) y confiables ($CV= 1,5 - 2,1$) para la medición de la potencia mecánica durante la ejecución de pruebas de esfuerzo físico (Bertucci et al., 2005).
- **Valoración antropométrica.** Se realizó un perfil antropométrico restringido, siguiendo el protocolo de la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (ISAK) (Esparza-Ros, Vaquero-Cristóbal y Marfell-Jones, 2019), midiendo las variables masa corporal, a través de una báscula mecánica marca Health o meter; talla, a través de un tallímetro fijo marca Sanny; pliegues cutáneos, a través de un plicómetro marca Slim Guide; y perímetros a través de una cinta antropométrica marca Baseline. Posteriormente, se utilizó el modelo matemático de Yuhasz (1974) para estimar el porcentaje de grasa. Finalmente, la masa muscular total fue estimada a través del modelo de Lee et al. (2000), y la masa muscular de la extremidad inferior mediante el modelo de Rodríguez et al. (2010).
- **Prueba incremental escalonada.** Se solicitó al sujeto: (a) evitar actividad física intensa en un plazo de 72 horas previas a la prueba; (b) alimentarse máximo 3 horas previas al protocolo; (c) no consumir ningún tipo de suplemento ergogénico, y (d) portar ropa de ciclismo utilizada normalmente en un entrenamiento o competición. La prueba se realizó en una bicicleta de ruta acoplada a un rodillo inteligente marca Wahoo Fitness.

Se realizó el protocolo propuesto por Astrand (Heyward, 2006), que consistió en un diseño máximo, incremental y escalonado, con etapas de tres minutos de duración. La prueba inició con una potencia de 50 vatios (W), en consonancia con lo propuesto por Wohlfart y Farazdaghi (2003). Se realizaron incrementos de 50 W por cada etapa siguiendo el protocolo para sujeto masculino. Previo al inicio del protocolo, se realizó una etapa de acondicionamiento de un minuto a 50 W, con la finalidad de que el sujeto se ajustase al ritmo de revoluciones requerido, de 60 revoluciones minuto ($\text{rev}\cdot\text{m}^{-1}$). El ritmo fue guiado por la aplicación de Android Metronome Beats y fue corroborado durante toda la prueba utilizando un ciclocomputador marca Coros, modelo Dura. La prueba finalizó cuando el sujeto fue incapaz de mantener las 60 $\text{rev}\cdot\text{m}^{-1}$ con la potencia requerida para la etapa. Por último, culminado el protocolo, se realizaron 5 minutos de vuelta a la calma, con una potencia de 50 vatios.

- **Valoración de la frecuencia cardíaca.** Esta variable fisiológica fue medida a través de una banda de pecho marca Garmin, vinculada al ciclocomputador. Se registró, previo al inicio de la prueba, la frecuencia cardíaca de reposo, tras un período de sedestación de 5 minutos, en los que no existiesen oscilaciones superiores a los 5 latidos por minuto. Posteriormente, la frecuencia cardíaca fue registrada durante los últimos cinco segundos de cada etapa, incluyendo los 5 minutos de recuperación al finalizar la prueba.
- **Valoración del lactato sanguíneo.** El lactato sanguíneo, considerado como una variable bioquímica, fue medido por medio del método de punción capilar, en el pulpejo de los dedos, a través de un lactímetro marca The Edge, utilizando lancetas marca Easy-Touch. Se tomaron medidas de antisepsia, como la utilización de guantes estériles, y la desinfección previa y posterior a cada punción, con el uso de alcohol antiséptico aplicado con algodón. Las concentraciones de lactato sanguíneo fueron obtenidas en los últimos segundos de cada etapa, así como también en el minuto 5 de recuperación.
- **Valoración del esfuerzo percibido.** Fue valorado utilizando la escala de Borg tradicional, al finalizar cada una de las etapas del protocolo.

Equipo técnico de apoyo

Para la ejecución del protocolo se requirió de la participación de siete (7) evaluadores, quienes asumieron distintos roles. El coordinador de la Maestría en Fisiología del Ejercicio se encargó de garantizar el buen desenvolvimiento de la prueba y dictar los lineamientos. Los otros seis (6) evaluadores eran estudiantes de la maestría y se encargaron de medir el lactato sanguíneo, registrar la FC y el esfuerzo percibido, garantizar la mantención de la potencia deseada por etapa, y registrar todos los valores en una matriz de datos.

Prueba piloto

Con dos semanas de antelación se llevó a cabo una prueba piloto, en la que se siguió el protocolo de manera estricta, con la finalidad de detectar las falencias en la planificación y la metodología, para así garantizar el buen desarrollo de la prueba. A través de este método se logró optimizar el proceso de antisepsia durante la medición del lactato, así como la utilización del lactímetro. Además, el sujeto logró familiarizarse con el protocolo, en términos de la potencia a desarrollar en cada etapa, así como la cadencia que debía mantener. La prueba piloto fue de utilidad para lograr el sincronismo necesario por parte del equipo evaluador, y garantizar así el adecuado registro de los valores bioquímicos, fisiológicos y biomecánicos evidenciados durante la prueba.

Análisis de los datos de la prueba de Astrand

Todos los datos fueron registrados durante la prueba en una matriz elaborada en una hoja de cálculo de Microsoft Excel Office 16. La unidad de medida utilizada para registrar la FC fueron los latidos por minuto (lpm), para el lactato sanguíneo el milimol litro ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$), y para el esfuerzo percibido las unidades arbitrarias (UA). En el caso de la concentración de lactato sanguíneo, el lactímetro emitió las lecturas en la unidad de medida miligramo decilitro ($\text{mg}\cdot\text{dL}^{-1}$), por lo que se aplicó un factor de conversión de $18 \text{ mg}\cdot\text{dL}^{-1}$ para obtener el valor en $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Utilizando el mismo software, se graficaron los valores obtenidos por cada variable, para así analizar su comportamiento y evaluar la capacidad física del sujeto.

Se representó el comportamiento de la frecuencia cardíaca y el lactato mediante un gráfico de líneas, para así también describir el comportamiento del lactato en función del porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima. El análisis de los datos de la frecuencia cardíaca y la potencia mecánica se realizó a través del software estadístico Jamovi, versión 2.3.18, para determinar el grado de correlación entre ambas variables, utilizando el coeficiente de correlación de Pearson. En una hoja de cálculo de Microsoft Excel Office 16 se construyó un modelo de regresión lineal entre ambas variables, calculando el coeficiente de determinación y la ecuación de la recta. Finalmente, para determinar la capacidad funcional del atleta se determinaron la potencia mecánica alcanzada, la frecuencia cardíaca de recuperación, así como la potencia mecánica y frecuencia cardíaca relativa alcanzadas al momento del umbral láctico.

Determinación de la satisfacción de logro académico sobre el estudio realizado

Las dimensiones se identificaron a través de los siguientes indicadores: (a) **Dimensión cognoscitiva:** *logro, aprendizaje, conocimiento, facilidad de comprensión, enriquecimiento del conocimiento y formación académica*; (b) **Dimensión afectiva/emocional:** *complacencia, motivación, felicidad, agrado, emoción, satisfacción, interesante y gratificante*; (c) **Dimensión práctica/experiencial:** *rapidez, confianza, sencillez, seguridad, comodidad, toma de decisiones y esfuerzo*; y (d) **Dimensión valorativa:** *utilidad, interés personal y nueva visión*.

La información se recogió a través de un cuestionario abierto en el que se les solicitó a los estudiantes relatar su experiencia personal sobre el estudio de la prueba de Astrand al ciclista amateur. Se realizó un análisis de contenido de las respuestas a fin de identificar las unidades de significado relativas a las dimensiones, como categorías predeterminadas, por medio de los indicadores respectivos. El análisis se hizo por estudiante y de forma grupal para, finalmente, interpretar, de manera general, en el contexto de estudio en el que se llevó a cabo la valoración de la capacidad funcional del ciclista amateur.

Resultados

Los resultados se presentan en dos vertientes: (a) la valoración de la capacidad funcional del ciclista amateur mediante la prueba de Astrand, con lo que se da respuesta a los objetivos específicos 1, 2 y 3; y (b) la valoración del impacto de dicho estudio en la satisfacción de logro académico de los estudiantes involucrados en su diseño y ejecución, para el objetivo 4.

A. Valoración de la capacidad funcional del ciclista amateur

Los resultados obtenidos mediante el protocolo establecido se presentan las características antropométricas del sujeto y las respuestas fisiológicas y bioquímicas ante la prueba de esfuerzo.

Caracterización antropométrica (Respuesta al objetivo específico 1). La caracterización se realizó tomando en cuenta las variables antropométricas medidas directamente, como la masa corporal, la talla, pliegues cutáneos y perímetros corporales (Tabla 1).

Tabla 1

Datos antropométricos básicos del sujeto medidos directamente

Variables	Valores medidos	
Masa corporal (MC)	69,5	kg
Talla de pie	173	cm
Subescapular	8	mm
Triceps	7	mm
Supra-espal	6	mm
Abdominal	13	mm
Muslo	11,5	mm
Pierna	5,5	mm
Perímetro Brazo Relajado	31,4	cm
Perímetro Muslo	55,8	cm
Perímetro Pierna	38,3	mm

En la Tabla 2 se describen aquellas variables relacionadas con la composición corporal, calculadas a partir de la relación entre variables básicas y mediante ecuaciones de regresión.

Tabla 2

Variables de composición corporal estimadas

Modelo matemático	Variables	Ecuación	Valores estimados
Yuhasz (1974)	Porcentaje de grasa corporal	$\%GC = 0,1051 \cdot \Sigma 6Pli. + 2,585$	7,95 %
Lee et al. (2000)	Perímetro del brazo corregido	$PBC = PBR - (3,1416 \times (Pli. Tri./10))$	29,2 cm
	Perímetro del muslo corregido	$PMC = PM - (3,1416 \times (Pli. Mus./10))$	52,19 cm
	Perímetro de la pierna corregido	$PPC = PP - (3,1416 \times (Pli. Pier./10))$	36,57 cm
	Masa muscular total	$MM = h \times (0,00744 \times PBCPBC^2) + (0,00088 \times PMC^2) + (0,00441 \times PPC^2) + (2,4 \times s) - (0,048 \times e) + et + 7,8$	23,14 kg
	Porcentaje de masa muscular	$\%MM = (MM/MC) \times 100$	33,3 %
Rodríguez et al. (2010)	Masa muscular de la extremidad inferior	$MMEI = \frac{((h - (Pli. Mus + Pli. Pier)) \times (DF^2)) + (PM + PP)}{1000}$	14,35 kg

Nota. Grasa corporal (GC), Pliegue cutáneo (Pli.), Perímetro del brazo corregido (PBC), Perímetro del muslo corregido (PMC), Perímetro de la pierna corregido (PPC), Perímetro del brazo relajado (PBR), Perímetro del muslo (PM), Perímetro de la pierna (PP), Tríceps (Tri.), Muslo (Mus.), Pierna (Pier.), Masa muscular total (MM), Talla (h), Sexo (s), Edad (e), Etnia (et), Porcentaje de masa muscular (%MM), Masa corporal (MC), Masa muscular de la extremidad inferior (MMEI).

Comportamiento de la frecuencia cardíaca y lactato en la prueba de esfuerzo. Durante las diferentes etapas de la prueba de capacidad funcional, se aprecian diferentes respuestas de la frecuencia cardíaca (FC) y la concentración de lactato, en función de la intensidad del esfuerzo. En la Figura 1 se puede observar el comportamiento de las variables, la FC mostrando una respuesta lineal y positiva frente al incremento de la potencia, mientras que el lactato varía de forma exponencial. El sujeto finalizó la prueba con una frecuencia cardíaca de 183 latidos por minuto, los cuales representan el 96 % de la frecuencia cardíaca máxima teórica estimada (FCMTE) y un esfuerzo percibido de 19/20 en la escala de Borg.

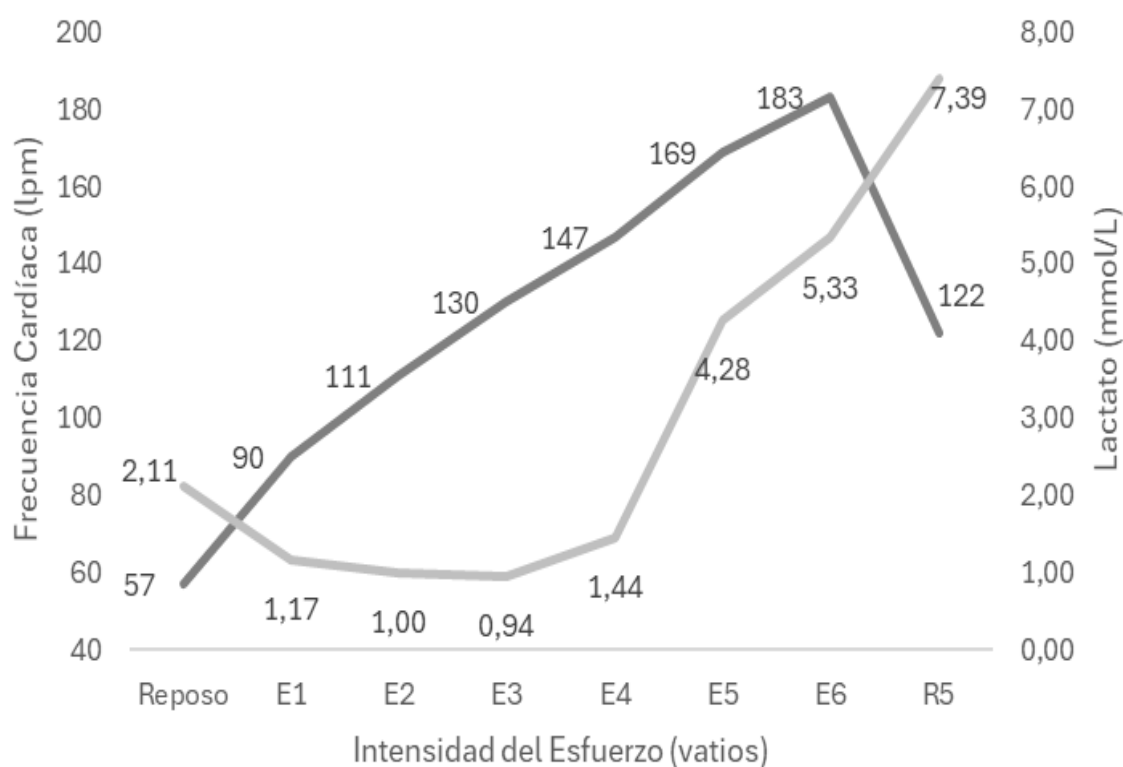
Durante la recuperación, la disminución de la intensidad del esfuerzo promovió una disminución de la FC, sin embargo, esto no ocurrió con la concentración de lactato. Tras haber transcurrido tres minutos de recuperación, la frecuencia cardíaca del sujeto disminuyó en un 33 % respecto al valor máximo alcanzado durante la prueba. En el caso del lactato, se mantuvo elevado aun cuando se disminuyó la intensidad del esfuerzo. También, se pudo destacar la presencia de la fase de ajuste cardiovascular y la fase de recuperación a través de la frecuencia cardíaca, faltando la fase de estado estable para completar las tres fases del ejercicio de resistencia.

En la Figura 1 se puede observar la asociación entre la concentración del lactato con los valores de la frecuencia cardíaca en cada etapa. En porcentajes, un esfuerzo al 80 % de la frecuencia máxima alcanzada se asocia con una concentración de lactato inferior al umbral láctico (2 mmol/L). No obstante, a partir de ese punto comienza a incrementarse la concentración de lactato, superando el máximo estado estable de lactato (4 mmol/L) al 92% de la FCMTE.

A través del análisis de correlación de Pearson se pudo establecer una fuerte correlación lineal positiva entre la intensidad del esfuerzo y la frecuencia cardíaca ($r = 0,99$ y $R^2 = 0,9875$), lo que es coherente en términos de lo esperado.

Figura 1

Comportamiento de la frecuencia cardíaca y del lactato



Nota. La línea oscura y clara representan el comportamiento de la FC y el lactato, respectivamente. E1 (Etapa 1 = 50W); E2 (Etapa 2 = 100W); E3 (Etapa 3 = 150W); E4 (Etapa 4 = 200W); E5 (Etapa 5 = 250 W); E6 (Etapa 6 = 300 W); R5 (Minuto 5 de reposo = 50W).

Estimación de la capacidad funcional del ciclista en función de los parámetros biomecánicos, fisiológicos y bioquímicos. En relación con la capacidad funcional, el atleta fue capaz de desarrollar y mantener, durante la última etapa válida, 250 vatios de potencia mecánica, representando una potencia relativa de $3,6 \text{ w} \cdot \text{kg}^{-1}$. Su frecuencia cardíaca de recuperación, en el minuto 5, fue del 33 % de la frecuencia cardíaca máxima alcanzada. El umbral láctico se produjo al 80 % de la frecuencia cardíaca máxima alcanzada con una potencia de 2,9 vatios/kilogramos, y el máximo estado estable de lactato se produjo al 92 % de la frecuencia cardíaca máxima alcanzada con una potencia de $3,6 \text{ w} \cdot \text{kg}^{-1}$.

B. Satisfacción de logro académico de los estudiantes

En la Tabla 3 se recogen los hallazgos relacionados con la satisfacción de logro académico en torno al estudio realizado sobre la prueba de Astrand. Se observa que cada dimensión de este constructo está cargada de un alto nivel de compromiso cognoscitivo, emocional, práctico y valorativo de los estudiantes, lo que revela un involucramiento activo en el proceso de aprendizaje mediante la aplicación de conocimientos en el diseño y desarrollo de la valoración de la capacidad funcional del ciclista amateur.

Tabla 3

Resultados de la satisfacción de logro académico en cuanto al estudio realizado

Estudiante	Descripción de cada estudiante dada por dimensiones			
	Cognoscitiva	Afectivo - emocional	Práctica / experiencial	Valorativa
E-1	Facilitó la comprensión práctica de la fisiología (umbrales de frecuencia cardíaca y lactato) y enriqueció la formación académica.	Generó alta motivación y satisfacción al transformar la ciencia del deporte en una actividad accesible.	Destaca el desarrollo dinámico de la investigación en un entorno real sin necesidad de cicloergómetro.	Aporta una visión innovadora del conocimiento científico y demuestra utilidad didáctica en contextos con recursos limitados.
E-2	Permitió una comprensión profunda de la bioquímica y fisiología, conectando la frecuencia cardíaca, el esfuerzo y el lactato.	Despertó gran motivación y gratificación, haciendo de la ciencia una actividad placentera y comprensible.	Ofreció agilidad y claridad en la toma de decisiones, fortaleciendo la confianza para interpretar respuestas fisiológicas.	Brindó una nueva comprensión sobre la relevancia didáctica de la evidencia científica como alternativa viable.
E-3	Permitió la sistematización de constructos teóricos y el dominio conceptual necesario para planificar el protocolo.	Estimuló un interés genuino por involucrarse en todas las fases, haciendo que la participación fuera amena.	Brindó una experiencia inicial en la dirección de pruebas y estimuló la capacidad de resolución de problemas.	Llevó a concientizar el rigor metodológico necesario para garantizar la validez y precisión de los datos.
E-4	Destacó el aprendizaje teórico-práctico del metabolismo energético y el comportamiento dinámico de la frecuencia cardíaca y el lactato.	Creó un entorno de alta complacencia donde el sujeto experimentó satisfacción al superar las demandas de forma segura.	Demandó una toma de decisiones coordinada y destreza técnica con tiempo limitado, facilitada por la simplicidad del protocolo.	Ofreció una visión científica sobre la utilidad práctica de la fisiología para la futura prescripción del entrenamiento.
Grupal por dimensiones	El grupo coincide en que la investigación facilitó un aprendizaje teórico-práctico	La actividad fue percibida unánimemente como	Desde el punto de vista operativo, la experiencia destacó por	A nivel profesional, el grupo otorgó un alto valor a la utilidad

profundo sobre la fisiología y la bioquímica del ejercicio. La experiencia permitió a los estudiantes sistematizar constructos teóricos y comprender de forma empírica el metabolismo energético, específicamente la relación dinámica entre la frecuencia cardíaca, el esfuerzo físico y la acumulación de lactato bajo cargas progresivas. En general, se destaca el enriquecimiento de la formación académica a través del dominio conceptual necesario para planificar y ejecutar protocolos científicos.	una experiencia de alta motivación y satisfacción personal. Los estudiantes reportaron sentimientos de gratificación y complacencia al transformar la ciencia del deporte en una actividad accesible, amena y placentera. El proceso despertó un interés genuino por la investigación, generando un entorno emocional positivo donde el éxito en la superación de las demandas físicas del protocolo fortaleció el agrado por el aprendizaje.	su dinamismo y agilidad en la toma de decisiones en entornos reales. El grupo desarrolló destrezas técnicas, como la obtención de muestras sanguíneas y la dirección de pruebas de esfuerzo, lo que aumentó su confianza y seguridad instrumental. La simplicidad del protocolo permitió una ejecución coordinada y eficaz, estimulando la capacidad de resolución de problemas bajo condiciones de tiempo limitado y esfuerzo físico.	didáctica y científica de la prueba como una herramienta viable en contextos con recursos limitados. Se consolidó una nueva visión sobre la importancia del rigor metodológico para garantizar la precisión de los datos, reconociendo la relevancia de la evidencia científica para la futura prescripción individualizada del entrenamiento. La experiencia fue valorada como una alternativa innovadora que vincula la investigación objetiva con la práctica profesional docente y deportiva.
---	---	--	---

Discusión de los resultados

A. Valoración integral de la capacidad funcional del ciclista amateur

La prueba de esfuerzo permitió poner en evidencia la capacidad funcional del atleta en términos de indicadores bioquímicos, fisiológicos y biomecánicos. Pero, para interpretar sus resultados es importante destacar que existen diversos factores relacionados con la prueba de esfuerzo incremental hasta el agotamiento que influyen sobre los hallazgos (Casajús et al. 2009). En este caso, el diseño del protocolo utilizado refuerza el rigor científico del estudio, reproduciendo condiciones similares a las que enfrenta un ciclista de ruta.

La selección del ergómetro, el tipo de prueba, la progresión de cargas y la duración de las etapas no solo permitió observar la dinámica del lactato y la frecuencia cardíaca, sino que también ofreció un escenario de aprendizaje activo sobre la especificidad del entrenamiento. Basado en la propuesta de Paton y Hopkins (2001), la utilización de un rodillo inteligente con un potenciómetro móvil para hacer una prueba de esfuerzo en el laboratorio fue un método alternativo efectivo para valorar la capacidad funcional. Dicho esto, los participantes en el proceso educativo reflexionaron sobre la importancia de diseñar protocolos ajustados a la modalidad deportiva, evitando extrapolaciones que limitan la validez de los resultados.

Los hallazgos obtenidos mostraron la utilidad de las pruebas de laboratorio como herramienta formativa para comprender la interacción entre factores individuales y respuestas fisiológicas. Dicho esto, la caracterización antropométrica como paso inicial ofrece información de valor, lo que permitió al evaluador reconocer parámetros de composición corporal que condicionan la eficiencia mecánica y metabólica en los ciclistas. En este contexto, la producción de potencia (vatios) en relación con la masa corporal (vatios/kilogramos) juega un papel fundamental para el rendimiento deportivo, a mayor producción de potencia, mayor capacidad funcional. Asimismo, las dimensiones corporales toman relevancia dentro de la aerodinámica, siendo otro factor influyente en el rendimiento deportivo (Horvarth y Andersson, 2025).

En el caso de la composición corporal, una menor masa grasa y una elevada masa muscular son favorables para el rendimiento en el ciclismo. Por ejemplo, Siegel et al. (2015) reportaron una relación negativa ($r_s = -0,81$, $p < 0,05$) entre la masa grasa y el consumo máximo de oxígeno, y una relación positiva ($r_s = 0,75$, $p < 0,01$) entre la masa muscular de la extremidad inferior y la potencia aeróbica máxima. Para evaluar los niveles de grasa corporal del atleta, se tomaron como referencia valores reportados en la literatura para ciclistas de ruta (6,72 - 8,28 %) (Ariza et al., 2014). A partir de esto, es posible notar que el atleta (7,95 %), posee niveles de grasa corporal favorables para su disciplina.

En cuanto a la masa muscular, la literatura reporta valores de 47-56 % (Ariza et al., 2014), por lo que el ciclista evaluado presenta un porcentaje deficiente (33,3 %). Tomando en consideración la masa muscular de la extremidad inferior, los niveles demostrados por el atleta (14,35 kilogramos), se encuentran dentro del rango de valores encontrados en la literatura (11,97 - 19,03 kilogramos) (Siegel et al., 2015). Este último indicador de masa muscular es de mayor relevancia para el rendimiento del ciclista, ya que representa la musculatura encargada de generar potencia en el ciclismo, favoreciendo la economía y la capacidad de sostener intensidades relativas elevadas. Por ende, es preferible emplear la masa muscular de la extremidad inferior como indicador en ciclistas.

La frecuencia cardíaca demostró una relación lineal positiva con la intensidad del esfuerzo, observando cómo los principios fisiológicos se manifiestan en la práctica. Sin embargo, la diferencia del 4 % entre la frecuencia cardíaca máxima teórica estimada y la alcanzada en la prueba permite observar las limitaciones de las fórmulas poblacionales y comprender que la fisiología del ejercicio requiere siempre una interpretación contextualizada (Kasiak et al. 2023). Este hallazgo invita a analizar cómo el tipo de ergómetro, la motivación, las condiciones ambientales o el nivel de fatiga pueden influir en los resultados. Por lo tanto, el experimento se orienta hacia la formación de competencias críticas: reconocer la variabilidad individual, valorar la importancia de la medición directa, en este caso de la frecuencia cardíaca, y aplicar criterios objetivos para la individualización del entrenamiento físico.

Por otro lado, el comportamiento exponencial del lactato frente al patrón lineal de la frecuencia cardíaca durante la prueba incremental constituye un ejemplo claro de cómo distintos sistemas fisiológicos responden de manera diferenciada al ejercicio, lo cual puede enriquecer la interpretación de los resultados. El hecho de que el sistema metabólico presente una respuesta más lenta subraya la importancia de diseñar protocolos con una duración de etapa adecuada, lo que favorece una medición válida y confiable del lactato (Heck y Wackerhage, 2024). Este hecho concuerda con los resultados de Calderón et al. (2009) al momento de la recuperación, instante en el cual la frecuencia cardíaca disminuye rápidamente al cesar el ejercicio y el lactato puede permanecer aún más elevado al cabo de 5 minutos de la recuperación.

En el ciclismo, la potencia relativa representa un indicador del rendimiento físico, vinculando características individuales con la capacidad funcional. La potencia mecánica no solo se ve influenciada por la capacidad del individuo para generar energía, sino también por la composición corporal. En este sentido, esta variable se utiliza para comparar y clasificar al deportista según los valores de referencia, como los publicados por Allen et al. (2019), posicionando al sujeto del presente trabajo como aficionado, basado en la potencia relativa demostrada ($3,6 \cdot \text{wkg}^{-1}$).

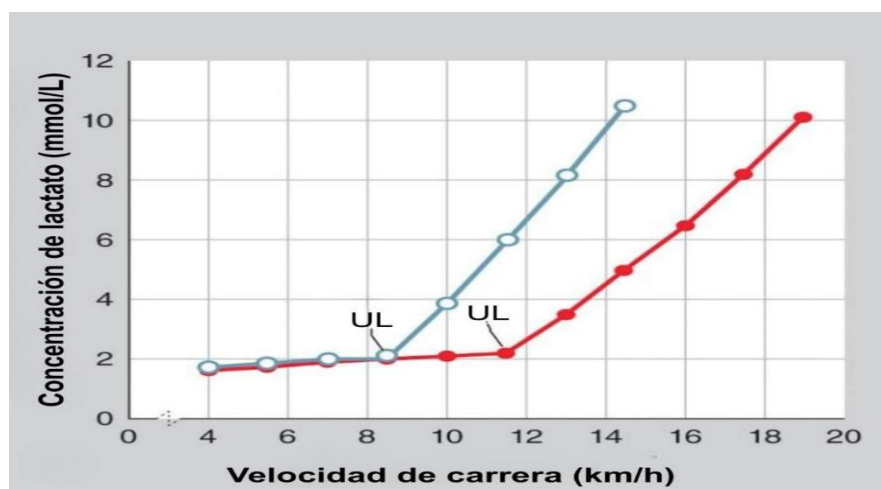
Desde la perspectiva teórica, la descripción de la curva de lactato y el incremento lineal de la frecuencia cardíaca en relación con la intensidad del esfuerzo favorece la comprensión de la transición aeróbica-anaeróbica y la condición física, temas de interés en la fisiología del ejercicio. Al vincular la teoría con la práctica, se desarrollaron competencias críticas como la capacidad de

analizar datos, identificar puntos de inflexión e implementar técnicas estadísticas, todo ello con la finalidad de fortalecer la valoración de la capacidad funcional y la prescripción de ejercicio con datos reales. Este proceso fomenta un aprendizaje significativo, ya que los conceptos abstractos se convierten en herramientas aplicables para la evaluación y el diseño de programas de acondicionamiento físico.

De manera integral, los resultados obtenidos en la prueba de esfuerzo concuerdan con los umbrales descritos por Jamnick et al. (2020). La asociación entre la frecuencia cardíaca medida directamente y los niveles de lactato en sangre permitieron visualizar cómo se determinan los umbrales fisiológicos, transformando un concepto teórico en una experiencia práctica de laboratorio. Con ello se fomenta la realización de pruebas periódicas para monitorear el progreso de la condición física a lo largo del tiempo. Así mismo, un desplazamiento de la curva de lactato hacia la derecha representa adaptaciones positivas al entrenamiento de resistencia, como se aprecia en la figura 2 (Kenney, Wilmore y Costill, 2025):

Figura 2

Cambios en la curva del lactato asociadas al entrenamiento físico



Nota. Tomado de *Physiology of sport and exercise* (p. 304) por L. Kenney, J. Wilmore y D. Costill, 2025, Champaign, IL: Human Kinetics.

B. Impacto del estudio sobre la satisfacción del logro académico

Este constructo derivado de la teoría ausubeliana tiene gran relevancia en el contexto del aprendizaje significativo, particularmente en los laboratorios de enseñanza de la ciencia, ya que implica un complejo ambiente de aprendizaje, en el que aspectos motivacionales están altamente involucrados en la realización de actividades prácticas, especialmente si tienen una orientación investigativa constructivista (Flores et al., 2009; Flores Espejo et al., 2020), como el aquí desarrollado con la Prueba de Astrand con un ciclista amateur.

Como se muestra en la Tabla 3, las cuatro dimensiones constitutivas del constructo *satisfacción de logro académico* mostró altos niveles de involucramiento activo de los estudiantes. De acuerdo con Ausubel et al. (1983, p. 354) las variables motivacionales: “inciden catalítica e inespecíficamente en el proceso de interacción cognoscitiva, produciendo el surgimiento de significados al aumentar el valor del esfuerzo, de la atención y de la disposición inmediata”. En este sentido, la expresión ausubeliana *motivación para el logro* conlleva un impulso cognitivo, un impulso del refuerzo del ego y un impulso afiliador al grupo al cual se pertenece, lo que permite que el estudiante busque lograr la meta planteada a fin de satisfacer el impulso cognitivo sobre la

situación problemática planteada (Ausubel, 2002). Este impulso cognitivo para Flores Espejo (2020):

Conduce al empoderamiento del conocimiento construido de la apropiación de nuevos significados, de la integración de nuevas ideas a las ya existentes, como consecuencia de una interacción entre los pensamientos, los sentimientos y las acciones, como lo plantea Novak (2020), quien señala, además, que esto genera un sentimiento de aprobación del conocimiento como consecuencia de un aprendizaje significativo que le permite independencia al individuo. (p. 20)

En general, se puede apreciar desde las expresiones de los estudiantes que la satisfacción de logro académico respondió a una experiencia transformadora e integral donde la comprensión profunda de la fisiología y la bioquímica del ejercicio, centrada en la relación dinámica entre la frecuencia cardíaca y el lactato, se entrelaza con el desarrollo de habilidades técnicas y seguridad instrumental en la toma de decisiones bajo condiciones reales.

Este éxito pedagógico se nutre de una dimensión emocional de alta motivación, gratificación y placer por el descubrimiento, lo que permitió a los estudiantes sistematizar constructos teóricos de manera amena y significativa mientras superaban con éxito las demandas del protocolo.

Finalmente, la experiencia alcanzó su plenitud al consolidar una visión profesional innovadora, donde se valoró el rigor metodológico y la utilidad didáctica de la evidencia científica como herramientas fundamentales y alternativas viables para la futura prescripción objetiva del entrenamiento en diversos contextos deportivo.

Conclusiones y recomendaciones

Por un lado, se caracterizó antropométricamente a un atleta amateur bajo el protocolo de Astrand al describir el comportamiento de su frecuencia cardíaca y lactato sanguíneo durante una prueba de esfuerzo, lo que permitió determinar su capacidad funcional, demostrando una masa muscular y grasa corporal aceptables, y una capacidad funcional de ciclista aficionado.

Este trabajo demostró la efectividad del uso de un rodillo inteligente para la realización de la prueba de esfuerzo incremental hasta el agotamiento, permitiendo medir y describir adecuadamente las variables de estudio, constituyendo una necesidad esencial para interpretar la respuesta metabólica y cardiovascular durante el ejercicio. Se pudo llegar a esta conclusión analizando la potencia relativa alcanzada durante la prueba de esfuerzo. Adicionalmente, los indicadores valorados mediante esta prueba permitieron realizar seguimiento y control del entrenamiento, monitorizando los cambios que se produjeron a lo largo del tiempo. Aunque estuvo basado en un solo sujeto, como estudio de caso, se puede ampliar el número o incluir una muestra representativa de una población de interés investigativo.

Por otro lado, las dimensiones denominadas cognitiva, afectivo/emocional, práctico/experiencial y valorativa del constructo *satisfacción del logro académico* se manifestaron en un alto nivel de satisfacción. Se recomienda continuar incorporando el abordaje de este constructo en el contexto de realización de actividades de investigación desarrolladas con trabajos experimentales constructivistas en el laboratorio de ciencias.

Implicaciones pedagógicas

En este estudio se analizó el lactato y la frecuencia cardíaca en un entorno controlado con el propósito de fortalecer la formación científica al tender un puente con el “aprender haciendo” y el desarrollo de competencias docentes e investigativas. Así, el análisis de casos con atletas, en ambientes controlados, permitió vincular el conocimiento científico y el pedagógico en el contexto de la Maestría en Educación mención Fisiología del Ejercicio.

Esta articulación favoreció la formación de los participantes desde la investigación y el saber pedagógico, lo que previene la fragmentación del aprendizaje, prepara a estos profesionales para integrar la evidencia científica en la práctica deportiva y los motiva a seguir investigando. Enseñar a investigar con rigor en el nivel de postgrado constituye una decisión pedagógica de gran impacto que consolida la formación académica integral.

Referencias

- Allen, H., Coggan, A., & McGregor, S. (2019). *Training and Racing with a Power Meter*. VeloPress.
- Ariza, H., Rosas, D., Melo, D., Melo, C. y Álvarez, J. (2014). Comparación antropométrica de un grupo de ciclistas de ruta y pista. *Cuerpo, Cultura y Movimiento*, 4(2), 111-125. DOI: [10.15332/s2248-4418.2014.0002.01](https://doi.org/10.15332/s2248-4418.2014.0002.01)
- Bertucci, W., Grappe, F., Girard, A., Betik, A. y Rouillon, J. (2005). Effects on the crank torque profile when changing pedalling cadence in level ground and uphill road cycling. *Journal of Biomechanics*, 38(5), 1003-1010. DOI: [10.1016/j.jbiomech.2004.05.037](https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.05.037)
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5(73), 1-19. doi: [10.3389/fphys.2014.00073](https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073)
- Buchheit, M., Laursen, P. y Ahmaidi, S. (2007). Parasympathetic reactivation after repeated sprint exercise. *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology*, 293(1), 133-141. DOI: [10.1152/ajpheart.00062.2007](https://doi.org/10.1152/ajpheart.00062.2007)
- Calderón, F., Benito, P., Butragueño, J., Díaz, V., Peinado, A., Álvarez, M. y Castillo, M. (2009). Recuperación de la frecuencia cardíaca y ventilación, y su relación con la lactacidemia, tras una prueba de esfuerzo en jóvenes deportistas. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 2(3), 87-92. <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-andaluza-medicina-del-deporte-284-articulo-recuperacion-frecuencia-cardiaca-ventilacion-su-X1888754609428661>
- Casajús, J., Piedrafita, E. y Aragonés, M. (2009). Criterios de maximalidad en pruebas de esfuerzo. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 9(35), 217-231. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3053235>
- Castilo, J. y Cubillos, A. (2014). Uso de la frecuencia del pulso en la estimación de la carga de trabajo Evaluación de una actividad de movilización de cargas. *Revista Ciencias de la Salud*, 12, 27-43. DOI: <https://doi.org/10.12804/revsalud12.esp.2014.04>
- Chicharro, J. y Campos, V. (2017). *Umbral láctico: bases fisiológicas y aplicación al entrenamiento*. Panamericana.
- Contreras, F., Espinosa, M. y Moya, E. (2002). *Manual de actividades prácticas en fisiología del ejercicio*. Pontificia Universidad Católica de Chile. <https://kinesiologia.uc.cl/wp-content/uploads/2022/04/Manual-de-Actividades-Pr%C3%A1cticas-en-Fisiolog%C3%ADa-del-Ejercicio.pdf>
- Daanen, H., Lamberts, R., Kallen, V., Jin, A., & Van Meeteren, N. (2012). A systematic review on heart-rate recovery to monitor changes in training status in athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(3), 251-260. DOI: [10.1123/ijsp.7.3.251](https://doi.org/10.1123/ijsp.7.3.251)
- Esparza, F., Vaquero, R. y Marfell, M. (2019). *Protocolo internacional para la valoración antropométrica*. Universidad Católica de Murcia.

- Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Medicine*, 39(6), 469-490. DOI: [10.2165/00007256-200939060-00003](https://doi.org/10.2165/00007256-200939060-00003)
- Flores, J., Caballero Sahelices, M. C. y Moreira, M. A. (2009). El laboratorio en la enseñanza de las ciencias: Una visión integral en este complejo ambiente de aprendizaje. *Revista de Investigación*, 68(33), 75-111. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142009000300005
- Flores Espejo, J. L. (2020). Satisfacción de logro académico en el laboratorio didáctico de bioquímica de la UPEL-IPC: un acercamiento ausubeliano. *Aprendizagem Significativo em Revista*, 10(3), 11-23. https://www.researchgate.net/publication/362583198_SATISFACCION_DE_LOGRO_ACADEMICO_EN_EL_LABORATORIO_DIDACTICO_DE_BIOQUIMICA_DE_LA_UPEL-IPC_UN_ACERCAMIENTO_AUSUBELIANO
- Fuentes-Barría, H., Aguilera, R. y Polevoy, G. (2024). Entrenamiento interválico de alta intensidad basado en la actividad parasimpática y su impacto sobre la capacidad cardiorrespiratoria de estudiantes universitarios. Ensayo Controlado Aleatorizado. *Retos*, 55, 513-519. doi:[10.47197/retos.v55.105419](https://doi.org/10.47197/retos.v55.105419)
- Grant, S., Corbett, K., Amjad, A., Wilson, J., & Aitchison, T. (1995). A comparison of methods of predicting maximum oxygen uptake. *British Journal of Sports Medicine*, 29(3), 147-152. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjism.29.3.147>
- Heck, H., & Wackerhage, H. (2024). The origin of the maximal lactate steady state (MLSS). *BMC sports science, medicine & rehabilitation*, 16(1), 1-6. doi:[10.1186/s13102-024-00827-3](https://doi.org/10.1186/s13102-024-00827-3)
- Hernández Sampieri, R. y Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. McGraw-Hill.
- Heyward, V. (2006). *Evaluación de la aptitud física y prescripción del ejercicio*. Panamericana.
- Horvath, M., & Andersson, E. (2025). Optimal body mass normalization of power output for accurate prediction of estimated cycling performance over complex time-trial courses. *Frontiers in Sports and Active Living*, 7, 1-12. DOI:[10.3389/fspor.2025.1599319](https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1599319)
- Jamnick, N., Pettitt, R., Granata, C., Pyne, D., & Bishop, D. (2020). An Examination and Critique of Current Methods to Determine Exercise Intensity. *Sports Medicine*, 50(10), 1729-1756. DOI:[10.1007/s40279-020-01322-8](https://doi.org/10.1007/s40279-020-01322-8)
- Kasiak, P. S., Wiecha, S., Cieśliński, I., Takken, T., Lach, J., Lewandowski, M., Barylski, M., Mamcarz, A., & Śliż, D. (2023). Validity of the Maximal Heart Rate Prediction Models among Runners and Cyclists. *Journal of Clinical Medicine*, 12(8), 2884. <https://doi.org/10.3390/jcm12082884>
- Kindermann, W., Simon, G., & Keul, J. (1979). The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 42(1), 25-34. DOI:[10.1007/BF00421101](https://doi.org/10.1007/BF00421101)
- Lee, R., Wang, Z., Heo, M., Ross, R., Janssen, I. & Heymsfield, S. (2000). Total-body skeletal muscle mass: development and cross-validation of anthropometric prediction models. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 72(3), 796-803. DOI:[10.1093/ajcn/72.3.796](https://doi.org/10.1093/ajcn/72.3.796)
- Navare, S. & Thompson, P. (2003). Acute cardiovascular response to exercise and its implications for exercise testing. *Journal of Nuclear Cardiology: Official Publication of the American Society of Nuclear Cardiology*, 10(5), 521-528. DOI: [10.1016/s1071-3581\(03\)00626-3](https://doi.org/10.1016/s1071-3581(03)00626-3)
- Paton, C., & Hopkins, W. (2001). Tests of cycling performance. *Sports Medicine*, 31(7), 489-496. DOI:[10.2165/00007256-200131070-00004](https://doi.org/10.2165/00007256-200131070-00004)
- Ribas, J. (2010). Lactato: de indeseable a valioso metabolito. El papel de la producción de lactato en la regulación de la excitabilidad durante altas demandas de potencia en las fibras musculares. *Archivos de medicina del deporte: revista de la Federación Española de Medicina del Deporte y de la Confederación Iberoamericana de Medicina del Deporte*, 27(137), 211-230. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3276596>

- Rodríguez, F., Almagià, A. y Berral, F. (2010). Estimación de la masa muscular de los miembros apendiculares, a partir de densitometría fotónica dual (DEXA). *International Journal of Morphology*, 28(4), 1205-1210. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022010000400034>
- Siegel, P., Rosales, G., Herrera, T., Durán, S. y Yáñez, R. (2015). Parámetros de composición corporal y su relación con la potencia aeróbica máxima en ciclistas recreacionales. *Nutrición Hospitalaria*, 32(5), 2223-2227. DOI:[10.3305/nh.2015.32.5.9656](https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.5.9656)
- Skinner, J., & McLellan, T. (1980). The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51(1), 234-248. DOI:[10.1080/02701367.1980.10609285](https://doi.org/10.1080/02701367.1980.10609285)
- Torres Romo, U., Fernández Franch, N., López Lazo, S. y Liza Hernández, O. (2017). Pertinencia de la utilización del caso clínico como herramienta didáctica en las ciencias básicas biomédicas. *Humanidades Médicas*, 17(2), 354-368. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=74026>
- Wohlfart, B., & Farazdaghi, G. (2003). Reference values for the physical work capacity on a bicycle ergometer for men - a comparison with a previous study on women. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 23(3), 166-170. doi:[10.1046/j.1475-097x.2003.00491.x](https://doi.org/10.1046/j.1475-097x.2003.00491.x)
- Yuhasz, M. (1962). *The Effects of Sports Training on Body Fat in Man With Predictions of Optimal Body Weight*. University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Zamorano, V., Peinado, A., Benito, P. y Calderón, F. (2013). Respuesta de la frecuencia cardíaca de anticipación y recuperación en función del nivel de entrenamiento aeróbico. *Archivos de Medicina del Deporte*, 30(4), 202-207. <https://oa.upm.es/26446/>