

**Efecto de los Modelos de Distribución de la Intensidad Umbral vs Polarizado, Sobre
Variables Fisiológicas y de Rendimiento en Corredoras Recreativas de 10km**

Dúmar Háldayr Gómez Pinzón

Angie Julieth Moreno Vega

Facultad de Educación Física, Universidad Pedagógica Nacional

Maestría Ciencias del Deporte y la Actividad Física

**Efecto de los Modelos de Distribución de la Intensidad Umbral vs Polarizado, Sobre
Variables Fisiológicas y de Rendimiento en Corredoras Recreativas de 10km**

Dúmar Háldayr Gómez Pinzón

Angie Julieth Moreno Vega

Facultad de Educación Física, Universidad Pedagógica Nacional

Maestría Ciencias del Deporte y la Actividad Física

Director.

Eduar Alonso Ceballos Bernal

Declaración Ética

Consideraciones Éticas

Este proyecto investigación cumple con los principios éticos y bioéticos establecidos en la normatividad nacional e internacional vigente, asegurando la protección integral de las participantes y la rigurosidad científica del estudio.

Conforme a la resolución 008430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia (1993), la investigación se clasifica como de riesgo mínimo, garantizando el consentimiento informado, la voluntariedad de la participación y la confidencialidad de los datos. A nivel internacional, se acoge la declaración de bioética y derechos humanos de la UNESCO (2005), al proteger la dignidad, la autonomía y la privacidad de las participantes, así como la declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial (2024), al aplicar principios de Justicia, beneficencia y equidad en el diseño metodológico con control de sesgos mediante el sistema doble ciego. Igualmente, se respetan las pautas de la International Organizations of Medical Sciences & World Health Organization, (2016), implementar criterios éticos en la selección de la muestra, el consentimiento libre e informado, y la protección de información personal. El proyecto también se encuentra alineado con los tratados y normas internacionales en materia de derechos humanos, al salvaguardar la integridad física, mental y la no discriminación de las personas participantes. De esta manera, el estudio se fundamenta en directrices éticas que refuerzan su validez científica y su compromiso con el respeto a los derechos humanos.

Principio de Autonomía

El principio de autonomía garantiza el derecho de cada participante a tomar decisiones libres, voluntarias e informadas sobre su participación en el estudio, sin ningún tipo de coacción,

presión o influencia indebida (Asociación Médica Mundial, 2024; International Organizations of Medical Sciences & World Health Organization, 2016). En el presente proyecto de investigación, este principio de operacionalización mediante la aplicación de un proceso de consentimiento informado que incluye:

- Presentación verbal y escrita de los objetivos, procedimientos, duración, beneficios y posibles incomodidades asociadas al estudio.
- Garantía explícita el derecho a retirarse del estudio en cualquier momento y sin consecuencia alguna sobre su entrenamiento.
- Posibilidad de formular preguntas en cualquier etapa del proceso, con respuesta oportuna por parte del equipo investigador.

El consentimiento informado será firmado por cada participante antes del inicio de las evaluaciones en la fase de preprueba y la protección de los documentos firmados corresponderá al investigador principal y serán guardados bajo su seguridad.

Principio de Beneficencia

El principio de beneficencia establece la obligación del equipo investigador de maximizar los beneficios para las participantes y para la sociedad, y de minimizar los daños o incomodidades derivados de la participación en el estudio (Asociación Médica Mundial, 2024; UNESCO, 2005)

Los beneficios directos para las participantes incluyen:

- Evaluación fisiológica gratuita y personalizada de su condición aeróbica ($VO_2\text{max}$ estimado, VT1, VT2, VAM y FC), a cargo de profesionales del deporte.

- Acceso a un plan de entrenamiento estructurado y periodizado durante 12 semanas, planificado con base en sus valores individuales de umbrales ventilatorios.
- Monitoreo continuo de su progreso mediante la plataforma TrainerPlan y seguimiento de frecuencia cardíaca durante cada sesión.
- Retroalimentación individualizada sobre sus resultados al finalizar el periodo de intervención.

Los beneficios indirectos se extienden a la comunidad científica y deportiva, al aportar evidencia práctica sobre la eficacia comparativa de los modelos de distribución de intensidad en corredoras recreativas.

Principio de no Maleficencia

El principio de no maleficencia exige que el equipo investigador evite causar daño físico, psicológico o social a las participantes, tanto de manera directa como indirecta (International Organizations of Medical Sciences & World Health Organization, 2016). Para dar cumplimiento a este principio, el diseño del estudio contempla las siguientes salvaguardas.

- Aplicación de criterios de exclusión para participantes con contraindicaciones médicas para el ejercicio de intensidad moderada y alta.
- Supervisión por parte de un profesional en deporte certificado durante todas las sesiones de evaluación.
- Protocolo de interrupción inmediata del ejercicio ante signos o síntomas de alarma (mareo, disnea, cefalea o un dolor musculoesquelético).
- Carga de entrenamiento progresiva y ajustada individualmente a los valores de VT1 y VT2 de cada participante evitando sobreentrenamiento o lesiones por sobreuso.

- Disponibilidad permanente de vías de comunicación con el equipo investigador para reporte cualquier efecto adverso durante la intervención.

Posibles Riesgos Identificados

Riesgo físico:

El riesgo físico asociado al presente estudio es bajo y se circunscribe a las molestias propias de la actividad física de moderada a alta intensidad. Entre los eventos adversos posibles se encuentran fatiga, calambres, dolor muscular de aparición tardía (DOMS), molestias articulares transitorias y, de manera excepcional, lesiones por sobreuso como la tendinitis o periostitis. El riesgo cardiovascular es considerado mínimo dado que las participantes son mujeres adultas jóvenes de 27 a 37 años sin antecedentes cardiovasculares, evaluadas previamente mediante criterios de exclusión médica y el cuestionario PAR-Q.

Riesgo psicológico:

El riesgo psicológico se clasifica como mínimo ya que existe la posibilidad de que algunas participantes experimenten frustración ante la ausencia de mejora en sus marcas o ante la percepción del modelo asignado no es el preferido. Asimismo, el diseño doble ciego podría generar incertidumbre temporal. Estas situaciones serán manejadas mediante comunicación empática y transparente por parte del equipo investigador, y retroalimentación positiva centrada en el proceso más que en el resultado.

Riesgo social:

El riesgo social se considera mínimo ya que los datos personales de las participantes serán tratados de manera estrictamente confidencial. No se publicarán datos individuales que

permitan la identificación de ninguna participante. Los resultados del estudio se comunicarán de forma grupal y anónima.

Medidas de mitigación:

- Evaluación y aplicación del cuestionario PAR-Q antes del inicio del protocolo.
- Calentamiento y vuelta a la calma estandarizados en cada sesión de entrenamiento y prueba.
- Progresión gradual de la carga.
- Protocolo de manejo de emergencias disponible en el lugar de entrenamiento.

Clasificación del Nivel de Riesgo

De conformidad con el artículo 11 de la resolución 008430 Del Ministerio de Salud de Colombia (1993), el presente estudio se clasifica como investigación con riesgo mínimo dado que:

- Emplea técnicas y métodos de investigación no invasivos.
- No implica extracción de muestras biológicas, procedimientos quirúrgicos ni administración de sustancias.
- El ejercicio físico aplicado se encuentra dentro de rangos de intensidad habitual para la población participante en mujeres recreativas.
- Los instrumentos utilizados son dispositivos de uso no invasivo como la banda H10 y el software Kubios HRV Scientific los cuales han sido validados en investigación en ciencias del deporte.

Esta clasificación es consistente con la evidencia publicada en estudios análogos sobre distribución de la intensidad del entrenamiento en corredores recreativos (Bonato et al. 2026; T. Stöggl & Sperlich, 2014).

Principio de Dignidad Humana

En concordancia con la declaración de bioética y derechos humanos de la UNESCO (2005), el presente estudio garantiza el respeto por la dignidad intrínseca de cada participante, sin distinción de condición socioeconómica, nivel de rendimiento deportivo, etnia o cualquier otra característica personal. Los criterios de selección y exclusión de la muestra obedecen exclusivamente a razones científicas y de seguridad, no a juicios de valor sobre las personas.

Confidencialidad y Protección de Datos Personales

El tratamiento de datos personales en el presente proyecto se rige por la ley estatutaria 1581 del 2012 o también denominada ley de protección de datos personales de Colombia emitida por el Congreso de la República de Colombia (2012), y su decreto reglamentario 1377 del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (2013) en cumplimiento de estas disposiciones:

- Cada participante será identificada únicamente mediante un código alfanumérico en todas las bases de datos y registro del estudio.
- El listado maestro que vincula a los códigos con las identidades reales será custodiado de forma separada por el investigador principal.
- Los datos no serán compartidos con terceros, entrenadores personales, clubes deportivos y ninguna otra entidad sin consentimiento explícito de las participantes
- Los resultados del estudio se publicarán y difundirán exclusivamente de forma grupal y anónima.

Integridad Científica

El presente estudio se adhiere a los principios de integridad científica establecidos por el comité de ética y por las políticas de investigación responsable de las instituciones participantes.

En este sentido, el equipo investigador se compromete a:

- Reportar los resultados de manera completa y honesta, incluyendo los hallazgos que no confirmen las hipótesis planteadas.
- No manipular datos, resultados y ni referencias bibliográficas
- Declarar cualquier conflicto de interés potencial que alcanzara a influir en el diseño, la ejecución o la interpretación del estudio.

Principio de Veracidad y Transparencia

La veracidad y la transparencia son condiciones necesarias para la confianza pública en la ciencia. En el presente proyecto, estos principios se garantizan mediante un registro del protocolo de investigación antes del inicio de la recolección de datos, disponibilidad del protocolo completo, instrumentos de evaluación y las matrices de datos para revisión por parte del comité evaluador, además, la comunicación abierta con las participantes sobre el propósito del estudio al finalizar el período de enmascaramiento doble ciego y para finalizar el reporte de los métodos estadísticos utilizados con suficiente detalle para permitir la replicación del estudio.

Principio de Responsabilidad Social

El estudio reconoce su responsabilidad con la sociedad y con la comunidad de corredoras recreativas de Bogotá y Soacha. Los resultados obtenidos serán socializados con las participantes mediante una sesión de retroalimentación grupal al finalizar el estudio, y se elaborará un informe accesible para ser compartido con los grupos y comunidades de corredoras participantes a nivel

científico, los resultados contribuirán a generar evidencia sobre los modelos de entrenamiento eficaces para mujeres, ya que existe una escasa información en la literatura.

Posibles Conflictos de Interés

Se declara no tener conflictos de interés de orden financiero, comercial, ni institucional con los fabricantes de los instrumentos utilizados (banda polar H10, el software Kubios HRV Scientific y TrainerPlan). El estudio no cuenta con financiación externa ni patrocinio por parte de empresas del sector deportivo los softwares utilizados han sido adquiridos bajo licencia institucional sin descuentos condicionados a resultados favorables.

Adicionalmente, el reclutamiento de la muestra se gestionó a través del programa denominado *Corre en mi Pueblo* del club Proyecto Running, el cual es propiedad de los investigadores. No obstante, para garantizar la transparencia del proceso, la convocatoria fue totalmente abierta a la comunidad. La difusión se realizó mediante redes sociales, invitando tanto al público general como a mujeres que ya habían formado parte de dicho programa (el cual consiste en realizar recorridos sociales de running para conocer diferentes rutas en el departamento de Cundinamarca).

Supervisión y Evaluación Ética Institucional

El comité de ética es requisito indispensable para la ejecución del estudio adicionalmente el equipo investigador se compromete a informar al comité de ética ante cualquier evento adverso, modificación o situación imprevista que pudiera afectar la seguridad o el bienestar de las participantes durante el desarrollo del estudio. En este sentido, el proyecto cuenta con aval del Comité de Ética de la Investigación de la Facultad de Educación Física de la Universidad Pedagógica Nacional bajo el código 340ETIC-087-2025.

Comunicación Ética y Difusión de Resultados

Los resultados del estudio serán comunicados de acuerdo con los estándares éticos de publicación científica del Committee on Publication Ethics (2024). Se privilegiará la publicación en revistas de acceso abierto para maximizar la disponibilidad de los hallazgos para la comunidad científica y para las corredoras recreativas.

Principio de Mejora Continua y Reflexividad Ética

El equipo investigador reconoce que las consideraciones éticas no se agotan en el diseño inicial del estudio, sino que requieren reflexión continua durante todo el proceso investigativo.

Principio de Responsabilidad Profesional y Formativa

Los investigadores asumen la responsabilidad profesional de conducir el estudio con la máxima competencia técnica y ética, conforme a los estándares de formación del campo de las ciencias del deporte y la actividad física este principio implica:

- Supervisión adecuada de la intervención por parte del profesional y con experiencia en entrenamiento.
- Reconocimiento honesto de las limitaciones del estudio en la comunicación de sus resultados.

El cumplimiento de este principio es además una responsabilidad formativa, dado que el proyecto se enmarca en el contexto de la formación de investigadores en ciencias del deporte a nivel de posgrado.

Agradecimientos

Expresamos nuestro más profundo agradecimiento a nuestras familias Gómez Pinzón, Moreno, Casallas y Vega, así como a las participantes del proyecto Running, por su permanente apoyo, comprensión y motivación a lo largo de este proceso, los cuales fueron fundamentales para la culminación de este logro.

De igual manera, extendemos nuestro reconocimiento a nuestro tutor, Eduar Ceballos Bernal, y a los docentes del programa de Maestría en Ciencias del Deporte y la Actividad Física, por su valiosa orientación, formación académica y compromiso durante el desarrollo de la presente investigación.

Dedicatoria

La presente tesis se dedica, en primer lugar, a Dios, por ser guía constante en nuestro camino y por brindarnos la fortaleza, la sabiduría y las bendiciones necesarias para culminar este proceso de formación.

Con profundo amor y gratitud, dedicamos este logro a nuestras madres, Edilma Pinzón y Martha Vega, quienes han sido el pilar fundamental de nuestras vidas. Su apoyo incondicional, su entrega y sus palabras de aliento han sido la fuerza que nos sostuvo en los momentos de dificultad y el impulso permanente para seguir adelante.

A nuestros padres, Reinaldo Gómez y Fernando Torres, por su respaldo, su ejemplo y su presencia constante, quienes nos enseñaron el valor de la perseverancia y el esfuerzo, impulsándonos a no desfallecer ante los desafíos.

Finalmente, a nuestros hermanos, Reinel, Sonia, Jhon Freddy y Luis, y a nuestros sobrinos, Jarol, Nicolás, Sebastián, Matías, Sergio y Camila, quienes, con su cariño y alegría, iluminaron este camino, con el anhelo de que este logro sea para ellos una fuente de inspiración y un reflejo de que los sueños se alcanzan con dedicación y constancia.

Tabla de Contenido

Resumen.....	22
Introducción	26
1. Planteamiento del Problema	27
1.1. Descripción y Formulación del Problema.....	27
1.1.1 Pregunta Problema.....	30
1.1.2 Hipótesis	30
1.2 Objetivos.....	31
1.2.1 Objetivo General.....	31
1.2.2 Objetivos Específicos.....	31
1.3 Justificación	32
2. Marco Referencial.....	38
2.1 Marco de Antecedentes.....	38
2.2 Marco Conceptual.....	47
2.2.1 Corredora Recreativa	47
2.2.2 Variables Dependientes del Estudio	48
2.2.3 Consumo Máximo de Oxígeno (VO ₂ max)	48
2.2.4 Umbrales Ventilatorios VT1 y VT2	49
2.2.5 Frecuencia Cardíaca en Reposo y Máxima (FCR Y FC MAX)	49

2.2.6 Velocidad Aeróbica Máxima (VAM)	50
2.2.7 Tiempo de Carrera en 10 Kilómetros.....	50
2.2.8 Distribución de la Intensidad del Entrenamiento (TID)	50
2.2.9 Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (HRV) y Exponente DFA- α 1	51
2.3 Marco Teórico.....	51
2.3.1 Fundamentos Fisiológicos del Entrenamiento de Resistencia	52
2.3.2 Sistema de Zonas de Intensidad del Entrenamiento	54
2.3.3 Modelos de Distribución de la Intensidad del Entrenamiento (TID).....	56
2.3.4 Modelo de Entrenamiento Polarizado.....	56
2.3.5 Modelo de Entrenamiento Umbral.....	57
2.3.6 Otros Modelos de TID: Referencia Comparativa	58
2.3.7 Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (HRV) y Estimación de Umbrales Ventilatorios.....	59
2.3.8 Kubios HRV Scientific: Algoritmo de Estimación de Umbrales	60
2.3.9 TrainerPlan como Herramienta de Planificación y Seguimiento de los Planes de Entrenamiento	62
3. Marco Metodológico.....	65
3.1 Enfoque	65
3.2 Tipo.....	66
3.3 Alcance	68

3.4 Muestra	69
3.4.1 Caracterización de la Muestra.....	70
3.4.2 Criterios de Inclusión y Exclusión.....	71
3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información.....	72
3.5.1 Operacionalización de las Variables.....	73
3.5.2 Protocolos	75
3.5.3 Convocatoria	80
3.5.4 Lugar de Desarrollo del Estudio	81
3.5.5 Control de Sesgos	83
3.5.6 Estrategia de Adherencia.	85
3.6 Técnicas de Análisis de la Información	88
3.7 Fases y Cronograma de la Investigación	88
3.7.1 Fase 1: Convocatoria en Redes Sociales.....	89
3.7.2 Fase 2: Filtro de Participantes.....	89
3.7.3 Fase 3: Reunión y Firma del Consentimiento Informado.....	89
3.7.4 Fase 4: Test Incremental en Cinta: Control 1 (Preprueba C1).....	90
3.7.5 Fase 5: Test de 10 km: Control 1 (Preprueba C1)	90
3.7.6 Fase 6: Ejecución de los Planes de Entrenamiento	90
3.7.7 Fase 7: Test incremental en Cinta: Control 2 (Posprueba C2).....	95
3.7.8 Fase 8: Test de 10 km: Control 2 (Posprueba C2).....	96

3.7.9 Diseño Estadístico.....	97
4. Resultados	98
4.1 Verificación del Supuesto de Normalidad	98
4.2 Resultados para VO_2 max Estimado	99
4.3 Resultados para Velocidad Aeróbica Máxima (VAM).....	100
4.4 Resultados para Frecuencia Cardíaca de Reposo (FCR)	101
4.5 Resultados para Umbral Ventilatorio 1 (VT1).....	102
4.6 Resultados para Umbral Ventilatorio 2 (VT2).....	103
4.7 Resultados para Tiempo de Carrera en 10 Kilómetros	104
4.8 Discusión de los Resultados.....	106
4.8.1 Aporte de la Investigación	113
5. Conclusiones	115
5.1 Limitaciones del Estudio.....	116
5.1.1 Tamaño Muestral	117
5.1.2 Heterogeneidad en la Línea de Base de VT1 y VT2	117
5.1.3 Estimación Indirecta del VO_2 máx.....	117
5.1.4 Duración de la Intervención.....	117
5.1.5 Altitud	118
5.1.6 Adherencia Autoreportada	118
5.1.7 Evidencia Escasa sobre Población Recreativa Femenina	118

Referencias.....	120
------------------	-----

Anexos	133
--------------	-----

Índice de Tablas

Tabla 1. Antecedentes de los programas de entrenamiento con modelos de TID sobre el VO ₂ max.....	39
Tabla 2. Antecedentes de los programas de entrenamiento con modelos de TID sobre VAM ..	41
Tabla 3. Antecedentes de los programas de entrenamiento con modelos de TID sobre VT1	41
Tabla 4. Antecedentes de los programas de entrenamiento con modelos de TID sobre VT2	42
Tabla 5. Antecedentes de los modelos de TID sobre el tiempo de carrera	43
Tabla 6. Valores de características antropométricas de los participantes	71
Tabla 7. Criterios para selección de la muestra	71
Tabla 8. Instrumentos y fiabilidad	72
Tabla 9. Operacionalización de las Variables	73
Tabla 10. Recomendaciones para el desarrollo de la prueba incremental en cinta.....	76
Tabla 11. Desarrollo de la prueba incremental en cinta.....	77
Tabla 12. Recomendaciones para el desarrollo de la prueba de 10K en pista	78
Tabla 13. Desarrollo de la prueba de 10K en pista atlética.....	80
Tabla 14. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para las variables del estudio.....	98
Tabla 15. Comparación intergrupar del VO ₂ max estimado entre los modelos de entrenamiento THR y POL	99
Tabla 16. Comparación intergrupar de la velocidad aeróbica máxima (VAM) entre los modelos THR y POL	100
Tabla 17. Comparación intergrupar de la frecuencia cardiaca de reposo (FCR) entre los modelos de entrenamiento THR y POL	101

Tabla 18. Comparación intergrupar de la velocidad en el umbral ventilatorio 1 (VT1) entre los modelos de entrenamiento THR y POL.....	103
Tabla 19. Comparación intergrupar de la velocidad en el segundo umbral ventilatorio (VT2) entre los modelos de entrenamiento THR y POL	104
Tabla 20. Comparación del tiempo de carrera en 10 km (segundos) entre los grupos de entrenamiento.....	105

Índice de Figuras

Figura 1. Flujograma de búsqueda.....	39
Figura 2. Mapa conceptual.....	47
Figura 3. Modelo trifásico de intensidad del ejercicio basado en los umbrales fisiológicos.....	54
Figura 4. Perfil metabólico identificado mediante Kubios HRV.....	61
Figura 5. Análisis de la distribución de la intensidad en una sesión de entrenamiento.....	87
Figura 6. Distribución del volumen semanal para THR.....	94
Figura 7. Distribución del volumen semanal para POL.....	95
Figura 8. Fases de la investigación.....	96
Figura 9. Comparación del VO_{2max} estimado y VAM en C1 y C2.....	108
Figura 10. Resultados de VT1 & VT2 en C1 y C2.....	110
Figura 11. Comparación de la FCR en C1 y C2.....	111
Figura 12. Comparación del Tiempo de carrera C1 y C2.....	112

Resumen

El presente estudio comparó los efectos de dos modelos de distribución de la intensidad del entrenamiento umbral (THR) y polarizado (POL) sobre el Vo2máx estimado, los umbrales ventilatorios VT1 y VT2, la frecuencia cardíaca de reposo, la velocidad aeróbica máxima (VAM) y el tiempo de carrera en 10 kilómetros, en corredoras recreativas de 27 a 37 años de Bogotá y Soacha, Colombia. Se adoptó un diseño cuasiexperimental con asignación aleatoria intergrupar, enmascaramiento doble ciego y esquema preprueba-posprueba (C1-C2). Un total de 16 participantes fueron distribuidas en dos grupos ($n=8$ POL / $n=8$ THR) y sometidas a una intervención de 12 semanas, compuesta por cuatro semanas de entrenamiento estandarizado de adaptación y ocho semanas de distribución diferenciada de la intensidad según el modelo asignado. Las variables fisiológicas fueron evaluadas mediante el sensor Polar H10 y el software Kubios HRV Scientific v4.0, y el rendimiento en 10 km se cronometró en la pista atlética de Servita, Bogotá. Los resultados indicaron que ambos grupos mejoraron sus variables fisiológicas y de rendimiento tras la intervención. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre grupos en ninguna de las variables evaluadas ($p > .05$). En términos de dirección del efecto, el grupo POL mostró valores superiores en Vo2máx estimado (+3.1% vs +2.0%), VAM (+3.1% vs +2.0%) y tiempo de carrera en 10K (mediana: 3570 s vs 3700 s) en la posprueba, con tamaños del efecto pequeños ($d = 0.38$; $r = .219$). El grupo POL presentó además una mayor ganancia absoluta en VT1 (+0.69 km/h) en comparación con el grupo THR (+0.06 km/h), aunque comenzó con un valor inferior. La ausencia de significancia estadística se atribuye principalmente al reducido tamaño muestral ($n=8$ por grupo). Estos resultados son coherentes con la literatura sobre TID en corredores recreativos y constituyen la primera evidencia

comparativa entre modelos POL y THR realizada con mujeres corredoras recreativas en el contexto colombiano.

Palabras clave: entrenamiento polarizado; distribución de la intensidad; umbrales ventilatorios; corredoras recreativas; variabilidad de la frecuencia cardíaca.

Abstrac

This study compared the effects of two training intensity distribution (TID) models threshold (THR) and polarized (POL) on estimated $\text{VO}_{2\text{max}}$, ventilatory thresholds VT1 and VT2, resting heart rate, maximal aerobic speed (MAS), and 10-kilometer race time in recreational female runners aged 27 to 37 years from Bogotá and Soacha, Colombia. A quasi-experimental design with intergroup random allocation, double-blind masking, and a pretest-posttest scheme (C1-C2) was adopted. Sixteen participants were distributed into two groups ($n=8$ POL / $n=8$ THR) and underwent a 12-week intervention consisting of four weeks of standardized adaptation training followed by eight weeks of differentiated intensity distribution according to the assigned model. Physiological variables were assessed using the Polar H10 sensor and Kubios HRV Scientific v4.0 software, and 10K performance was timed at the Servita athletic track in Bogotá. Results showed that both groups improved their physiological and performance variables after the intervention. No statistically significant intergroup differences were found for any of the evaluated variables ($p > .05$). Regarding effect direction, the POL group showed higher values in estimated $\text{VO}_{2\text{max}}$ (+3.1% vs +2.0%), MAS (+3.1% vs +2.0%), and 10K race time (median: 3570 s vs 3700 s) at posttest, with small effect sizes ($d = 0.38$; $r = .219$). The POL group also showed a greater absolute gain in VT1 (+0.69 km/h) compared to the THR group (+0.06 km/h), although it started from a lower baseline value. The absence of statistical significance is primarily attributed to the small sample size ($n=8$ per group). These results are consistent with TID literature on recreational runners and represent the first comparative evidence between POL and THR models conducted with recreational female runners in the Colombian context.

Keywords: polarized training; intensity distribution; ventilatory thresholds; recreational runners; heart rate variability.

Introducción

La distribución de la intensidad del entrenamiento es, junto con el volumen y la frecuencia, uno de los factores más determinantes de las adaptaciones fisiológicas en deportes de resistencia, y al mismo tiempo uno de los menos consensuados en la literatura científica cuando se trata de corredores recreativos (Jamnick et al. 2020; K. S. Seiler & Kjerland, 2006). En los últimos años, dos modelos han concentrado la atención de los investigadores: el modelo polarizado (POL), que concentra el trabajo en los extremos de intensidad, y el modelo umbral (THR), que enfatiza las zonas moderadas entre VT1 y VT2. Aunque la evidencia disponible muestra una tendencia favorable al POL en deportistas entrenados con mejoras de hasta el 11.7% en el VO₂pico reportadas por Stöggl & Sperlich (2014), los estudios con corredores recreativos presentan resultados heterogéneos, y ninguno de los disponibles ha sido realizado exclusivamente con mujeres. Esta ausencia no es menor, ya que el 47% de los corredores activos en el mundo son mujeres (Nielsen Sports & World Athletics, 2021), y las diferencias fisiológicas entre sexos documentadas por Besson et al. (2022) y Hunter et al. (2023) hacen que los hallazgos en hombres no sean directamente extrapolables a ellas. El presente estudio busca contribuir a cerrar esta brecha mediante una comparación directa entre modelos POL y THR en corredoras recreativas de Bogotá y Soacha, utilizando una metodología de evaluación no invasiva de campo validada específicamente en mujeres.

1. Planteamiento del Problema

El presente capítulo expone el problema de investigación que fundamenta este estudio, partiendo del contexto del running recreativo femenino en Colombia y la ausencia de evidencia científica que oriente la planificación de la intensidad del entrenamiento en esta población. A partir de ese panorama se formula la pregunta de investigación, se plantean las hipótesis y se definen los objetivos que guían el desarrollo del proyecto.

1.1. Descripción y Formulación del Problema

El running es una de las prácticas deportivas de carácter recreativo que ha presentado mayor interés y crecimiento en los últimos años en Colombia, desde los años 70 comenzó a ganar popularidad a nivel mundial al ser visto como una forma de liberar el estrés y mejorar el bienestar de las personas que lo practican (Oswald et al. 2020; Stempień et al. 2022)

La búsqueda de estrategias para correr mejor y los métodos de entrenamiento que permitan mejorar de manera estructurada la preparación de una carrera son temas de interés común entre los corredores recreativos. En internet se encuentra información abundante sobre frecuencia, duración y volumen de entrenamiento, pero cuando se habla de la intensidad no existe un consenso claro sobre qué modelo aporta las mejores adaptaciones, especialmente en el contexto del deporte recreativo (Jamnick et al. 2020).

La distribución de la intensidad del entrenamiento (Training Intensity Distribution, TID) hace referencia a la forma en que se organiza y distribuye el tiempo de entrenamiento en diferentes dominios fisiológicos de intensidad, generalmente delimitados por los umbrales ventilatorios VT1 y VT2. En los deportes de resistencia, la TID constituye una de las variables de planificación más relevantes, debido a que determina el tipo de estímulo fisiológico al que se expone el deportista y, en consecuencia, las adaptaciones cardiovasculares, metabólicas y

neuromusculares que se producen a largo plazo (Jamnick et al. 2020; K. S. Seiler & Kjerland, 2006). Dentro de los modelos de TID más estudiados se encuentran el modelo polarizado (POL) y el modelo umbral (THR), los cuales difieren sustancialmente en la proporción de entrenamiento realizada en zonas de baja, moderada y alta intensidad. El modelo POL se caracteriza por concentrar un elevado volumen de entrenamiento en intensidades bajas, acompañado de una menor proporción de trabajo en intensidades altas y una participación mínima o nula en intensidades intermedias (Pérez et al. 2018). Por su parte, el modelo THR enfatiza el entrenamiento en intensidades moderadas comprendidas entre el primer y el segundo umbral ventilatorio (VT1 y VT2). Aunque ambos modelos han mostrado beneficios sobre variables fisiológicas y de rendimiento, la evidencia disponible presenta resultados heterogéneos, especialmente en corredores recreativos, lo que mantiene abierto el debate sobre cuál estrategia genera mayores adaptaciones.

La cuantificación precisa de estos dominios de intensidad ha requerido históricamente pruebas de laboratorio con ergoespirometría para la determinación directa al consumo máximo de oxígeno ($\text{VO}_{2\text{max}}$) y la identificación de los umbrales ventilatorios. Sin embargo, la limitada disponibilidad de este tipo de infraestructura en contextos de deporte recreativo ha impulsado el desarrollo y validación de metodologías alternativas no invasivas. En ese sentido, la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV) y específicamente el análisis del exponente de escala de corto plazo del análisis de fluctuación sin tendencia (DFA- $\alpha 1$) ha emergido como una herramienta válida para la estimación de los umbrales ventilatorios VT1 y VT2 en condiciones de campo (Rogers & Gronwald, 2022). El software Kubios HRV Scientific incorpora un algoritmo válido que combina la frecuencia cardíaca instantánea, la frecuencia respiratoria y el DFA- $\alpha 1$ para estimar VT1 y VT2 con una precisión de -1.2 ± 10.7 lpm para VT1 y 1.0 ± 6.7 lpm para VT2

(Kubios, 2025) y ha demostrado validez en muestras femeninas con coeficientes de correlación intraclase a 0.77 para VT1 y 0.84 para VT2 (Schaffarczyk et al. 2023). Adicionalmente, el propio software permite estimar el $\text{VO}_{2\text{max}}$ a partir de la relación entre la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno, constituyendo una alternativa ecológica y reproducible para la evaluación fisiológica en corredores recreativos sin acceso a laboratorio.

Existe evidencia emergente sobre los beneficios tanto del modelo polarizado (Selles-Perez et al. 2019) como del modelo umbral (Winett et al. 2003), pero los resultados no son concluyentes en cuanto a diferencias marcadas o aplicabilidad de cada modelo en pruebas específicas como los 10 kilómetros, especialmente en población femenina recreativa y adquiere especial relevancia cuando se analizan variables fisiológicas estrechamente relacionadas dicha distancia. Entre estas se encuentran el $\text{VO}_{2\text{max}}$ estimado, la frecuencia cardíaca de reposo, los umbrales ventilatorios VT1 y VT2, la VAM y el tiempo de carrera. Estas variables permiten valorar tanto las adaptaciones cardiovasculares y metabólicas inducidas por el entrenamiento como las mejoras específicas en el desempeño deportivo. Sin embargo, la evidencia actual no permite establecer con claridad cuál modelo de distribución de la intensidad produce mayores beneficios sobre estas variables en corredoras recreativas.

Finalmente, la necesidad de investigar esta problemática en mujeres responde a que las diferencias fisiológicas relacionadas con la composición muscular, el metabolismo energético, la regulación hormonal y los mecanismos de fatiga pueden modificar la respuesta adaptativa al entrenamiento de resistencia. A pesar de ello, la mayoría de las investigaciones sobre distribución de la intensidad han sido realizadas predominantemente con hombres o muestras mixtas sin análisis específicos por sexo. Esta situación limita la posibilidad de realizar

recomendaciones basadas en evidencia para corredoras recreativas, población que actualmente representa cerca de la mitad de los participantes en eventos de running a nivel mundial.

1.1.1 Pregunta Problema

Considerando los elementos anteriormente expuestos, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son los efectos de los modelos de distribución de la intensidad umbral (threshold) VS polarizado sobre el VO_2max estimado, la frecuencia cardiaca de reposo, los umbrales ventilatorios VT1 y VT2, la VAM y el tiempo de carrera en corredoras recreativas de 10 kilómetros?

1.1.2 Hipótesis

El modelo de distribución de la intensidad POL genera mayores mejoras en el VO_2max estimado, los umbrales ventilatorios VT1 y VT2, la VAM, la Frecuencia cardiaca de reposo y el tiempo de carrera en corredoras recreativas de 10 kilómetros, en comparación con el modelo de distribución THR.

Hipótesis Nula (H0).

No existen diferencias estadísticamente significativas en los cambios producidos sobre el VO_2max estimado, los umbrales ventilatorios VT1 y VT2, la VAM, la frecuencia cardiaca de reposo y el tiempo de carrera en corredoras recreativas de 10 kilómetros entre el grupo que aplica el modelo de distribución de la intensidad POL y el grupo que aplica el modelo de distribución THR en corredoras recreativas.

Hipótesis Alterna (H1).

Existen diferencias estadísticamente significativas en los cambios producidos sobre al menos una de las variables dependientes (VO_2max estimado, los umbrales ventilatorios VT1 y

VT2, la VAM, la frecuencia cardiaca de reposo y el tiempo de carrera en corredoras recreativas de 10 kilómetros) entre el grupo que aplica el modelo de distribución de la intensidad POL y el grupo que aplica el modelo de distribución THR en corredoras recreativas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Comparar los efectos de los modelos de distribución de la intensidad umbral (THR) y polarizado (POL) sobre el VO_{2max} estimado, la frecuencia cardiaca de reposo (FCR), los umbrales ventilatorios VT1 y VT2, la velocidad aeróbica máxima (VAM) y el tiempo de carrera en 10 kilómetros en corredoras recreativas de 27 a 37 años de Bogotá y Soacha, mediante evaluaciones fisiológicas realizadas con Polar H10 y Kubios HRV Scientific, y pruebas de rendimiento en carrera.

1.2.2 Objetivos Específicos

Caracterizar la condición fisiológica inicial de la población participante mediante la determinación del VO_{2max} estimado, la frecuencia cardiaca de reposo, los umbrales ventilatorios y la velocidad aeróbica máxima, a través de una prueba incremental en banda, con registro de la variabilidad de la frecuencia cardiaca mediante la banda Polar H10 y el software Kubios HRV Scientific, además, evaluar el rendimiento deportivo mediante una prueba de 10 kilómetros en pista atlética.

Diseñar e implementar dos planes de entrenamiento de 12 semanas estructurados según los modelos de distribución de la intensidad THR y POL, planificados con base a los valores individuales de VT1 y VT2 de cada participante y monitoreados mediante la plataforma TrainerPlan y registro de la frecuencia cardiaca durante cada sesión.

Evaluar los cambios preprueba y posprueba en las variables de $VO_2\text{max}$ estimado, frecuencia cardiaca, los umbrales ventilatorios, la velocidad aeróbica máxima y tiempo de carrera en 10 kilómetros en cada grupo de intervención (THR y POL) mediante estadística descriptiva e inferencial.

Comparar las diferencias intergrupales en las variables fisiológicas y de rendimiento entre el grupo POL y el grupo THR al final del periodo de intervención para determinar qué modelo de distribución de la intensidad produce mayores adaptaciones en corredoras recreativas de 10 kilómetros.

1.3 Justificación

A pesar de sus reconocidos beneficios para la salud cardiovascular y el bienestar psicológico, la práctica del running presenta una problemática de salud alarmante: el 84.4% de los corredores recreativos adultos reporta antecedentes de lesiones relacionadas con su práctica (Stenerson et al. 2023; Runner's World, 2023). Esta alta prevalencia de lesiones adquiere una dimensión crítica en contextos locales como Bogotá y Soacha, donde la proliferación de clubes de running, la masificación de eventos de calle y el uso de plataformas digitales han consolidado una práctica de alto impacto social que, sin embargo, carece de un acompañamiento preventivo proporcional a su expansión.

Este crecimiento se intensificó de manera notable durante y después de la pandemia por COVID-19. Dado que el running es una de las pocas formas de ejercicio que podía mantenerse durante las restricciones de movilidad por su carácter individual y la facilidad de practicarlo en espacios abiertos respetando el distanciamiento social (Scheer et al. 2021). La participación en esta actividad experimentó un aumento en la frecuencia semanal de entrenamiento durante los primeros meses de la pandemia (DeJong et al. 2021). Una encuesta aplicada a 3.961 corredores

activos en múltiples países reportó que el 28.76% de los practicantes actuales comenzaron a correr durante ese período, motivados principalmente por los beneficios sobre la salud física (Rizzo, 2023) . En el plano global, el estudio de Nielsen Sports & World Athletics (2021) señaló que más de una quinta parte de los corredores encuestados en 10 países afirmó correr con mayor frecuencia como consecuencia del COVID-19, y que la distribución por sexo refleja una participación femenina del 47% del total de corredores, cifra que evidencia el aumento progresivo y sostenido de las mujeres en este deporte.

Sin embargo, la masificación del running recreativo no ha venido acompañada de orientación técnica adecuada para la mayoría de sus practicantes. Una proporción significativa de corredoras y corredores recreativos participa en eventos deportivos sin seguir un plan de entrenamiento estructurado, lo que genera consecuencias directas sobre su salud y rendimiento. Un estudio transversal con 616 corredores adultos recreativos con representación femenina del 76.8% encontró que el 84.4% de los participantes reportó antecedentes de lesión relacionada con el running y que el 44. 6% había sufrido al menos una lesión en el año previo al estudio, siendo el pie, el tobillo y la rodilla las regiones corporales más frecuentemente comprometidas (Stenerson et al. 2023). En la misma dirección, el estudio retrospectivo Garmin-RUNSAFE, que siguió a más de 5.000 corredores durante 18 meses, Confirmó que quienes no seguían un programa de entrenamiento estructurado representaban una mayor proporción acumulada de lesiones relacionadas con el running, que alcanzó el 57.6% tras 1.000 kilómetros recorridos (Nielsen et al. 2024). Estos datos son especialmente relevantes en el contexto latinoamericano, donde la cultura del autoentrenamiento y la participación en carreras por motivación social o aspiracional sin preparación progresiva ni control de la intensidad es particularmente frecuente (Knechtle et al. 2021).

Frente a este panorama, la distribución de la intensidad del entrenamiento (TID) emerge como una de las alternativas más determinantes para garantizar no solo la mejora del rendimiento, sino también la seguridad fisiológica del corredor recreativo. La intensidad, junto con el volumen y la frecuencia, es el factor que mayor impacto tiene sobre las adaptaciones cardiovasculares, metabólicas y musculoesqueléticas del organismo y su planificación inadecuada (ya sea por exceso o por ausencia de estructura) es uno de los principales mecanismos causales de lesión en corredores recreativos (Jamnick et al. 2020). En los últimos años, dos modelos de distribución de intensidad han concentrado la mayor atención en la literatura científica: el modelo POL, caracterizado por un alto volumen de trabajo en zona de baja intensidad (por debajo de VT1) y una fracción menor en alta intensidad (por encima de VT2), con mínima presencia en intensidades intermedias; y el modelo THR, que concentra el trabajo en la zona moderada comprendida entre VT1 y VT2. Aunque existe evidencia sobre los beneficios de ambos modelos en atletas entrenados (Muñoz et al. 2014; Selles-Perez et al. 2019; Stöggl & Sperlich, 2014), Los estudios disponibles presentan una limitación estructural fundamental, han sido desarrollados predominantemente con muestras masculinas y de alto nivel competitivo, lo que restringe drásticamente su aplicabilidad en el contexto del running recreativo femenino.

Esta brecha es documentada de manera consistente por la literatura científica reciente. La revisión sistemática de Casado et al. (2021) en *Journal of Strength and Conditioning Research* evidenció que la mayoría de los estudios de distribución de la intensidad en corredores de fondo de alto nivel, donde excluyen a las mujeres o no realizan análisis categorizados por sexo. El metaanálisis en red con datos individuales de Rosenblat et al. (2025), que incluyó 13 estudios con 348 participantes, reportó que apenas 52 de ellos eran mujeres frente a 296 hombres, y que la

respuesta al entrenamiento fue significativamente diferente entre corredores recreativos y competitivos dependiendo del enfoque de cuantificación de la carga empleada. La revisión de alcance de Cruz-González & Arboleda-Serna (2022), confirmó que la evidencia existente sobre los modelos de distribución de intensidad en corredores recreativos de resistencia es insuficiente para orientar la planificación del entrenamiento, y que los datos disponibles no permiten identificar cuál modelo de distribución resulta más adecuado para esta población puesto que aún se presentan resultados mixtos.

Esta brecha investigativa cobra especial relevancia a la luz de las diferencias fisiológicas documentadas entre sexos en el contexto del entrenamiento de resistencia. Besson et al. (2022), en su revisión narrativa publicada en *Sport medicine*, señalaron que las mujeres presentaban una mayor proporción de fibras musculares tipo I, una utilización preferencial del metabolismo lipídico durante el ejercicio prolongado y patrones diferenciales de fatiga neuromuscular en comparación con sus pares masculinos, características que podrían modular de forma sustancial la respuesta adaptativa a distintos modelos de distribución de la intensidad. Hunter et al. (2023) advirtieron además que el sesgo de género en la investigación sobre rendimiento humano ha generado vacíos sistemáticos de conocimiento en fisiología femenina del ejercicio, y que los hallazgos obtenidos en hombres no pueden extrapolarse a mujeres sin validación empírica específica. Estas diferencias biológicas justifican que el estudio de la TID en corredoras recreativas no constituye simplemente una replicación de investigaciones previa, sino una contribución original al conocimiento científico.

A la pertinencia científica de esta investigación se suma una innovación metodológica de alto valor para el campo de las ciencias del deporte aplicadas a contextos recreativos. La evaluación del VO_2max y la identificación de los umbrales ventilatorios VT1 y VT2 (variables

indispensables para la planificación de los modelos de TID) han requerido históricamente pruebas de laboratorio con ergo espirometría, equipos de alto costo y condiciones controladas que dificultan su aplicación en poblaciones recreativas. En este estudio, dichas variables serán determinadas a través del algoritmo de estimación de umbrales ventilatorios disponible en el software Kubios HRV Scientific (Kubios Oy, Kuopio, Finlandia), El cual combina la frecuencia cardiaca instantánea en relación con la reserva de frecuencia cardiaca, la frecuencia respiratoria estimada a partir de los datos beat-to-beat de variabilidad de la frecuencia cardiaca exponente DFA- $\alpha 1$, Derivados del registro con la banda cardiaca polar H10. Este algoritmo fue validado con datos de 230 individuos en prueba máxima en cicloergómetro y demostró una precisión de -1.2 ± 10.7 lpm para VT1 y -1.0 ± 6.7 para VT2 (Eronen et al. 2024), superando en precisión al método basado únicamente en DFA- $\alpha 1$ y mostrando correlaciones de alta magnitud con los umbrales determinados por ergoespirometría directa, incluida validación específica en muestras femeninas con coeficientes de correlación intra clase de 0.77 para VT1 y 0.84 para VT2 (Eronen et al. 2024; Schaffarczyk et al. 2023). Esta aproximación metodológica no invasiva, de bajo costo y reducible en condiciones de campo presenta un avance significativo para la evaluación fisiológica en mujeres recreativas y abre una línea de investigación de gran aplicabilidad en contexto con acceso limitado a laboratorios.

En síntesis, este proyecto se justifica por la confluencia de cuatro factores de alta pertinencia: (1) La ausencia en la literatura científica nacional e internacional de estudios comparativos sobre TID polarizado VS umbral realizados exclusivamente con mujeres corredoras recreativas; (2) Las diferencias fisiológicas documentadas entre sexos que exigen investigación específica en población femenina y no permiten la extrapolación directa de los hallazgos obtenidos en hombres; (3) La creciente demanda social de orientación basada en

evidencia para corredoras recreativas en ciudades como Bogotá y Soacha, dónde el running ha crecido exponencialmente sin que existan protocolos de entrenamiento validados para esta población; y (4) la innovación metodológica que representa el uso del algoritmo de Kubios HRV científico para la determinación no invasiva de VT1, VT2 y VO₂max estimado en condiciones de campo, consolidando una alternativa rigurosa, replicable y accesible para los entrenadores y corredores. Los resultados de esta investigación permitirán construir una base de referencia científica que oriente a los entrenadores, fisiólogos del ejercicio y profesionales de las ciencias del deporte en la planificación del entrenamiento de resistencia para corredoras recreativas, contribuyendo tanto a la mejora del rendimiento en la prueba de 10 kilómetros como a la reducción del riesgo de lesión por sobrecarga durante la práctica deportiva (Casado et al. 2021; Cruz-González & Arboleda-Serna, 2022).

2. Marco Referencial

El presente capítulo organiza los fundamentos teóricos, conceptuales y empíricos que sustentan esta investigación. Su propósito es proporcionar el soporte científico necesario para comprender la relación entre los modelos de distribución de la intensidad del entrenamiento y las adaptaciones fisiológicas y de rendimiento en corredoras recreativas de 10 kilómetros. Para ello, se abordan variables consideradas determinantes en el rendimiento de resistencia, como el VO_2max estimado, la frecuencia cardíaca de reposo, los umbrales ventilatorios VT1 y VT2, la VAM y el tiempo de carrera, las cuales permiten evaluar diferentes dimensiones de la respuesta al entrenamiento, desde la capacidad aeróbica y la regulación autonómica hasta el desempeño competitivo. El capítulo se estructura en tres componentes: el marco de antecedentes, que reúne los estudios más relevantes sobre distribución de la intensidad del entrenamiento en corredores de resistencia; el marco conceptual, que delimita y fundamenta las variables objeto de estudio; y el marco teórico, que expone los mecanismos fisiológicos y los modelos de entrenamiento que sustentan la comparación entre el modelo polarizado y el modelo umbral en corredoras recreativas.

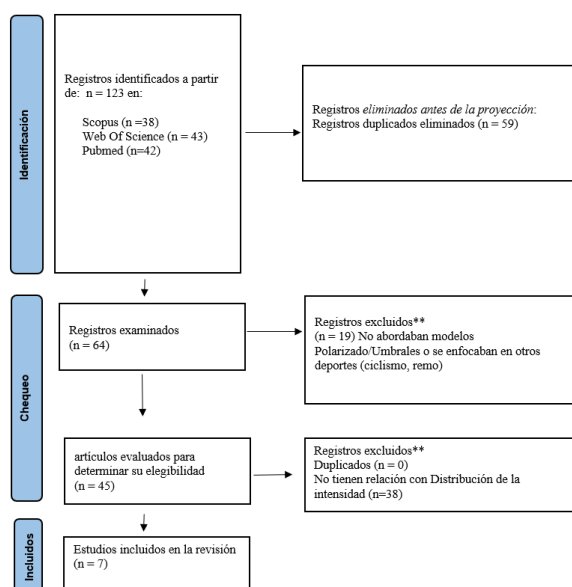
2.1 Marco de Antecedentes

En el proceso de búsqueda de antecedentes relacionados con la distribución de intensidad (TID), se emplearon estrategias sistemáticas en base de datos académicas reconocidas incluyendo Scopus, Web Of Science y Pubmed. Para el proceso de selección de artículos se utilizaron combinaciones de palabras clave en inglés como: “training intensity distribution”, “polarized training”, “threshold training”. Esta combinación de términos permitió encontrar diversos estudios relacionados con los modelos de TID su efecto sobre variables fisiológicas y de rendimiento. Se procedió a seleccionar artículos publicados en revistas indexadas, de tipo ensayo

clínico y estudio cuasiexperimental a partir del año 2015. A través de esta metodología de búsqueda se consolidó una base sólida de evidencias para analizar y comparar los efectos de distintos modelos de distribución de intensidad sobre el desempeño en corredores de resistencia profesionales y con énfasis recreativo.

Figura 1.

Flujograma de búsqueda



Nota. Se identificaron 123 registros en Scopus, Web of Science y PubMed; tras eliminar duplicados (n = 59), se examinaron 64. Se excluyeron 57 registros por no cumplir los criterios, y finalmente se incluyeron 7 estudios en la revisión.

Tabla 1.

Antecedentes de los programas de entrenamiento con modelos de TID sobre el VO_{2max}

Estudio	Diseño	Muestra (n; H/M)	Duración	TID	Dist (%) Z1/Z2/Z3	Post (M±SD)	Valor p (intra)
---------	--------	---------------------	----------	-----	----------------------	----------------	--------------------

(Chiang et al. 2023)	RCT	36 (NR) no entrenados	8 sem	POL	75/0/25	58.7±4.8	0.012
				HIIT	0/0/100	57.3±6.3	0.001
				THR	50/50/0	55.6±4.2	0.005
(Zinner et al. 2018)	RCT	42 (19H/23M) recreativos	8 sem	POL	70/13/17	47.1±5.4	0.006
				HIGH	39/21/40	50.4±6.3	0.001
				LOW	94/6/0	46.5±8.8	0.66
(Festa et al. 2020)	RCT	38 (31H/7M) recreativos	8 sem	PET (POL)	78/3/19	53.6±4.8	>0.05
				FOC (THR)	39/49/12	53.2±1.9	>0.05
(Pérez et al. 2018)	Pre-exp	20 (20H/0M) recreativos	12 sem	POL	80/4/16	54.9±5.1	0.346
				THR	67/34/0	58.8±4.9	0.134
(Carnes & Mahoney, 2019)	RCT	21 (15H/6M) recreativos	12 sem	POL	74/11/15	50.2±6.9	<0.01
				CFE	46/15/39	48.3±7.8	<0.01
(Rivera-Kofler et al. 2024)	Caso	1 (1H/0M) élite	4 años	POL (Y1)	92/3/5	70.0	NR
				PYR (Y2)	65/30/5	69.2	NR
(Muñoz & Varela-Sanz, 2018)	Caso	1 (1H/0M) recreativo	2 temp	LTM (THR)	63/32/5	61.25	NR
				PTM (POL)	83/14/3	63.0	NR

Nota. Muestra: n total; hombres (H) / mujeres (M); NR: No reportado. TID: Distribución de intensidad; POL/PET/PTM: Polarizado; THR/LTM/FOC/HIGH: Umbral/Zona 2; HIIT: Intervalos alta intensidad; CFE: CrossFit Endurance; PYR: Piramidal; LOW: Baja intensidad. Dist. (%): Porcentaje de tiempo en Zonas 1/2/3. Post: ml/kg/min (M: Media; SD: Desviación estándar). Valor p: Significación de cambios intragrupo basándose en el inicio vs. final.

En corredores recreativos, tanto el entrenamiento POL como los modelos de alta intensidad (HIIT o modelos HIGH) logran incrementos significativos en el consumo máximo de oxígeno. No obstante, en sujetos con mayor nivel de condición física previa o entrenamiento de ultra-resistencia, los cambios tienden a ser mínimos o inexistentes, sugiriendo la presencia de un efecto techo adaptativo en esta variable específica para deportistas más experimentados.

Tabla 2.

Antecedentes de los programas de entrenamiento con modelos de TID sobre VAM

Estudio	Diseño	Muestra (n; H/M)	Duración	TID	Dist (%) Z1/Z2/Z3	Post (M±SD)	Valor p (intra)
Festa et al. (2020)	RCT	38 (31H/7M) recreativos	8 sem	PET (POL)	78/3/19	14.3±1.5	<0.01
				FOC (THR)	39/49/12	14.3±0.4	0.03
Pérez et al. (2018)	Pre-exp	20 (20H/0M) recreativos	12 sem	POL	80/4/16	18.8±1.1	0.04
				THR	67/34/0	19.1±1.0	0.378
Muñoz & Varela-Sanz (2018)	Caso	1 (1H/0M) recreativo	2 temp	LTM (THR)	63/32/5	17.0	NR
				PTM (POL)	83/14/3	18.0	NR

Nota. Muestra: n total; hombres (H) / mujeres (M) (NR: No reportado). TID: Distribución de la intensidad del entrenamiento; POL/PET/PTM (Polarizado); THR/LTM/FOC (Umbral/Zona 2). Dist. (%): Porcentaje de tiempo en Zonas 1, 2 y 3. Post: Valores en km/h (M: Media; SD: Desviación estándar). Valor p: Nivel de significación estadística intragrupo.

Esta variable muestra una mejora generalizada en los corredores recreativos bajo distintos modelos de distribución, incluyendo el polarizado y el enfocado en umbrales. El modelo POL ha demostrado ser eficaz para desplazar la velocidad pico alcanzada en pruebas de esfuerzo, lo cual se traduce en una mayor capacidad de trabajo mecánico a intensidades máximas, independientemente de si el valor absoluto de VO₂max aumenta o se estabiliza.

Tabla 3.

Antecedentes de los programas de entrenamiento con modelos de TID sobre VT1

Estudio	Diseño	Muestra (n; H/M)	Duración	TID	Dist (%) Z1/Z2/Z3	Post VT1 (km/h)	Valor p (intra)
	RCT		8 sem	POL	70/13/17	8.7±1.1	0.91

Zinner et al. (2018)		42 (19H/23M) recreativos		HIGH	39/21/40	9.1±1.1	1
Festa et al. (2020)	RCT	38 (31H/7M) recreativos	8 sem	PET (POL)	78/3/19	10.9±1.2	<0.001
				FOC (THR)	39/49/12	11.1±0.4	0.04
Pérez et al. (2018)	Pre-exp	20 (20H/0M) recreativos	12 sem	POL	80/4/16	9.2±1.0	0.689
				THR	67/34/0	9.3±1.0	0.674
Muñoz & Varela-Sanz (2018)	Caso	1 (1H/0M) recreativo	2 temp	LTM (THR)	63.5/32.3/4.2	14	NR
				PTM (POL)	83.3/13.6/3.2	14	NR

Nota. Muestra: n total; hombres (H) / mujeres (M) (NR: No reportado). TID: Distribución de la intensidad; POL/PET/PTM (Polarizado); THR/LTM/FOC/HIGH (Umbral/Zona 2). Dist. (%): Porcentaje de tiempo en Zonas 1, 2 y 3. Post: Velocidad en km/h (M: Media; SD: Desviación estándar). Valor p: Significación de cambios intragrupo.

Las adaptaciones en el primer umbral son menos consistentes en las intervenciones de corta duración para corredores recreativos. Mientras algunos protocolos POL y de umbral logran desplazar la velocidad en VT1 de forma significativa, otros estudios sugieren que esta variable es más resistente al cambio o requiere periodos de intervención más prolongados y volúmenes de entrenamiento en Zona 1 más extensos para manifestar una mejora clara.

Tabla 4.

Antecedentes de los programas de entrenamiento con modelos de TID sobre VT2

Estudio	Diseño	Muestra (n; H/M)	Duración	TID	Dist (%) Z1/Z2/Z3	Post VT2 (km/h)	Valor p (intra)
Festa et al. (2020)	RCT	38 (31H/7M) recreativos	8 sem	PET (POL)	78/3/19	12.8±1.4	<0.01
				FOC (THR)	39/49/12	12.8±0.4	>0.05
Pérez et al. (2018)	Pre-exp	20 (20H/0M) recreativos	12 sem	POL	80/4/16	15.7±1.4	0.058
				THR	67/34/0	16.0±1.3	0.548
Muñoz & Varela-Sanz (2018)	Caso	1 (1H/0M) recreativo	2 temp	LTM (THR)	63.5/32.3/4.2	16	NR
				PTM (POL)	83.3/13.6/3.2	16	NR

Nota. **Muestra:** n total; hombres (H) / mujeres (M) (NR: No reportado). **TID:** Distribución de la intensidad; **POL/PET/PTM** (Polarizado); **THR/LTM/FOC/HIGH** (Umbral/Zona 2). **Dist. (%):** Porcentaje de tiempo en Zonas 1, 2 y 3. **Post:** Velocidad en km/h (**M:** Media; **SD:** Desviación estándar). **Valor p:** Significación de cambios intragrupo.

El entrenamiento polarizado destaca por su capacidad para mejorar la velocidad en el segundo umbral ventilatorio o de compensación respiratoria en sujetos recreativos. Al integrar sesiones en Zona 3, el modelo POL parece inducir adaptaciones metabólicas y enzimáticas superiores que retrasan la acumulación de lactato, permitiendo al corredor sostener ritmos más exigentes durante más tiempo en comparación con los modelos que omiten la alta intensidad.

Tabla 5.

Antecedentes de los modelos de TID sobre el tiempo de carrera

Estudio	Diseño	Muestra (n; H/M)	Duración	TID	Distancia / Prueba	Post (M±SD)	Valor p (intra)
Chiang et al. (2023)	RCT	36 (NR) no entrenados	8 sem	POL	TTE (seg)	815.6±47.9	<0.05
				HIIT	TTE (seg)	812.3±99.4	<0.05
				THR	TTE (seg)	790.3±45.4	<0.05
Zinner et al. (2018)	RCT	42 (19H/23M) recreativos	8 sem	POL	5000 m	25:27±3:34	0.86
				HIGH	5000 m	24:39±3:16	1
Pérez et al. (2018)	Pre-exp	20 (20H/0M) recreativos	12 sem	POL	93.3 km	11.1±2.3 h	NR
				THR	93.3 km	10.1±2.6 h	NR
Carnes & Mahoney (2018)	RCT	21 (15H/6M) recreativos	12 sem	POL	5 km	22.89±2.20	<0.001
				CFE	5 km	22.97±2.80	0.001
Muñoz & Varela-Sanz (2018)	Caso	1 (1H/0M) recreativo	2 temp	LTM (THR)	21.1 km	1:26:34	NR
				PTM (POL)	21.1 km	1:20:22	NR

Nota. Muestra: n total; hombres (H) / mujeres (M) (NR: No reportado). TID: Distribución de la intensidad del entrenamiento; POL/PET/PTM (Polarizado); THR/LTM/FOC/HIGH (Umbral/Zona 2); HIIT (Alta intensidad); CFE (CrossFit Endurance); PYR (Piramidal); LOW

(Baja intensidad). Dist. (%): Porcentaje de tiempo en Zonas 1, 2 y 3. Post: Valores según unidad de medida de la prueba (M: Media; SD: Desviación estándar). Valor p: Nivel de significación estadística intragrupo para el cambio Pre-Post. TTE: Time to Exhaustion (Tiempo hasta el agotamiento). *En Zinner (2018), el p-valor reportado (.86 y 1.00) corresponde a la fase final de tapering (T2-T3), aunque todos los grupos mejoraron significativamente respecto a la línea de base (T0).

Se observa una mejora consistente en los tiempos de carrera para todas las modalidades de distribución de intensidad (POL, Umbral y CrossFit Endurance) en corredores recreativos. Sin embargo, el modelo POL tiende a producir mayores tamaños de efecto y mejoras en la economía de carrera, permitiendo optimizar el rendimiento mediante una mejor gestión de la carga y una recuperación más efectiva entre las sesiones de alta intensidad.

Las investigaciones sobre métodos de la distribución de la intensidad han sido tema de debate en los últimos años debido a la falta de consenso sobre los métodos más determinantes y cómo estos aportan en el diseño de programas de entrenamiento y los resultados a nivel de rendimiento en deportistas de élite y también en deportistas recreativos (Jamnick et al. 2020).

Un estudio realizado en Alemania de carácter experimental por parte Stöggel & Sperlich (2014), Se desarrolló con 48 deportistas alemanes entrenados, entre ellos corredores, ciclistas, triatletas y esquiadores; estos fueron asignados aleatoriamente a cuatro grupos de análisis y se buscó comparar los efectos de cuatro modelos de distribución de entrenamiento (TID) polarizado, umbral, HIIT y alto volumen, sobre el VO₂pico y Tiempo transcurrido hasta el agotamiento de una prueba incremental en cinta. Las intensidades de cada TID fueron controladas a través de la frecuencia cardíaca y al cabo de 9 semanas se encontró una mejora en el VO₂pico del 11,7% con una distribución polarizada en comparación con las demás, lo

relevante de este análisis fue encontrar cómo la distribución por umbral no produjo mejoras significativas, incluso hubo una reducción del 4,1% sobre el $\text{VO}_{2\text{pico}}$, esto abre la puerta a futuras investigaciones que permitan comparar los dos modelos de distribución del entrenamiento y validar si son completamente opuestas o se complementan a la hora de buscar adaptaciones en corredores.

Del mismo modo, un estudio cuasiexperimental en 30 corredores recreativos españoles Muñoz et al. (2014), comparó el efecto de una distribución de la intensidad del entrenamiento polarizada VS una distribución entre umbrales durante 10 semanas de estudio, sobre el tiempo empleado en la prueba de 10 km, se concluye que los deportistas que estuvieron bajo un TID polarizado presentaron una mejora significativa de 119 segundos (5%), en comparación con un TID entre umbrales con una mejora de 84 segundos (3,5%).

Por su parte, Pérez et al. (2019), realizaron un estudio con 25 corredores de ultra resistencia españoles, en donde analizaron el efecto de 2 programas de entrenamiento que incluían una TID polarizada VS umbral sobre variables como el $\text{VO}_{2\text{max}}$, la economía de carrera y la velocidad alcanzada durante el primer y segundo umbral ventilatorio, a lo largo de 12 semanas, este estudio se encontró con una TID polarizada que logra optimizar el rendimiento aeróbico y con ello la economía de carrera en corredores recreativos de ultra resistencia.

En Chile se presenta un estudio de caso longitudinal de 4 años en un corredor de trail running, allí Rivera-Köfler et al. (2025) analizaron durante cuatro variables como el $\text{VO}_{2\text{max}}$, el volumen en kilómetros y el porcentaje de distribución de la intensidad desarrollado por el atleta, con este estudio se logra identificar un cambio interesante en la mejora promedio anual del $\text{VO}_{2\text{max}}$ de 2.4 (ml/kg/min) entre el año 2020 a 2021 con la transición de una distribución polarizada para el año 2020 y con un enfoque entre lumbrales para el año 2021.

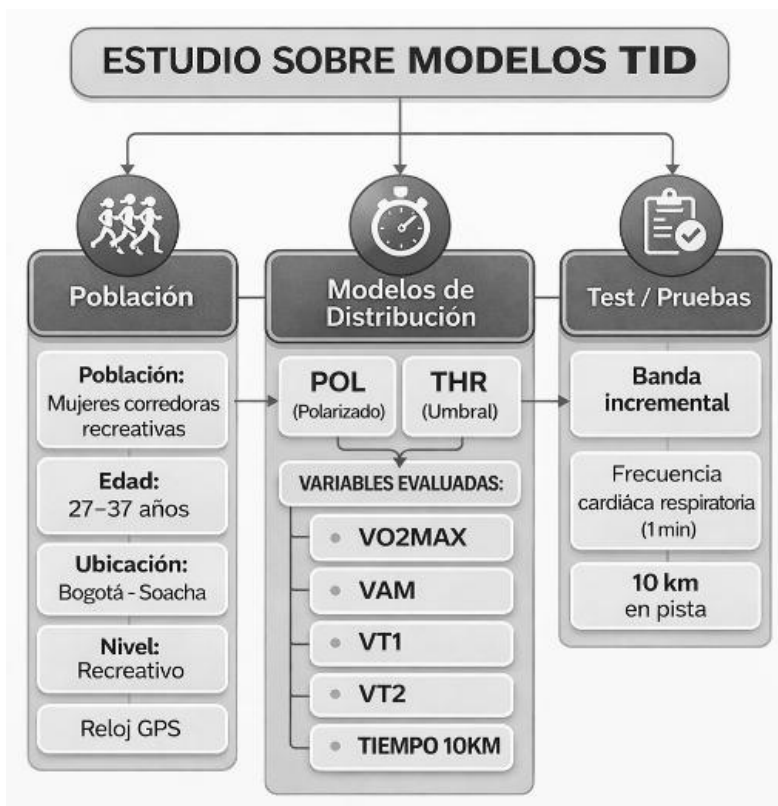
Ahora bien, en el contexto colombiano se realizó una revisión de alcance por parte de Cruz-González & Arboleda-Serna, (2022) dónde se exploran el estado actual de la evidencia científica sobre el modelo de distribución polarizada de la intensidad del entrenamiento y su efecto sobre el tiempo de carrera en corredores recreativos, se hizo una comparación de una TID polarizada con otros modelos como el umbral, alta intensidad y volumen alto con baja intensidad. En cuatro de los cinco estudios no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cuanto al tiempo de carrera, sin embargo, se menciona en el estudio de caso un mejor desempeño sobre la prueba de 21 km con el modelo polarizado y que éste podría favorecer la adherencia e incluso disminuir el riesgo de lesión.

En síntesis, la revisión de la literatura evidencia que el $\text{VO}_{2\text{max}}$, los umbrales ventilatorios VT1 y VT2, la VAM y el tiempo de carrera son las variables más utilizadas para valorar los efectos de los modelos de distribución de la intensidad del entrenamiento sobre el rendimiento en deportes de resistencia. Estas variables permiten evaluar diferentes componentes de la adaptación fisiológica, desde la capacidad máxima de producción aeróbica y la eficiencia metabólica hasta la capacidad de sostener velocidades elevadas durante la competición. Adicionalmente, la presente investigación incorpora la frecuencia cardíaca de reposo como una variable complementaria, debido a su potencial para reflejar adaptaciones del sistema nervioso autónomo asociadas al entrenamiento de resistencia, particularmente aquellas relacionadas con una mayor modulación parasimpática mediada por el nervio vago. En conjunto, estas variables fueron seleccionadas por su relevancia fisiológica, su estrecha relación con el rendimiento en pruebas de 10 kilómetros y su capacidad para proporcionar una evaluación integral de las adaptaciones generadas por los modelos polarizado (POL) y umbral (THR) en corredoras recreativas.

2.2 Marco Conceptual

Figura 2.

Mapa conceptual



Nota. Elaboración propia con apoyo de herramientas de inteligencia artificial OpenAI (2026). El contenido fue diseñado y validado por el autor con fines académicos.

2.2.1 Corredora Recreativa

Para los efectos de este estudio, se define como corredora recreativa a toda mujer adulta que practica el running de manera voluntaria y sistemática con fines relacionados con la salud, el bienestar o la participación en eventos populares, sin estar vinculada a programas de entrenamiento de élite ni recibir retribución económica por su práctica deportiva (Shipway &

Holloway, 2010). Para la investigación, las participantes son clasificadas en esta categoría si cumplen simultáneamente los siguientes criterios: práctica regular de running con una frecuencia semanal, ausencia de historial competitivo en categorías federadas, rango de edad de 27 a 37 años, y residencia o entrenamiento habitual en los municipios de Bogotá o Soacha.

2.2.2 Variables Dependientes del Estudio

Las variables dependientes seleccionadas para esta investigación fueron el $VO_2\text{max}$ estimado, la frecuencia cardíaca de reposo (FCR), los umbrales ventilatorios VT1 y VT2, la velocidad aeróbica máxima (VAM) y el tiempo de carrera en 10 kilómetros. La selección de estas variables responde a su capacidad para representar diferentes dimensiones de la adaptación al entrenamiento de resistencia, incluyendo aspectos cardiovasculares, metabólicos, autonómicos y de rendimiento deportivo. Aunque la literatura sobre distribución de la intensidad del entrenamiento se ha centrado principalmente en variables como el $VO_2\text{max}$, los umbrales ventilatorios y el rendimiento en carrera, la presente investigación incorpora adicionalmente la frecuencia cardíaca de reposo debido a su utilidad como indicador indirecto de las adaptaciones del sistema nervioso autónomo. Según Chicharro & Vaquero (2022), la disminución de la frecuencia cardíaca de reposo constituye una de las adaptaciones más características del entrenamiento aeróbico, asociada principalmente a un incremento de la actividad parasimpática mediada por el nervio vago y a una mayor eficiencia cardiovascular. Por esta razón, la FCR fue incluida como una variable complementaria que permitirá explorar posibles adaptaciones autonómicas derivadas de los diferentes modelos de distribución de la intensidad.

2.2.3 Consumo Máximo de Oxígeno ($VO_2\text{max}$)

El $VO_2\text{max}$ se entiende en este estudio como la tasa máxima de captación y utilización de oxígeno durante el ejercicio incremental, expresada en ml/kg/min (Bassett & Howley, 2000).

Dado que la población objetivo son corredoras recreativas sin acceso habitual al laboratorio de fisiología del ejercicio, el VO_2max no será determinado mediante ergoespirometría directa sino estimado a través del algoritmo del software Kubios HRV Scientific, que deriva este valor a partir de la relación entre la frecuencia cardíaca de ejercicio y la reserva de la frecuencia cardíaca durante la prueba de campo incremental (Kubios, 2025). Se denominará VO_2max estimado a lo largo del documento para distinguirlo del VO_2max directo.

2.2.4 Umbrales Ventilatorios $VT1$ y $VT2$

$VT1$ es el punto de intensidad de ejercicio en que la ventilación pulmonar comienza a aumentar de forma desproporcionada respecto al consumo de oxígeno, señalando el inicio del tampón bicarbonato y el límite superior de la zona de baja intensidad [Zona 1], por su parte el $VT2$ es el punto en que la ventilación aumenta exponencialmente en respuesta a la acidosis metabólica progresiva, delimitando el inicio de la zona de alta intensidad [Zona 3] (S. Seiler, 2010). En este estudio ambos umbrales serán identificados a través del algoritmo propietario de Kubios HRV Scientific durante una prueba de campo incremental con registros de intervalos RR mediante la banda polar H10, expresándose en lpm (Latidos por minuto) y asociado a la velocidad de carrera (km/h) correspondiente a cada umbral.

2.2.5 Frecuencia Cardíaca en Reposo y Máxima (FCR Y FC MAX)

La FCR Se define como el número de latidos por minuto registrado en condiciones de reposo absoluto, medida durante diez minutos en decúbito supino tras el despertar antes de la primera sesión de evaluación. Constituye un indicador de la adaptación autonómica crónica al entrenamiento (Chicharro & Vaquero, 2022). La FC Max es el valor más alto de la frecuencia cardíaca alcanzada durante la prueba de campo incremental (Tanaka et al. 2001). Ambos valores

se expresan en lpm y son utilizados por el algoritmo Kubios HRV Scientific para el cálculo de la reserva de FC, variable central en la estimación de VT1, VT2 y VO₂max.

2.2.6 Velocidad Aeróbica Máxima (VAM)

La VAM se define como la velocidad mínima de carrera a la que se alcanza el VO₂max durante la prueba incremental, expresada en km/h. En este estudio será determinada como la velocidad de carrera correspondiente al estadio final completado en la prueba de campo incremental (Daniels, 1985).

2.2.7 Tiempo de Carrera en 10 Kilómetros

El tiempo de carrera en 10 km es el tiempo total, expresado en minutos y segundos, que cada participante tarda en completar 25 vueltas a una pista de atletismo de 400 metros en condiciones cronometradas y estandarizadas. Constituye la variable de rendimiento deportivo directamente vinculada al objetivo competitivo de las participantes y el indicador ecológicamente más válido del efecto global de la intervención. Se registrará en preprueba y posprueba en la misma pista de atletismo, hora del día y condiciones meteorológicas.

2.2.8 Distribución de la Intensidad del Entrenamiento (TID)

En este estudio, la TID se entiende como la proporción porcentual del tiempo de entrenamiento semanal que cada participante dedica a cada una de las 3 zonas de intensidad definidas por VT1 y VT2 (Zona 1 < VT1; Zona 2 VT1-VT2; Zona 3 > VT2). La TID se constituye la variable independiente del estudio y se manipula mediante la asignación de las participantes a uno de los dos modelos de distribución, el modelo POL o el modelo THR. El cumplimiento de la TID planificada será monitoreado semana a semana a través del registro de la frecuencia cardíaca durante las sesiones de entrenamiento con los relojes GPS y el sensor de frecuencia cardíaca a través de la plataforma Trainerplan.

2.2.9 Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (HRV) y Exponente DFA- α 1

En este estudio, la HRV es utilizada en dos roles operacionales distintos. El primero es como herramienta de estimación de los umbrales ventilatorios y del $\text{VO}_{2\text{max}}$ durante las pruebas de evaluación. Los intervalos RR registrados con la banda polar H10 son procesados por el algoritmo de Kubios HRV Scientific, que combina la frecuencia cardíaca instantánea relativa a la reserva de frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria estimada beat-to-beat y el exponente DFA- α 1 para identificar VT1 y VT2.

El exponente DFA- α 1 se operacionaliza en este estudio como uno de los tres componentes del índice continuó generado por Kubios HRV Scientific durante la prueba incremental, no como un método de estimación de umbrales independiente. Sino los puntos de cruce del índice combinado con los valores uno y dos de la escala propietaria, es decir, se incluyen lo puntos de cruce del DFA- α 1 aislado con 0.75 y 0.50 con el algoritmo propio de Kubios (2025).

2.3 Marco Teórico

El presente marco teórico establece las bases conceptuales, fisiológicas y metodológicas que sustentan esta investigación, orientada a evaluar los efectos de diferentes modelos de Distribución de la Intensidad del Entrenamiento (TID). Para comprender cómo la manipulación de las cargas de trabajo afecta el rendimiento deportivo, esta sección aborda, en primera instancia, los fundamentos fisiológicos del entrenamiento de resistencia y la categorización del esfuerzo mediante un sistema de tres zonas de intensidad anclado en los umbrales ventilatorios. Sobre esta fundamentación biológica, se analizan los principales paradigmas de planificación del entrenamiento, profundizando en el contraste directo entre el modelo POL y el modelo THR,

cuya comparación de efectos en mujeres corredoras recreativas constituye el núcleo central y el principal aporte científico de este estudio.

Adicionalmente, para garantizar la rigurosidad y viabilidad de la intervención en condiciones prácticas, este marco detalla el soporte tecnológico utilizado para la planificación y el control de las cargas. Se examina el uso de la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (HRV) y la validación del algoritmo de Kubios HRV Scientific como método preciso y no invasivo para la estimación de umbrales metabólicos. Finalmente, se describe la integración de estas métricas en la plataforma TrainerPlan, la cual asegura una asignación individualizada y un monitoreo estricto del cumplimiento de la intensidad sugerida para cada participante. En conjunto, estos apartados proporcionan el contexto científico y operativo necesario para comprender el diseño, la ejecución y el análisis de la presente investigación.

2.3.1 Fundamentos Fisiológicos del Entrenamiento de Resistencia

El rendimiento en los deportes de resistencia depende de la capacidad del organismo para sostener tasas elevadas de producción energética aeróbica durante periodos prolongados. Esta capacidad está determinada por la interacción de tres grandes factores fisiológicos, el consumo máximo de oxígeno, los umbrales ventilatorios y la economía de carrera (Barnes & Kilding, 2015; Coyle, 1995; Joyner & Coyle, 2008). El $\text{VO}_{2\text{max}}$ define el techo de la capacidad aeróbica máxima; los umbrales ventilatorios determinan la fracción de ese techo que el corredor puede sostener durante la competición y la economía de carrera define la eficiencia metabólica con que se convierte el oxígeno disponible en velocidad de desplazamiento (Bassett & Howley, 2000; Saunders et al. 2004). La mejora selectiva de estos tres factores a través del entrenamiento sistemático constituye el objetivo central de cualquier programa de preparación para pruebas de resistencia como los 10 kilómetros (Daniels, 2022).

Desde una perspectiva biológica, el entrenamiento de resistencia actúa como un estímulo perturbador del equilibrio homeostático que aplicado de forma repetida y progresiva, desencadena un conjunto de adaptaciones funcionales y estructurales orientadas a restablecer y superar el nivel basal de rendimiento, fenómeno conocido como súpercompensación (Selye, 2013; Zatsiorsky et al. 2020). Las principales adaptaciones incluyen el aumento del volumen sistólico y del gasto cardiaco máximo, la expansión del volumen plasmático, el incremento de la densidad mitocondrial y capilar del músculo esquelético, el aumento de la actividad de las enzimas oxidativas (citrato sintasa, β -hidroxiacil-CoA deshidrogenasa), el desplazamiento de los umbrales metabólicos hacia intensidades más altas y la mejora de la economía de movimiento (Coyle, 1995; Holloszy & Coyle, 1984; Joyner & Coyle, 2008). La magnitud y especificidad de estas adaptaciones depende de tres variables de programación fundamentales que son el volumen, la frecuencia y de manera determinante la intensidad del entrenamiento (Laursen, 2010; S. Seiler, 2010).

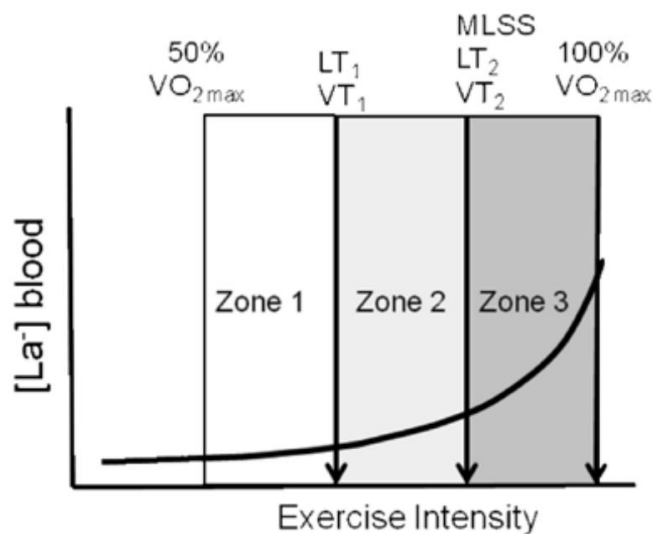
El control de la intensidad es el elemento más crítico de la planificación del entrenamiento de resistencia, dado que determina que vías energéticas, qué tipos de fibras musculares y qué señales moleculares se activan de manera preferencial en cada sesión (Jamnick et al. 2020). El ejercicio de baja o moderada intensidad activa predominantemente la vía AMPK-PGC-1 α , que regula la biogénesis mitocondrial y la oxidación de lípidos, mientras que el ejercicio de alta intensidad activa adicionalmente vías de señalización asociadas a las fibras de contracción rápida y a la capacidad glucolítica (Egan & Zierath, 2013; Hawley et al. 2014). Esta dualidad molecular explica por qué la combinación estratégica de diferentes intensidades produce adaptaciones más completas que la monotonía en una sola zona de trabajo (S. Seiler & Tønnessen, 2009).

2.3.2 Sistema de Zonas de Intensidad del Entrenamiento

La cuantificación de la intensidad del entrenamiento requiere un sistema de referencia que permita delimitar con precisión los dominios fisiológicos en que opera el corredor durante cada sesión. Aunque en la literatura científica coexiste modelos de tres, cinco y siete zonas, el modelo de tres zonas anclado en los umbrales ventilatorios es el estándar más utilizado en la investigación sobre TID por su solidez fisiológica, su independencia respecto a la modalidad de ejercicio y su facilidad de implementación tanto en el laboratorio como en campo (Jamnick et al. 2020; K. S. Seiler & Kjerland, 2006). Este modelo trifásico es el adoptado en el presente estudio para la planificación y el control de ambos modelos de intervención, ver Figura 3.

Figura 3.

Modelo trifásico de intensidad del ejercicio basado en los umbrales fisiológicos



Nota. Representación del modelo trifásico de intensidad del ejercicio basado en los umbrales fisiológicos, donde la Zona 1 se sitúa por debajo de VT_1 (baja intensidad), la Zona 2 entre VT_1 y

VT2 (intensidad moderada) y la Zona 3 por encima de VT2 (alta intensidad), en relación con el incremento del lactato sanguíneo y el porcentaje del VO₂máx. Adaptado de Seiler (2010).

La zona 1 o zona de baja intensidad comprende todas las intensidades del ejercicio por debajo del primer umbral ventilatorio (VT1), correspondiente aproximadamente a una concentración de lactato sanguíneo inferior a 2mmol/L. En esta zona predomina el metabolismo aeróbico lipídico, con reclutamiento preferente de fibras musculares tipo I, baja producción de catecolaminas y cortisol, mínimo estrés sobre el sistema nervioso autónomo, lo que permite tolerancias de volumen elevadas con recuperación eficiente entre sesiones (Kenney et al. 2024; K. S. Seiler & Kjerland, 2006). Las sesiones en zona 1 constituyen el estímulo central para las adaptaciones mitocondriales de base, la expansión del volumen plasmático y el desarrollo de la eficiencia metabólica aeróbica (Holloszy & Coyle, 1984).

La zona 2 o zona de intensidad moderada abarca las intensidades comprendidas entre VT1 y VT2, con concentraciones de lactato de aproximadamente 2 a 4 mmol/L. En este dominio el equilibrio entre producción y eliminación de lactato comienza a alterarse progresivamente, se reclutan fibras de tipo IIa y el estrés metabólico y autonómico se intensifica de manera sostenida (Beaver et al. 1986; S. Seiler, 2010). La zona 2 genera adaptaciones importantes, pero impone un costo de recuperación elevado que puede comprometer la calidad de las sesiones de alta intensidad cuando se utiliza en exceso, lo que explica el debate sobre su proporción óptima dentro de la TID total (Laursen, 2010; T. Stöggl & Sperlich, 2014).

La zona 3 o zona de alta intensidad corresponde a intensidades por encima VT2, con lactato superior a 4 mmol/L, se caracteriza por una respuesta cardiovascular, metabólica y neuroendocrina de alta magnitud, con predominio progresivo del metabolismo glucolítico y activación de fibras tipo IIx (Kenney et al. 2024; Wasserman et al. 1973). Las sesiones en zona

3 generan estímulos de alta potencia para la mejora del VO_2max , la VAM y la tolerancia a lactato, pero requieren períodos de recuperación prolongados y no pueden acumularse en grandes volúmenes sin riesgo de sobreentrenamiento (Billat et al. 1999; Laursen, 2010). La interacción entre las 3 zonas y la proporción de tiempo invertida en cada una definen el perfil de distribución de la intensidad del corredor (K. S. Seiler & Kjerland, 2006).

2.3.3 Modelos de Distribución de la Intensidad del Entrenamiento (TID)

La distribución de la intensidad del entrenamiento (TID) hace referencia a la proporción relativa del volumen o del tiempo de entrenamiento que un corredor dedica a cada zona intensidad durante un período determinado (K. S. Seiler & Kjerland, 2006). Su estudio sistemático ha permitido identificar patrones recurrentes en atletas de distintos niveles y comparar sus efectos sobre los principales determinantes fisiológicos del rendimiento. En la literatura se han descrito principalmente cuatro modelos; el POL, el THR, el piramidal (PYR) y el de alto volumen y baja intensidad (HVLIT). Los dos primeros constituyen las condiciones de intervención de esta investigación, los últimos dos se escriben con fines exclusivamente comparativos.

2.3.4 Modelo de Entrenamiento Polarizado

El modelo de entrenamiento polarizado fue descrito sistemáticamente por Seiler & Kjerland (2006), a partir del análisis retrospectivo de los patrones de entrenamiento de atletas de élite en esquí de fondo, remo, ciclismo y atletismo de fondo. Su característica definitoria es una distribución bimodal de la intensidad, aproximadamente el 75-80% del volumen total se realiza en zona 1, el 15-20% en zona 3 y menos del 5% en zona 2 (S. Seiler, 2010; T. Stöggl & Sperlich, 2014). Esta configuración evita deliberadamente el trabajo sostenido en la zona moderada, generando una estructura entre los extremos de intensidad.

El fundamento fisiológico del modelo POL reside en la hipótesis de la incompatibilidad metabólica de la zona 2; el trabajo sostenido en intensidades moderadas genera niveles de estrés cardiovascular y autónomo que comprometen la recuperación y la calidad de las sesiones de alta intensidad, sin producir los estímulos de máxima potencia necesarios para las adaptaciones centrales de gran magnitud en el VO_2max (Laursen, 2010; S. Seiler, 2010). En contraste, la combinación de alto volumen en zona 1 que maximiza la biogénesis mitocondrial vía AMPK-PGC-1 α con sesiones de alta intensidad en zona 3 produciría adaptaciones más complejas y sostenibles a largo plazo (Egan & Zierath, 2013; Hawley et al. 2014).

La evidencia experimental sobre modelo POL proviene principalmente de estudios con atletas entrenados masculinos. Stöggl & Sperlich (2014) compraron cuatro modelos de TID durante 9 semanas en 48 ciclistas y corredores entrenados, encontrando que el modelo POL produjo las mayores mejoras en el VO_2max (+11.7%), potencia máxima (+8.1%) y tiempo hasta el agotamiento (+17.4%). Muñoz et al. (2014) demostraron en corredores recreativos que el modelo POL produjo mejoras significativamente mayores en el rendimiento en 10 kilómetros frente a un modelo de mayor proporción en zona 2 durante 10 semanas. El metaanálisis en red de Rosenblat et al. (2025) con 13 estudios y 348 participantes, evidenció que la superioridad del modelo POL no es universal y depende del nivel de entrenamiento previo y del modelo de cuantificación de la intensidad, con la advertencia del 15% de los participantes incluidos eran mujeres.

2.3.5 Modelo de Entrenamiento Umbral

El modelo de entrenamiento umbral concentra la mayor proporción del volumen en la zona 2, destinando aproximadamente el 50-60% del tiempo a intensidades entre VT1 y VT2, con menor presencia en las zonas externas (Esteve-Lanao et al. 2007; Muñoz et al. 2014). Este

perfil es el que adopta espontáneamente muchos corredores recreativos cuando entrenan en percepción subjetiva del esfuerzo y sin planificación estructurada (Stöggl & Sperlich, 2014).

El sustento fisiológico del modelo THR radica en la especificidad metabólica del estímulo, en corredoras recreativas de nivel moderado, la intensidad de carrera en pruebas de 10 km se sitúa típicamente entre VT1 y VT2, por lo que el entrenamiento sostenido en este dominio podría presentar un estímulo más específico para mejorar la tolerancia a lactato y la velocidad en el umbral (Esteve-Lanao et al. 2007; Muñoz et al. 2014). No obstante, el trabajo excesivo en zona 2 se ha asociado con mayor fatiga autonómica acumulada y disminución de la HRV en atletas con volúmenes elevados, aunque este efecto es menos pronunciado en corredores recreativos con volúmenes semanales moderados de 40 a 60 km por semana (Casado et al. 2021; S. Seiler, 2010). La comparación entre los efectos del modelo THR y el modelo POL en mujeres corredoras recreativas en el contexto en que la evidencia científica es prácticamente inexistente y constituye el objetivo central de esta investigación.

2.3.6 Otros Modelos de TID: Referencia Comparativa

El modelo piramidal (PYR) presenta una distribución decreciente (Zona 1 > Zona 2 > Zona 3), Con mayor presencia de trabajo moderado que el modelo POL, pero inferior al THR. Es frecuente en fases de preparación general y ha sido documentado en triatletas y corredores de medio fondo (T. Stöggl & Sperlich, 2014; Zinner et al. 2018). El modelo de alto volumen y baja intensidad (HVLT), descrito por Casado et al. (2021) en el contexto del maratón de élite keniano, enfatiza grandes volúmenes de 150 a 180 km por semana casi exclusivamente en zona 1, con sesiones de intervalos guiados por lactato como único componente de alta intensidad. Dado que ninguno de estos modelos constituye una condición de intervención en el presente estudio, su descripción tiene un propósito exclusivamente comparativo.

2.3.7 Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (HRV) y Estimación de Umbrales Ventilatorios

La variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV) es la fluctuación en el intervalo de tiempo entre latidos cardíacos consecutivos (intervalos RR), e indica el balance dinámico entre los componentes simpático y parasimpático del sistema nervioso autónomo sobre el nódulo sinoarticular. Una mayor HRV refleja predominio del tono parasimpático, mayor capacidad adaptativa y mejor estado de recuperación; una HRV reducida se asocia con fatiga acumulada y riesgo de sobreentrenamiento (Electrophysiology, 1996; Plews et al. 2013). En el entrenamiento de resistencia, la HRV es utilizada tanto para el monitoreo de la carga interna como para la estimación de los dominios de intensidad del ejercicio (Borresen & Lambert, 2009; Karapetian et al. 2008).

El análisis de la HRV puede realizarse en el dominio del tiempo (RMSSD, SDNN), en el dominio de la frecuencia (potencia en bandas LF y HF) y mediante índices no lineales (entropía aproximada DFA). Los parámetros de mayor utilidad práctica para el monitoreo del entrenamiento son la RMSSD y la potencia en la banda de alta frecuencia (HF), dado su alta reproducibilidad y sensibilidad a los cambios en la carga de entrenamiento y el estado de recuperación del sistema nervioso autónomo (Electrophysiology, 1996; Plews et al. 2013; Shaffer & Ginsberg, 2017).

El índice no lineal DFA- $\alpha 1$ (Detrended Fluctuation Analysis, exponente de escala a corto plazo) ha adquirido especial relevancia como biomarcador de la intensidad del ejercicio. El DFA- $\alpha 1$ cuantifica las propiedades de correlación fractal de la serie de intervalos RR en el rango de 4 a 16 latidos; en reposo su valor es próximo a 1.0 y disminuye progresivamente durante el ejercicio incremental hasta por aproximarse a 0.5 al superar el umbral anaeróbico (Gronwald et al. 2020; Rogers et al. 2021). Rogers et al. (2021) demostraron que los puntos de cruce de

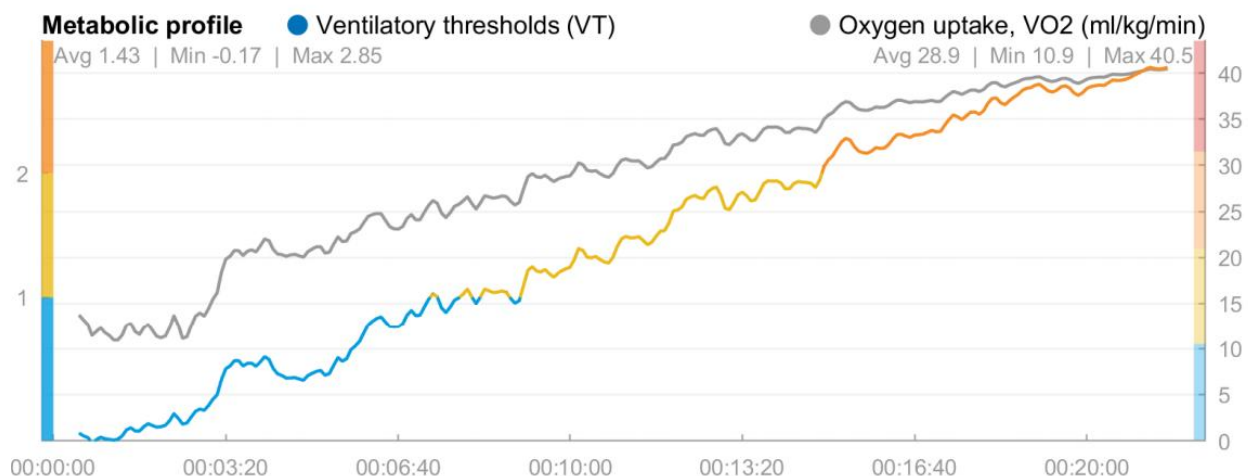
DFA- α 1 con los valores de referencia 0.75 y 0.50 coinciden sistemáticamente con VT1 y VT2 determinados por ergoespirometría, abriendo la posibilidad de estimar los umbrales ventilatorios sin análisis de gases respiratorios. Rogers & Gronwald (2022) propusieron su uso como biomarcador de intensidad para la planificación del entrenamiento en campo, sentando la base para su integración en herramientas computacionales como Kubios HRB Scientific.

2.3.8 Kubios HRV Scientific: Algoritmo de Estimación de Umbrales

Kubios HRV Scientific (Kubios Oy, Kuopio, Finlandia), desarrollado por la Universidad del Este de Finlandia, incorpora un algoritmo propietario de estimación automática de VT1 y VT2 a partir de los datos de HRV registrados con pulsómetro de precisión (banda polar H10), sin requerir análisis de gases respiratorios ni ergoespirometría directa (Tarvainen et al. 2014). A diferencia del modelo que utiliza únicamente los puntos de corte fijos del DFA- α 1 (0.75 para VT1 y 0.50 para VT2), El algoritmo propietario de Kubios combina 3 señales simultáneas durante la prueba incremental; la frecuencia cardíaca instantánea expresada en relación con la reserva de frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria estimada automáticamente a partir de la modulación de los intervalos RR beat-to-beat y el exponente DFA- α 1, (ver Figura 4). La fusión de estas 3 señales genera un índice continuo en escala 0-3, dónde el cruce el valor 1 identifica VT1 y el cruce del valor dos identifica VT2 (Eronen et al. 2024; Kubios, 2025).

Figura 4.

Perfil metabólico identificado mediante Kubios HRV



Nota. Perfil metabólico obtenido mediante el software Kubios HRV durante una prueba incremental, que muestra la evolución del consumo de oxígeno (VO₂) y la identificación de los umbrales ventilatorios (VT) en función del tiempo. Se observa un incremento progresivo del VO₂ a medida que aumenta la carga del ejercicio, así como la localización de los puntos de transición fisiológica asociados a VT1 y VT2.

Este enfoque multivariante supera el modelo DFA- α 1 aislado, especialmente en la detección de VT1 (Eronen et al. 2024). La validación del algoritmo se realizó con datos de 230 individuos en prueba máxima en cicloergonómetro, demostrando una precisión de -1.2 ± 10.7 lpm para VT1 y -1.0 ± 6.7 lpm para VT2 frente a la ergoespirometría convencional (Kubios, 2025). Schaffarczyk et al. (2023) reportaron coeficientes de correlación intraclase de ICC = 0.77 para VT1 y ICC = 0.87 VT2 en una validación específica en mujeres, Confirmando la aplicabilidad del algoritmo en población femenina. Eronen et al. (2024) encontraron errores significativamente menores para el algoritmo propietario frente al DFA- α 1 solo (-0.15 ± 0.28

l/min VS -0.34 ± 0.41 l/min para VT1), Lo que respalda su elección como método de referencia en este estudio. Desde el punto de vista práctico, su carácter no invasivo, su bajo costo y su reproducibilidad en condiciones de campo lo convierten en una alternativa rigurosa y accesible a la ergoespirometría directa para poblaciones recreativas en contextos con recursos limitados de laboratorio.

2.3.9 TrainerPlan como Herramienta de Planificación y Seguimiento de los Planes de Entrenamiento

La implementación de los modelos de distribución de la intensidad del entrenamiento (TID) en contextos de investigación en poblaciones recreativas no solo requiere una planificación fisiológicamente fundamental de las cargas, sino también una plataforma tecnológica que permita entregar los planes de entrenamiento de forma individualizada, verificar su cumplimiento en tiempo real y ajustar las cargas según la respuesta adaptativa en cada participante. En este estudio, estas funciones serán cubiertas por TrainerPlan Labs. (2024) una plataforma digital de gestión del entrenamiento orientada a entrenadores y deportistas de resistencia que integra la planificación de sesiones, el análisis de la carga de entrenamiento y la sincronización automática con dispositivos de registro fisiológico.

Descripción Funcional de la Plataforma. Trainerplan es una plataforma de software disponible en versión web y aplicación móvil (IOS y Android) que permite el entrenador diseñar, programar y distribuir sesiones de entrenamiento estructuradas a deportistas individuales o grupales, con actualización en tiempo real de los calendarios de entrenamiento. Sus funciones principales incluyen la creación de sesiones de entrenamiento con estructura de intervalos y múltiples pasos de intensidad, la asignación de planes estáticos o dinámicos a deportistas individuales o colectivos, el seguimiento de métricas de rendimiento y carga a través de informes detallados y la sincronización bidireccional de datos de actividad con dispositivos y plataformas externas como Garmin, Polar, Suunto, Apple, y Strava (TrainerPlan Labs. 2024).

Una de sus características de mayor relevancia para el presente estudio es la posibilidad de percibir las intensidades de cada sesión mediante 3 sistemas de referencia simultáneos; zonas de frecuencia cardíaca, zonas de ritmo de carrera (pace), zonas de potencia, todos ellos configurables a partir de los valores individuales de umbral de cada participante. En este estudio, las zonas de frecuencia cardíaca derivadas de VT1 y VT2 estimadas mediante Kubios HRV Scientific serán cargadas en la plataforma para cada corredora de este modo que las sesiones de entrenamiento queden diseñadas en rangos de frecuencia cardíaca y ritmos específicos que delimiten con precisión el trabajo de zona 1, zona 2 y zona 3 según el modelo de TID asignado a cada grupo.

La función de planes dinámicos de TrainerPlan es especialmente relevante para el diseño cuasiexperimental de esta investigación, ya que permite aplicar modificaciones al plan de entrenamiento de un grupo completo de manera simultánea, manteniendo la coherencia de las cargas entre las participantes asignadas a un mismo modelo de TID. Al mismo tiempo, posibilita realizar ajustes individuales sin alterar la estructura del plan grupal base. Esta capacidad resulta

esencial para preservar el control de la variable independiente (TID) a lo largo de las 12 semanas de intervención, garantizando que cada corredora reciba el perfil de distribución de carga adecuado para su grupo.

3. Marco Metodológico

El presente estudio se inscribe en el paradigma empírico-analítico, también denominado positivista o postpositivista. Desde sus fundamentos epistemológicos, Bunge (2014) establece que este paradigma concibe la realidad como objetiva, externa al investigador y susceptible de ser conocida mediante la observación sistemática, la medición controlada y la verificación empírica de hipótesis. Para Bunge, el conocimiento científico válido es aquel que puede ser contrastado con la realidad mediante procedimientos rigurosos, reproducibles y libres de sesgos subjetivos, principios que orientan la totalidad del diseño metodológico del presente estudio.

La adopción de este paradigma es coherente con el propósito central del estudio, que busca establecer relaciones de causalidad entre una variable independiente manipulable *el modelo de distribución de la intensidad del entrenamiento* y un conjunto de variables dependientes fisiológicas y de rendimiento, cuantificadas mediante instrumentos validados en condiciones estandarizadas (Bunge, 2014). El paradigma empírico-analítico constituye, en consecuencia, el fundamento epistemológico que orienta todas las decisiones metodológicas subsecuentes del presente proyecto de grado.

3.1 Enfoque

Se adopta un enfoque cuantitativo. Desde una perspectiva epistemológica, Bunge (2014) sostiene que la ciencia fáctica opera mediante la observación sistemática, la medición controlada y la verificación empírica de hipótesis, principios que fundamentan toda investigación de carácter cuantitativo. En esta misma línea, Bryman (2016) define el enfoque cuantitativo como una estrategia de investigación que enfatiza la cuantificación en la recolección y el análisis de datos, orientada a la prueba de teorías mediante el establecimiento de relaciones causales entre variables medibles. Por su parte, Johnson & Christensen (2020) precisan que este enfoque se

caracteriza por la operacionalización de variables en indicadores numéricos, el uso de instrumentos estandarizados de recolección de datos y la aplicación de procedimientos estadísticos inferenciales para la contrastación de hipótesis.

El enfoque cuantitativo es pertinente para el presente estudio dado que las variables de interés $Vo_{2m\acute{a}x}$ estimado, umbrales ventilatorios VT1 y VT2, frecuencia cardíaca, velocidad aeróbica máxima y tiempo de carrera en 10 kilómetros se expresan en unidades de medida precisas (ml/km/min, lpm, km/h, minutos y segundos), son recogidas mediante instrumentos objetivos de medición validados, y se analizan a través de procedimientos estadísticos inferenciales para contrastar las hipótesis planteadas (Bryman, 2016; Johnson & Christensen, 2020). Este enfoque permite además cuantificar la magnitud de los efectos observados mediante estimadores del tamaño del efecto, y producir conclusiones replicables y generalizables dentro de los límites de la muestra estudiada, en coherencia con el ideal científico de objetividad y verificabilidad postulado por Bunge (2014).

3.2 Tipo

El estudio adopta un diseño cuasiexperimental con grupo control y grupo experimental, asignación aleatoria intergrupar, preprueba-posprueba y procedimiento de enmascaramiento doble ciego.

Johnson & Christensen (2020) definen el diseño cuasiexperimental como aquel en el que el investigador manipula deliberadamente una variable independiente para examinar su efecto sobre una o más variables dependientes, pero sin contar con asignación aleatoria completa desde la población general, lo que lo distingue del experimento verdadero sin comprometer necesariamente su validez interna cuando se aplican controles metodológicos adecuados. En el mismo sentido, Bryman (2016) señala que este tipo de diseño es ampliamente utilizado en las

ciencias sociales y del comportamiento cuando las condiciones del contexto no permiten la aleatorización poblacional, pero sí la manipulación controlada de la variable independiente. Desde una perspectiva más técnica, Ato et al. (2013) y Maciejewski (2020) precisan que los diseños cuasiexperimentales con preprueba-posprueba y grupo control constituyen una de las estrategias de mayor rigor dentro de la investigación aplicada en ciencias del ejercicio, al permitir la estimación del efecto neto de una intervención mediante comparaciones intragrupalas e intergrupales.

En el presente estudio, la muestra fue captada por conveniencia a través de una convocatoria abierta en el programa *Corre en mi Pueblo*; no obstante, una vez conformada, la distribución entre las condiciones de tratamiento se realizó mediante aleatorización, lo que distingue este diseño del experimento puro únicamente por el origen de la muestra, sin comprometer el control de variables (Ato et al. 2013; Maciejewski, 2020).

La asignación aleatoria intergrupar permitió distribuir probabilísticamente las 16 participantes entre el grupo de entrenamiento POL y el grupo de entrenamiento THR, una vez verificado el cumplimiento de los criterios de inclusión. Este procedimiento tiene como propósito controlar los efectos de confusión asociados a variables individuales previas como la condición física inicial o la experiencia de entrenamiento, en coherencia con el principio de objetividad metodológica postulado por Bunge (2014).

El procedimiento de doble ciego garantizó que ni las participantes ni el investigador responsable de la administración de las pruebas de evaluación conocieran la condición de entrenamiento asignada durante el período de intervención. De acuerdo con Schulz et al. (2010) y Moher et al. (2012), el enmascaramiento reduce el riesgo de sesgo de detección y de

comportamiento diferencial asociado al conocimiento del tratamiento, y representa un estándar de rigor en el reporte de ensayos controlados.

El esquema preprueba-posprueba contempla mediciones en dos momentos temporales: antes y después del período de intervención. Según Johnson & Christensen (2020) , este esquema permite estimar el cambio producido por la intervención al disponer de una línea de base individual para cada participante, lo que fortalece la validez interna del diseño frente a esquemas de medición única. Este estándar es ampliamente aplicado en investigación sobre entrenamiento de resistencia que evalúa VO₂máx, umbrales ventilatorios y rendimiento en carrera (Ato et al. 2013; Maciejewski, 2020).

La intervención tiene una duración total de 12 semanas, estructuradas en dos fases: cuatro semanas de entrenamiento estandarizado de adaptación, orientadas a homogeneizar la condición física inicial y reducir la variabilidad interindividual de la línea de base; y ocho semanas de intervención diferenciada según el modelo de distribución de la intensidad asignado (POL o THR), período considerado suficiente para inducir adaptaciones fisiológicas medibles en corredores recreativos (Rosenblat et al. 2025; Stöggl & Sperlich, 2014).

3.3 Alcance

El estudio tiene un alcance explicativo. Bunge (2014) establece que la explicación científica constituye el nivel más alto del conocimiento empírico, en tanto no se limita a describir fenómenos ni a establecer asociaciones entre variables, sino que busca determinar las causas de los hechos observados y las condiciones bajo las cuales se producen, respondiendo a la pregunta de por qué ocurre un fenómeno. En concordancia, Bryman, (2016) señala que los estudios explicativos en el marco del paradigma cuantitativo buscan identificar relaciones causales entre variables mediante el control sistemático de factores de confusión, siendo el diseño experimental

y cuasiexperimental el más apropiado para este propósito. Johnson & Christensen (2020) complementan esta perspectiva al precisar que el alcance explicativo se operacionaliza en aquellos diseños en los que el investigador manipula deliberadamente una variable independiente y mide su efecto sobre variables dependientes, bajo condiciones de control que permiten atribuir causalmente los cambios observados a la intervención realizada.

En el presente proyecto, el diseño cuasiexperimental con manipulación intencionada de la variable independiente el modelo de distribución de la intensidad del entrenamiento (POL o THR) y medición controlada de las variables dependientes antes y después de la intervención permite establecer relaciones de causalidad entre el tipo de TID aplicado y las adaptaciones fisiológicas y de rendimiento observadas en las participantes (Bryman, 2016; Bunge, 2014; Johnson & Christensen, 2020). Este alcance es coherente tanto con la pregunta de investigación como con las hipótesis planteadas, que postulan una relación direccional y cuantificable entre el modelo de entrenamiento y la magnitud de las adaptaciones producidas en corredoras recreativas de 10 kilómetros.

3.4 Muestra

Inicialmente, 35 mujeres manifestaron interés en participar en el estudio y fueron sometidas al proceso de selección. Tras la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión, así como la verificación de disponibilidad para completar el protocolo de intervención, 22 participantes cumplieron los requisitos establecidos y fueron asignadas aleatoriamente a los grupos de entrenamiento polarizado (POL; $n = 11$) y umbral (THR; $n = 11$). Finalmente, la muestra final para el análisis de datos quedó constituida por 16 mujeres, distribuidas equitativamente en dos grupos de 8 participantes. Esta reducción se debió a la aplicación de los criterios de exclusión durante el seguimiento, entre los cuales se exigió haber cumplido con al

menos el 85% de las sesiones planificadas para garantizar las adaptaciones centrales y periféricas. En consecuencia, todos los análisis estadísticos fueron realizados con base en las 16 participantes que completaron las evaluaciones preprueba y posprueba.

A continuación, se describe de manera detallada la población que hará parte de la investigación, con esto se permite reconocer tanto sus características morfológicas como los requisitos para conformar el grupo muestral.

- Conformada por 16 mujeres corredoras recreativas con edades entre 27 y 37 años de la ciudad de Bogotá y municipio de Soacha, que voluntariamente acepten la participación del proceso de investigación y firme de manera adecuada el consentimiento informado.
- Las participantes se vincularán a partir de una convocatoria realizada en redes sociales mediante un programa de masificación denominado *corre en mi pueblo* que realiza el club proyecto running.
- La selección de la muestra se hará a través del sistema de distribución doble ciego que permitirá la conformación de grupo control y grupo experimental donde los investigadores y las participantes no sabrán en qué grupo quedan distribuidos hasta terminado el estudio (National Institute on Aging, 2024).

3.4.1 Caracterización de la Muestra

Las características antropométricas iniciales de las participantes se presentan en la Tabla 6. La edad media del grupo experimental (POL) fue de 34.37 ± 3.57 años, mientras que en el grupo control (THR) fue de 32.84 ± 2.63 años. De forma similar, la masa corporal promedio fue de 58.34 ± 6.09 kg en el grupo experimental y 59.83 ± 7.14 kg en el grupo control. No se observaron diferencias relevantes entre los grupos en las variables basales.

Tabla 6.

Valores de características antropométricas de los participantes

Variables	Grupo Control (THR)	Grupo Experimental (POL)
Edad (años)	32.84 ± 2.63	34.37 ± 3.57
Talla (cm)	158.50 ± 4.52	158.13 ± 4.23
Peso corporal (kg)	59.83 ± 7.14	58.34 ± 6.09
IMC	23.92 ± 2.66	23.39 ± 2.91

Nota. Valores expresados como media y desviación estándar ($\pm$). Elaboración propia, basada en datos recopilados.

3.4.2 Criterios de Inclusión y Exclusión

Tabla 7.

Criterios para selección de la muestra

Inclusión	Exclusión
Diligenciar adecuadamente el consentimiento informado y la política pública tratamiento de datos personales en los días establecidos antes de iniciar la investigación.	Haber presentado lesiones de orden osteomusculares o ligamentarias en los últimos 3 meses.
Edades entre los 27 y 37 años	La población no debe participar en otros programas de entrenamiento o acondicionamiento físico.
Contar con un reloj de tecnología global position system (GPS).	
Contar con indumentaria deportiva adecuada para la práctica del running	
Disponibilidad para el desarrollo de las pruebas y de los entrenamientos.	

Nota. Elaboración propia

Las participantes que durante el periodo de intervención no alcanzaron una adherencia mínima del 85 % de las sesiones programadas no se tuvieron en cuenta en los análisis finales, ya que una exposición insuficiente al estímulo de entrenamiento dificulta la adecuada interpretación de los efectos de la intervención.

3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información

Se seleccionaron instrumentos validados para la medición de variables fisiológicas, de rendimiento y de control del entrenamiento, garantizando precisión y fiabilidad en la recolección de los datos. Estos instrumentos permitieron evaluar indicadores clave como la variabilidad de la frecuencia cardíaca, los umbrales ventilatorios, el rendimiento en 10 km y el estado cardiovascular previo al ejercicio, asegurando coherencia con los objetivos del estudio.

Tabla 8.

Instrumentos y fiabilidad

Instrumento	Variable de medida	Características psicométricas	Referencia de validación
Monitor de FC Polar H10 (Polar Electro Oy, Finlandia)	Intervalos RR, FC, HRV (DFA- α 1)	$r > 0.99$ vs ECG; ICC > 0.93 en ejercicio incremental; calidad señal RR 99.4% a alta intensidad	(Gilgen-Ammann et al. 2019; Schaffarczyk et al. 2022)
Software Kubios HRV Scientific v4.0 (Kubios Oy / Univ. Finlandia del Este)	VT1, VT2, Vo2máx estimado, VAM y frecuencia respiratoria	Sesgo VT-algorithm: VT1 = -0.15 ± 0.28 l/min; VT2 = 0.01 ± 0.20 l/min. ICC mujeres: VT1=0.77; VT2=0.84	(Eronen et al. 2024; Schaffarczyk et al. 2023)
Plataforma de programación de los planes de entrenamiento: Trainerplan	Planificación y seguimiento semanal de planes de entrenamiento; registro de ritmo por sesión	Software comercial validado para planificación por zonas de ritmo. Opera bajo estándares GDPR.	(TrainerPlan Labs. 2024)
Cronómetro Onstart 500	Tiempo de carrera en 10 km; distancia verificada	Precisión 1/100 seg.	(World Athletics, s. f.)
Cuestionario PAR-Q+ (CSEP, versión 2022)	Riesgo cardiovascular previo al ejercicio (criterio de inclusión/exclusión)	Sensibilidad = 0.90; Especificidad = 1.00; Fiabilidad test-retest $r = 0.99$	(Warburton et al. 2011)

Nota. Instrumentos utilizados en el estudio para la medición de variables fisiológicas y de rendimiento, con evidencia de validez y fiabilidad reportada en la literatura. Incluyen monitor de frecuencia cardíaca, software de análisis HRV, plataforma de entrenamiento, cronómetro y cuestionario de tamizaje cardiovascular.

3.5.1 Operacionalización de las Variables

A través de la operacionalización de variables es posible entender la definición conceptual y transcendental de las variables incluidas en el estudio, así como sus dimensiones, indicadores e instrumentos de medición. Esta organización permite establecer una relación clara entre los objetivos de la investigación y los procedimientos de recolección de datos, garantizando coherencia metodológica y precisión en el análisis de los resultados.

Es importante aclarar que la variable primaria del estudio fue el tiempo de carrera en 10 kilómetros, debido a que constituye el principal indicador de rendimiento deportivo en corredoras recreativas. Las variables fisiológicas (VO_2 max estimado, FCR, VT1, VT2 y VAM) fueron consideradas variables secundarias, ya que permiten explicar los mecanismos fisiológicos asociados a los cambios observados en el rendimiento.

Tabla 9.

Operacionalización de las Variables

Variable	Tipo de variable	Descripción de la variable	Como se mide	Instrumento
Plan de entrenamiento	Independiente	Modelo organizado y detallado para la distribución de las cargas de entrenamiento	Volumen e intensidad	Plataforma Trainerplan
Antropometría	Dependiente	Es la medición del cuerpo en dimensiones del hueso, musculo y tejido adiposo	Edad, peso, talla, IMC, %graso y %magro.	Tallímetro de pared enrollado- Seca ref.: 206 con rango de medición de 2.2 mts y precisión de 0.1cm. Balanza Omron HBF-514C 8 electrodos y precisión de 0.1kg.
Frecuencia Cardíaca	Dependiente	Número de contracciones del miocardio por unidad de tiempo.	Medición de latidos por minuto en reposo y durante la prueba incremental	Pulsómetro polar H10 (Bande de pecho) para la prueba incremental.
HRV	Dependiente	Variación en el tiempo (medido en milisegundos) entre	Medición de la variación entre intervalos R-R	Pulsómetro polar H10 (Bande de pecho) para la prueba incremental.

latidos cardiacos consecutivos.				
VO ₂ max	Dependiente	Es la cantidad máxima de oxígeno que un individuo puede utilizar durante el ejercicio	Se realiza una prueba de esfuerzo incremental en cinta de correr, donde la intensidad del ejercicio aumenta progresivamente (Velocidad) hasta alcanzar la máxima capacidad.	Software Kubios HRV Scientific.
VT1 y VT2	Dependiente	Umbral ventilatorio que permiten identificar la transición del metabolismo aeróbico o anaeróbico.	Ubicación de fc instantánea en relación con la reserva de fc, la fc respiratoria estimada a partir de los datos beat-to-beat de variabilidad de la fc y el exponente DFA-α1.	Pulsómetro polar H10 (Bande de pecho) con medición de intervalos R-R Software Kubios HRV Scientific.
VAM	Dependiente	Es la velocidad a la que se alcanza el VO ₂ max, se mide en kilómetros por hora (km/h).	Se realiza la prueba al medir la velocidad en km/h conseguida al momento de alcanzar el VO ₂ max	Cinta de correr con tablero de datos
Tiempo de 10km	Dependiente	Tiempo utilizado por las corredoras en el desarrollo de la prueba 10km en una pista atlética	Tiempo empleado en los 10km por cada corredora durante la prueba en grupos de 10 personas	Cronometro ONstart 500 con una precisión de 1/100 seg. Pista de atletismo de 400 metros
Polarizado (POL)	Independiente	Modelo de distribución de la intensidad del entrenamiento en el que la mayor parte del trabajo se realiza en zona 1 y zona 3	Zona 1: 80% Zona 2: 5% Zona 3: 15%	Plataforma Trainerplan
Umbral (THR)	Independiente	Modelo de distribución de la intensidad del entrenamiento en la que se hace énfasis la zona 2	Zona 1: 40% Zona 2: 50% Zona 3: 20%	Plataforma Trainerplan

Nota. VO₂max: consumo máximo de oxígeno; VAM: velocidad aeróbica máxima; VT1 y VT2: umbrales ventilatorios; FC: frecuencia cardiaca; HRV: variabilidad de la frecuencia cardiaca; IMC: índice de masa corporal; R-R: intervalos entre latidos; DFA-α1: exponente de fluctuación sin tendencia; POL: entrenamiento polarizado; THR: entrenamiento por umbral. Las mediciones se realizaron mediante prueba incremental y equipos validados en ciencias del deporte.

3.5.2 Protocolos

A continuación, se describen los protocolos de evaluación implementados en el estudio, estableciendo las condiciones previas, los procedimientos de aplicación y los criterios de finalización de cada prueba, con el fin de garantizar la estandarización de las mediciones en ambos momentos de evaluación.

Preparación para la Prueba de Umbrales Ventilatorios, $VO_2\text{max}$, VAM y FCR. Se hacen recomendaciones a las practicantes, antes durante y después de la prueba incremental en cinta que permitan favorecer la recolección de datos y la recuperación física.

Descripción General de la Prueba Umbrales Ventilatorios, $VO_2\text{max}$, VAM y FCR.

La prueba para la determinación de la frecuencia cardíaca de reposo (FCR), los umbrales ventilatorios (VT1 y VT2), el $VO_2\text{máx}$ estimado y la VAM se realizó en las instalaciones del Spinning Center Gym Salitre, Bogotá, mediante un protocolo incremental en cinta de correr. Este tipo de protocolo fue seleccionado debido a que permite incrementar progresivamente la demanda fisiológica hasta alcanzar intensidades cercanas al esfuerzo máximo, favoreciendo la estimación de variables determinantes para el rendimiento aeróbico y la planificación del entrenamiento en corredores de resistencia. La elección de etapas de tres minutos se fundamenta en la evidencia reportada por Rogers et al. (2021), quienes señalan que esta duración favorece la estabilización de variables fisiológicas como la frecuencia cardíaca, la ventilación y el consumo de oxígeno, permitiendo una identificación más precisa de los umbrales fisiológicos y una mejor caracterización de la respuesta metabólica al ejercicio.

Previo al inicio de la prueba, cada participante realizó un registro de frecuencia cardíaca de reposo durante diez minutos en decúbito supino utilizando una banda Polar H10. Posteriormente, se efectuó un calentamiento estandarizado de tres minutos caminando a 4 km/h.

El protocolo incremental inició a una velocidad de 6.5 km/h con incrementos de 1 km/h cada tres minutos hasta alcanzar el agotamiento voluntario o los criterios de finalización establecidos (Rogers et al. 2021). Durante toda la prueba se registraron de forma continua los datos fisiológicos mediante el sensor Polar H10 sincronizado con la aplicación Kubios HRV Scientific. Posteriormente, el algoritmo propietario del software estimó automáticamente los valores individuales de VT1, VT2, VO₂máx y VAM. Debido a que estas variables constituyen indicadores fundamentales de la capacidad aeróbica, la tolerancia al esfuerzo y el rendimiento en pruebas de resistencia, los valores obtenidos fueron utilizados como línea de base fisiológica y como referencia para la planificación individualizada de las zonas de intensidad en los programas de entrenamiento asignados a cada participante.

Recomendaciones Para el Desarrollo de la Prueba Incremental en Cinta. El cumplimiento de las instrucciones previas a la evaluación es determinante para garantizar la validez y reproducibilidad de los datos obtenidos. Variables como el estado de hidratación, el descanso nocturno, la ingesta de cafeína y el nivel de fatiga acumulada influyen directamente sobre la frecuencia cardíaca de reposo, la variabilidad de la frecuencia cardíaca y la respuesta cardiovascular durante el esfuerzo incremental, lo que puede alterar la identificación de los umbrales ventilatorios y la estimación del VO₂máx. Por esta razón, todas las participantes recibieron por escrito y con antelación las siguientes indicaciones.

Tabla 10.

Recomendaciones para el desarrollo de la prueba incremental en cinta

Instrucciones previas (48 horas)	Instrucciones para el día de la prueba
✓ Evitar ejercicio intenso, consumo de alcohol y cafeína.	✓ Ropa deportiva y calzado adecuado.

✓ Mantener una alimentación sana y saludable.	✓ Haber ingerido el desayuno máximo 1 hora antes de la prueba.
✓ Dormir al menos 7 horas la noche anterior.	
✓ Mantener una buena hidratación.	✓ Diligenciamiento y firma del consentimiento informado.

Nota. Elaboración propia

Una vez verificado el cumplimiento de las instrucciones previas, el evaluador ejecutó la siguiente secuencia estandarizada de pasos para el desarrollo de la prueba incremental en cinta.

Tabla 11.

Desarrollo de la prueba incremental en cinta

1. Socializar con la participante la descripción general de la prueba para evitar errores en la recolección de datos.	5. Orientar la movilidad articular en orden accedente durante 5 minutos
2. Instalar, humedecer y ajustar la banda polar H10	6. La participante debe subir a la trotadora e iniciar caminando a 4 Km/h y con una inclinación del 1% durante 3 minutos (comenzar el registro en la app Kubios)
3. Verificar conexión a la aplicación Kubios HRV	7. Al cabo de 3 minutos aumentar la velocidad de la trotadora en 1 Km/h (la trotadora debe permanecer al 1% de inclinación)
4. Recostar a la participante en una colchoneta de cubito supino durante 10 minutos y luego medir la frecuencia cardíaca de reposo.	8. Continuar incrementando 1 Km/h la velocidad cada 3 minutos hasta conseguir el VO ₂ max o hasta que la participante decida detener la prueba. (Realizar actividad de recuperación post-prueba)

Nota. Secuencia de aplicación de la prueba incremental en cinta, que incluye la preparación de la participante, instalación de dispositivos, medición de la frecuencia cardíaca en reposo y el incremento progresivo de la velocidad cada 3 minutos hasta alcanzar el VO₂max o la finalización de la prueba.

Preparación para la Prueba de 10 Kilómetros. Al igual que en la evaluación fisiológica, la estandarización de las condiciones previas a la prueba de 10K es fundamental para garantizar que el tiempo registrado refleje el rendimiento real de cada participante y no variables externas como la fatiga acumulada, la deshidratación o una nutrición inadecuada. Las siguientes instrucciones fueron entregadas por escrito a cada participante con 48 horas de anticipación.

Tabla 12.

Recomendaciones para el desarrollo de la prueba de 10K en pista

Instrucciones previas (48 horas)	Instrucciones para el día de la prueba
✓ Evitar el ejercicio intenso, el consumo de alcohol y cafeína. ✓ Mantener una buena hidratación. ✓ Dormir al menos 7 horas la noche anterior a la prueba.	✓ Haber ingerido el desayuno mínimo 1 hora antes de la prueba ✓ Llegar con 30 minutos de anticipación a la prueba ✓ Diligenciamiento y firma del consentimiento informado

Nota. Elaboración propia

Descripción General de la Prueba de 10 Kilómetros:

Inicio:

- Cada participante deberá realizar 25 vueltas a la pista de 400 m manteniendo un esfuerzo constante y controlado, de tal manera que se pueda determinar el tiempo empleado en recorrer los 10 km.
- Se sitúa a las participantes en la línea de salida de los 10 km.
- La señal de salida será a dos voces cuando se dice “listos” las participantes se acercan a la línea de salida y la señal será “fuera” en ese momento ellas podrán empezar a correr y ubicarse según su ritmo en el primer carril para garantizar los 400 metros en cada vuelta. Se realiza un cronometraje manual desde la señal de salida.

Finalización:

- La prueba termina al completar las 25 vueltas en la pista de atletismo.
- Se registran los tiempos finales, oficiales del juez y se realiza revisión de la frecuencia cardíaca máxima.

Recuperación:

- Carrera suave por 10 minutos después de la prueba.
- Hidratación adecuada.
- trabajo de elongación muscular con cada participante.

Responsables:

- Coordinador de prueba: Angie Moreno.
- Cronometrista: Dumar Gómez, Sofía Alfonso.
- Personal médico o primeros auxilios: Angie Moreno.
- Juez de pista: Jhon Freddy Moreno.

Materiales y Equipos:

- Pista de atletismo de 400 metros.
- Dos cronómetros de 10 registros.
- Cada participante deberá llevar su reloj GPS con monitor cardíaco.
- Botiquín de primeros auxilios.
- Planilla de registro de datos.

Desarrollo de la Prueba 10K en Pista Atlética. Una vez reunidas las participantes en la Pista Atlética de Servitá y verificado el cumplimiento de las instrucciones previas, el evaluador ejecutó la siguiente secuencia para el desarrollo estandarizado de la prueba.

Tabla 13.*Desarrollo de la prueba de 10K en pista atlética*

1. Socializar con las participantes la descripción general de la prueba para evitar errores en la recolección de datos. (número de vueltas, rol de los jueces)	5. Contar las vueltas a cada participante por medio de una planilla para evitar confusiones.
2. Dirigir la movilidad articular en orden ascendente durante 10 minutos	6. Avisar a las participantes de manera individual cuando falte una vuelta para finalizar su prueba.
3. Orientar el calentamiento, sugerir una carrera a baja intensidad durante 10 minutos con una frecuencia cardíaca no mayor a 150 latidos por minuto.	7. Anotar en planilla el tiempo empleado por cada participante en su prueba de 10k
4. Ubicar a las participantes en la línea de salida, preparar cronómetros y planillas.	8. Realizar actividad de recuperación para las participantes

Nota. Secuencia de aplicación de la prueba de 10 km, que contempla la organización previa, calentamiento, control de vueltas y tiempos durante la ejecución, así como la recuperación de las participantes al finalizar la prueba.

3.5.3 Convocatoria

La vinculación de las participantes se realizó mediante una convocatoria pública abierta a través del programa comunitario de masificación del running *Corre en mi Pueblo*, desarrollado por el Club Proyecto Running en los municipios de Bogotá y Soacha, Colombia. La difusión se llevó a cabo por canales digitales por medio de publicaciones en redes sociales oficiales y mensajes directos a las integrantes de los grupos activos; además por comunicación presencial durante los entrenamientos. La convocatoria especificó los criterios de participación (mujeres de 27 a 37 años, con práctica regular de running, disponibilidad para pruebas y entrenamientos durante 12 semanas), sin revelar la naturaleza comparativa del estudio ni los modelos de

entrenamiento a evaluar, con el propósito de evitar sesgos de selección motivados por preferencias previas sobre un modelo TID específico. Las interesadas recibieron una sesión informativa grupal en la que se presentaron el propósito general del estudio, los procedimientos de evaluación, los derechos de las participantes y el proceso de consentimiento informado, siguiendo los lineamientos de la Resolución 008430 del Ministerio de Salud (1993), y la Declaración de Helsinki (Asociación Médica Mundial, 2024). La firma del consentimiento informado se verificó antes del inicio de cualquier procedimiento de evaluación. Aquellas participantes que cumplieron los criterios de inclusión y firmaron el consentimiento fueron asignadas aleatoriamente a uno de los dos grupos de intervención POL o THR mediante un sistema de distribución doble ciego, de acuerdo con el procedimiento descrito en el apartado de diseño.

3.5.4 Lugar de Desarrollo del Estudio

El estudio se llevó a cabo en dos escenarios deportivos de la ciudad de Bogotá, Colombia, seleccionados por su disponibilidad, accesibilidad para las participantes y condiciones apropiadas para la estandarización de los procedimientos de evaluación.

Las pruebas de estimación del $Vo_{2m\acute{a}x}$, determinación de los umbrales ventilatorios VT1 y VT2 y la VAM mediante protocolo incremental se realizaron en las instalaciones del Spinning Center Gym Salitre, ubicado en la localidad de Fontibón, ciudad de Bogotá. Este escenario cuenta con cinta de correr con tablero de datos de velocidad, espacio cerrado con condiciones ambientales controladas y acceso restringido durante las sesiones de evaluación, lo que permitió garantizar la privacidad de cada participante y minimizar las fuentes de distracción durante la prueba. La localización del gimnasio en el sector del Salitre ofrece fácil acceso desde distintas

zonas de Bogotá y Soacha mediante transporte público y vehículo particular, lo que facilitó la asistencia puntual de las participantes a ambas mediciones.

La evaluación del tiempo de carrera en 10 kilómetros se llevó a cabo en la pista atlética de Servita, instalación deportiva de uso público ubicada en la ciudad de Bogotá, con fácil acceso desde el occidente y el centro de la ciudad. La pista cuenta con superficie de carbonilla reglamentaria de 400 metros y condiciones de seguridad adecuadas para la realización de pruebas cronometradas. Se mantuvo la misma pista, el mismo carril de referencia y el mismo horario del día, en las mediciones preprueba y posprueba, con el fin de garantizar condiciones comparables entre ambas evaluaciones.

Las sesiones de entrenamiento correspondientes a las 12 semanas de intervención tanto la fase de adaptación estandarizada como la fase de distribución diferenciada según el modelo TID asignado POL o THR fueron realizadas de manera autónoma por cada participante en el escenario de su preferencia, ya fuera en el entorno cercano a su lugar de residencia o en cualquier otro espacio que le resultara accesible y seguro para la práctica del running, como parques, vías peatonales, ciclovías o pistas de uso libre disponibles en Bogotá y Soacha.

Este modelo de entrenamiento autónomo no requirió la presencia física del equipo investigador durante las sesiones, dado que el control y seguimiento de la carga se realizó de forma remota a través de la plataforma TrainerPlan. Cada participante ejecutó las sesiones sugeridas con su reloj GPS personal, cuyos datos fueron sincronizados automáticamente con la plataforma al finalizar cada entrenamiento, permitiendo al investigador principal verificar el cumplimiento del plan, el tiempo en cada zona de intensidad y ritmo registrado, sin necesidad de supervisión presencial.

Esta modalidad de entrenamiento a distancia, monitoreada mediante tecnología wearable y plataformas digitales de gestión del entrenamiento, es coherente con el perfil de las participantes como corredoras recreativas autónomas y con las condiciones reales de la práctica deportiva no federada en el contexto colombiano. Asimismo, refuerza la validez ecológica del estudio al reproducir fielmente las condiciones habituales de entrenamiento de esta población, tal como ha sido documentado en investigaciones análogas sobre TID en corredores recreativos (Bonato et al. 2026; Muñoz et al. 2014).

3.5.5 Control de Sesgos

El diseño metodológico del estudio incorporó un conjunto de procedimientos sistemáticos para controlar las principales fuentes de sesgo identificadas en estudios cuasiexperimentales sobre distribución de la intensidad del entrenamiento, siguiendo las recomendaciones de Schulz et al. (2010), Moher et al. (2012) y Rosenblat et al. (2025).

Las participantes desconocían la denominación y las características específicas del modelo de distribución de la intensidad asignado. Ambos grupos recibieron sus sesiones mediante la plataforma TrainerPlan bajo la misma estructura de comunicación, frecuencia semanal y seguimiento, evitando informar cuál correspondía al modelo polarizado o al modelo umbral. Con el fin de reforzar el cegamiento, un entrenador externo al equipo de investigación fue el encargado de codificar a las participantes y asignar los entrenamientos en la plataforma. Este profesional realizó la programación siguiendo estrictamente los planes de entrenamiento y los modelos previamente diseñados y proporcionados por los investigadores, sin participar en la recolección, análisis o interpretación de los datos. De esta manera se buscó minimizar expectativas o conductas que pudieran influir sobre los resultados del estudio.

Sesgo de Selección. La asignación de las participantes a los grupos POL y THR se realizó mediante aleatorización intergrupar por bloques de dos, una vez verificado el cumplimiento de todos los criterios de inclusión y obtenido el consentimiento informado. Este procedimiento garantizó la distribución probabilística de variables de confusión individuales como la condición física inicial, la experiencia de entrenamiento previa y las características antropométricas entre los dos grupos, reduciendo la probabilidad de diferencias sistemáticas en la línea de base (Ato et al. 2013; Maciejewski, 2020). La homogeneidad intergrupar fue verificada estadísticamente mediante la comparación de las medias de las variables dependientes en el momento de preprueba (C1).

Sesgo de Detección. Se implementó un procedimiento de enmascaramiento doble ciego durante las doce semanas de intervención diferenciada. Las participantes no conocieron el modelo TID asignado a su grupo: los planes de entrenamiento fueron entregados a través de la plataforma TrainerPlan con denominaciones neutras como grupo 1 y grupo 2 sin descripción de la distribución de intensidad ni de la estructura de zonas correspondiente. El investigador responsable de la administración de las pruebas de evaluación tampoco conoció la asignación grupal de cada participante durante las mediciones, lo que eliminó el riesgo de sesgo de observador en el registro de los datos fisiológicos y de rendimiento (Moher et al. 2012; Schulz et al. 2010).

Sesgo de Información. Todas las evaluaciones fueron realizadas por el mismo equipo investigador Angie Moreno y Dumar Gómez en preprueba y posprueba, bajo el mismo protocolo estandarizado, en el mismo horario y en las mismas instalaciones. El software Kubios HRV Scientific procesó automáticamente los registros de intervalos RR con los mismos parámetros de

análisis en ambas mediciones, eliminando la variabilidad operacional en el procesamiento de los datos.

Sesgo de Maduración. La implementación de cuatro semanas de entrenamiento estandarizado de adaptación previas al inicio de la intervención diferenciada tuvo como propósito homogeneizar la condición física inicial de las participantes y estabilizar la respuesta fisiológica al entrenamiento, reduciendo el efecto de mejoras espontáneas por adaptación al contexto de entrenamiento supervisado no atribuibles al modelo TID (Rosenblat et al. 2025; Stöggl & Sperlich, 2014)

Sesgo de Contaminación. Para prevenir el intercambio de información entre participantes de grupos diferentes sobre la estructura de los planes de entrenamiento, se instruyó explícitamente a todas las participantes sobre la importancia de no compartir detalles de sus sesiones con otras corredoras del programa durante el período de intervención. La diversidad de horarios de entrenamiento entre grupos contribuyó adicionalmente a reducir la probabilidad de contaminación entre condiciones.

3.5.6 Estrategia de Adherencia.

La adherencia al plan de entrenamiento sugerido constituye una variable crítica en estudios de intervención sobre TID, dado que el incumplimiento sistemático de la distribución de intensidad por parte de las participantes comprometería la validez interna del estudio al diluir las diferencias entre modelos (Muñoz et al. 2014; Rosenblat et al. 2025). En el presente estudio se implementaron las siguientes estrategias para maximizar y verificar la adherencia de las participantes a lo largo de las 12 semanas de intervención.

Seguimiento Tecnológico Automatizado. Cada sesión de entrenamiento fue registrada automáticamente mediante el reloj GPS personal de cada participante (con sensor de FC integrado), sincronizado con la plataforma TrainerPlan a través de Polar Flow o Garmin Connect según el dispositivo de cada corredora. Este registro permitió al equipo investigador verificar semanalmente el porcentaje de tiempo dedicado a cada zona de intensidad (Z1, Z2, Z3) durante cada sesión y el cumplimiento del volumen sugerido en kilómetros o minutos.

Comunicación Periódica Estructurada. El investigador principal realizó una revisión semanal de los datos de entrenamiento registrados en TrainerPlan y proporcionó retroalimentación individual a cada participante mediante mensajería directa en plataforma, señalando si la distribución de la semana se ajustaba al plan sugerido y orientando ajustes puntuales cuando se detectaban desviaciones. Esta comunicación se realizó sin revelar la condición de tratamiento asignada, manteniendo el enmascaramiento doble ciego.

Criterio de Inclusión por Adherencia. Se estableció como criterio de permanencia en el estudio el cumplimiento de al menos el 85% de las sesiones de entrenamiento programadas por semana. Las participantes que no cumplieron este umbral en dos semanas consecutivas fueron notificadas y se identificaron las causas del incumplimiento para implementar medidas de corrección. Las participantes que, por causas de fuerza mayor, no pudieron completar el 85% del total de sesiones previstas en las ocho semanas de intervención diferenciada fueron excluidas del análisis final, siguiendo los principios de análisis por protocolo para preservar la integridad de la comparación entre modelos.

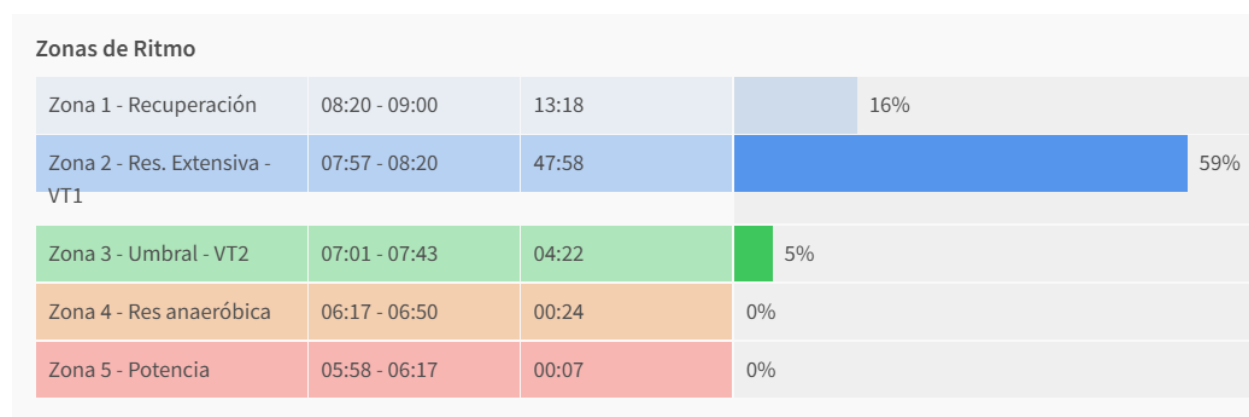
Estrategias Motivacionales. Para facilitar la adherencia sin comprometer el enmascaramiento, se implementaron las siguientes acciones de apoyo:

- Reuniones grupales quincenales de manera virtual donde se abordaron aspectos generales del proceso de entrenamiento y se resolvieron dudas técnicas sin revelar los modelos TID específicos.
- Envío de recordatorios automatizados de sesión a través de la plataforma TrainerPlan con 12 horas de anticipación.
- Disponibilidad permanente del equipo investigador para atender reportes de molestias físicas, ajustes por imprevistos o preguntas sobre la ejecución de los entrenamientos.

Verificación de la Distribución Real. Al finalizar las ocho semanas de intervención diferenciada, se realizó un análisis retrospectivo de la distribución real del tiempo por zonas de cada participante a partir de los registros de ritmo almacenados en TrainerPlan (Figura 5), con el fin de confirmar que la distribución efectivamente ejecutada se correspondía con el modelo TID sugerido (POL: 80% Z1, 5% Z2, 15% Z3 y THR: 40% Z1, 50% Z2, 10% Z3). Este análisis permitió verificar la fidelidad de la manipulación de la variable independiente y reportar la distribución real como dato de contexto en la sección de resultados.

Figura 5.

Análisis de la distribución de la intensidad en una sesión de entrenamiento



Nota. Distribución del tiempo en zonas de intensidad del entrenamiento generada por la plataforma TrainerPlan Labs. (2024), organizada en un modelo de cinco zonas y analizada bajo el enfoque trifásico de los umbrales ventilatorios (VT1 y VT2). Se evidencia mayor tiempo en intensidades por debajo de VT1, con menor participación en zonas cercanas y superiores a VT2.

3.6 Técnicas de Análisis de la Información

El análisis de la información se estructurará en cuatro niveles secuenciales: estadística descriptiva, verificación de supuestos, estadística inferencial y estimación del tamaño del efecto, siguiendo recomendaciones metodológicas para estudios cuasiexperimentales con diseño preprueba-posprueba en ciencias del deporte. En primer lugar, se empleará la estadística descriptiva para caracterizar la muestra y resumir el comportamiento de las variables dependientes. Posteriormente, se verificará el supuesto de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, con el fin de orientar la selección de las pruebas inferenciales. En función de estos resultados, se aplicará la prueba t de Student para muestras independientes en variables que cumplan normalidad, y la prueba U de Mann-Whitney en aquellas que no lo hagan, estableciendo comparaciones intergrupales tanto en la medición inicial como en la final. Adicionalmente, se estimará el tamaño del efecto para cada contraste, mediante la d de Cohen en pruebas paramétricas y el coeficiente r en pruebas no paramétricas, con el propósito de valorar la magnitud práctica de las diferencias observadas. Todo el procesamiento estadístico se llevará a cabo utilizando el software JASP.

3.7 Fases y Cronograma de la Investigación

El estudio se estructuró en ocho fases secuenciales que abarcaron desde la convocatoria hasta la evaluación final de las participantes. La Figura 8 ilustra el orden lógico de las fases y su distribución a lo largo del proceso investigativo.

3.7.1 Fase 1: Convocatoria en Redes Sociales

La vinculación de las participantes se realizó mediante una convocatoria pública abierta a través de las redes sociales oficiales del programa *Corre mi Pueblo* del Club Proyecto Running, con publicaciones dirigidas a mujeres corredoras recreativas de 27 a 37 años residentes en Bogotá y Soacha.

3.7.2 Fase 2: Filtro de Participantes

Las mujeres interesadas en participar vivieron un proceso de filtro que incluyó la aplicación del cuestionario PAR-Q+ de Warburton et al. (2019), para la valoración del riesgo cardiovascular previo al ejercicio y la verificación del cumplimiento de todos los criterios de inclusión y exclusión definidos en el protocolo del estudio: rango de edad (27-37 años), práctica regular de running, disponibilidad de reloj GPS con sensor de FC y ausencia de lesiones osteomusculares en los tres meses previos. Las participantes que no cumplieron alguno de los criterios establecidos fueron descartadas en esta fase, antes de iniciar cualquier procedimiento de evaluación.

3.7.3 Fase 3: Reunión y Firma del Consentimiento Informado

Las participantes que superaron el filtro de selección asistieron a una sesión informativa grupal en la que el equipo investigador presentó de forma detallada los objetivos generales del estudio, los procedimientos de evaluación, el cronograma de participación, los posibles riesgos y los beneficios esperados, así como los derechos de las participantes a retirarse en cualquier momento sin consecuencias sobre su entrenamiento. Al finalizar la sesión, cada participante firmó el consentimiento informado de manera voluntaria, en cumplimiento de los principios establecidos en la Resolución 008430 del Ministerio de Salud de Colombia (1993) y la Declaración de Helsinki (Asociación Médica Mundial, 2024).

3.7.4 Fase 4: Test Incremental en Cinta: Control 1 (Preprueba C1)

Se realizó la primera evaluación fisiológica de cada participante en las instalaciones del Spinning Center Gym Salitre, Bogotá. El protocolo incluyó la toma de medidas antropométricas (edad, talla, masa corporal e IMC), el registro de la frecuencia cardíaca de reposo en decúbito supino durante diez minutos con la banda Polar H10, y la prueba de campo incremental en cinta de correr con incrementos de 1 km/h cada tres minutos desde 4 km/h hasta el agotamiento voluntario con registro continuo de intervalos RR mediante la banda Polar H10 y procesamiento en tiempo real con el software Kubios HRV Scientific v4.0. A partir de este protocolo se determinaron los valores individuales de VT1, VT2, Vo2máx estimado y VAM de cada participante, que constituyeron la línea de base fisiológica del estudio y los anclajes para la planificación individualizada de las zonas de intensidad en los planes de entrenamiento.

3.7.5 Fase 5: Test de 10 km: Control 1 (Preprueba C1)

Después de la evaluación fisiológica en cinta, y con al menos 48 horas de recuperación, cada participante realizó la prueba de tiempo de carrera en 10 kilómetros en la pista atlética de Servitá, Bogotá. Las participantes completaron 25 vueltas a la pista de 400 metros a ritmo autogestionado y constante, con cronometraje manual mediante cronómetros ONstart 500 a cargo del equipo investigador. El tiempo final registrado constituyó la medición de referencia de la variable de rendimiento deportivo del estudio.

3.7.6 Fase 6: Ejecución de los Planes de Entrenamiento

El programa de entrenamiento tuvo una duración total de 12 semanas, estructuradas en dos etapas cronológicas. La primera etapa consistió en cuatro semanas de entrenamiento estandarizado de adaptación, las cuales se llevaron a cabo antes del primer control de variables (C1). Esta fase tuvo como objetivo homogeneizar la condición física inicial de la muestra y

familiarizar a las participantes con la plataforma TrainerPlan. Durante estas cuatro semanas, todas siguieron una distribución de intensidad de tipo piramidal (50% en zona 1, 40% en zona 2 y 10% en zona 3) basada en el modelo de Seiler & Tønnessen (2009), planificada mediante zonas estimadas de frecuencia cardíaca y con un volumen controlado de 15 kilómetros semanales.

Finalizada esta fase de estandarización y tras haber ejecutado las pruebas del Control 1 (Fases 4 y 5), se procedió a la individualización de las zonas de entrenamiento. Para ello, se utilizaron los valores reales de VT1 y VT2 obtenidos en la prueba incremental mediante Kubios HRV Scientific, estableciendo tres zonas fisiológicas exactas para cada corredora: Zona 1 (por debajo de VT1), Zona 2 (entre VT1 y VT2) y Zona 3 (por encima de VT2). Esta metodología fue seleccionada debido a que los umbrales ventilatorios representan puntos de inflexión metabólica individuales, permitiendo una planificación mucho más precisa que los métodos basados exclusivamente en porcentajes teóricos de frecuencia cardíaca o velocidad máxima.

Con las zonas de intensidad correctamente individualizadas, se realizó la asignación aleatoria intergrupar doble ciego y se activaron los planes de entrenamiento codificados POL y THR en la plataforma TrainerPlan, dando inicio formal a la segunda etapa: las ocho semanas de intervención diferenciada correspondientes a la presente fase.

La planificación y el control de las zonas 1 y 2 se realizaron mediante frecuencia cardíaca, utilizando los valores correspondientes a los umbrales fisiológicos identificados para cada participante. En contraste, la zona 3 fue sugerida y monitorizada a partir de ritmos de carrera individualizados derivados de la prueba incremental, debido a la cinética retardada de la respuesta cardíaca durante esfuerzos de alta intensidad. Esta limitación de la frecuencia cardíaca dificulta su utilización para controlar intervalos cortos o cambios rápidos de intensidad, por lo

que el uso de ritmos permitió una regulación más precisa de las cargas realizadas por encima de VT2.

La cuantificación de la carga se realizó mediante el tiempo acumulado en cada zona de intensidad y el volumen semanal total de entrenamiento, registrados a través de los sensores de frecuencia cardíaca Polar H10 y los relojes Garmin utilizados por todas las participantes durante el estudio. Además de la carga de entrenamiento, se monitorizó de manera continua la intensidad del ejercicio, aspecto fundamental de la presente investigación, mediante el seguimiento en tiempo real de la frecuencia cardíaca y su correspondencia con las zonas individualizadas establecidas a partir de los umbrales ventilatorios.

Los relojes Garmin estaban sincronizados con la plataforma TrainerPlan, lo que permitió configurar alertas sonoras personalizadas para cada participante cuando su frecuencia cardíaca se encontraba por encima o por debajo de los límites establecidos para la zona de entrenamiento sugerida. Esta funcionalidad facilitó el control en tiempo real de la intensidad y ayudó a las participantes a mantenerse dentro de los rangos correspondientes a cada sesión. Posteriormente, los registros fueron revisados por los investigadores para verificar el cumplimiento de la intensidad sugerida y la distribución planificada del tiempo en cada zona de entrenamiento.

Este procedimiento permitió verificar tanto la carga acumulada como el cumplimiento de las distribuciones de intensidad previstas para cada modelo, asegurando que las diferencias entre grupos estuvieran determinadas principalmente por la distribución de la intensidad del entrenamiento y no por variaciones sustanciales en el volumen total de entrenamiento. Luego de las semanas de homogeneización, las participantes realizaron ocho semanas de distribución diferenciada de la intensidad según el modelo asignado en la aleatorización. Cada participante ejecutó sus sesiones de manera autónoma en el escenario de su preferencia, sin requerir presencia

física del equipo investigador, dado que el control y seguimiento de la carga se realizó de forma remota a través de la plataforma TrainerPlan mediante la sincronización automática de los datos de ritmo y GPS de cada sesión.

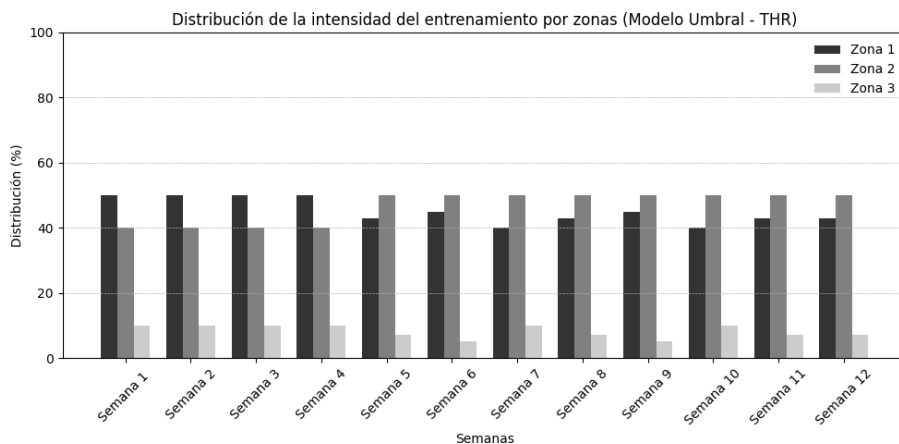
Las sesiones de entrenamiento se realizaron principalmente en recorridos urbanos de perfil predominantemente plano en Bogotá y Soacha. Se solicitó a las participantes evitar recorridos con pendientes pronunciadas durante las sesiones diseñadas, debido a que las variaciones del terreno pueden modificar la respuesta cardiovascular y dificultar el control de la intensidad mediante frecuencia cardíaca. Esta estandarización buscó minimizar fuentes externas de variabilidad y favorecer el cumplimiento de las zonas de entrenamiento establecidas para cada participante.

De manera transversal al programa principal de carrera, se planificó un plan complementario de entrenamiento de fuerza con enfoque en fuerza-resistencia, utilizando principalmente ejercicios con autocargas y ejercicios de estabilidad. Este componente tuvo como objetivo favorecer la adaptación musculoesquelética, mejorar la estabilidad corporal y contribuir a la prevención de lesiones. Las recomendaciones fueron iguales para ambos grupos con el fin de evitar que este componente actuara como un factor diferencial entre las intervenciones evaluadas.

El grupo THR distribuyó su entrenamiento con énfasis en la zona de intensidad moderada durante las ocho semanas diferenciadas, manteniendo aproximadamente el 50% del volumen en Zona 2 (entre VT1 y VT2), el 40% en Zona 1 (por debajo de VT1) y el 10% en Zona 3 (por encima de VT2). La Figura 6 ilustra la distribución porcentual semana a semana para este grupo a lo largo de las 12 semanas totales de intervención.

Figura 6.

Distribución del volumen semanal para THR

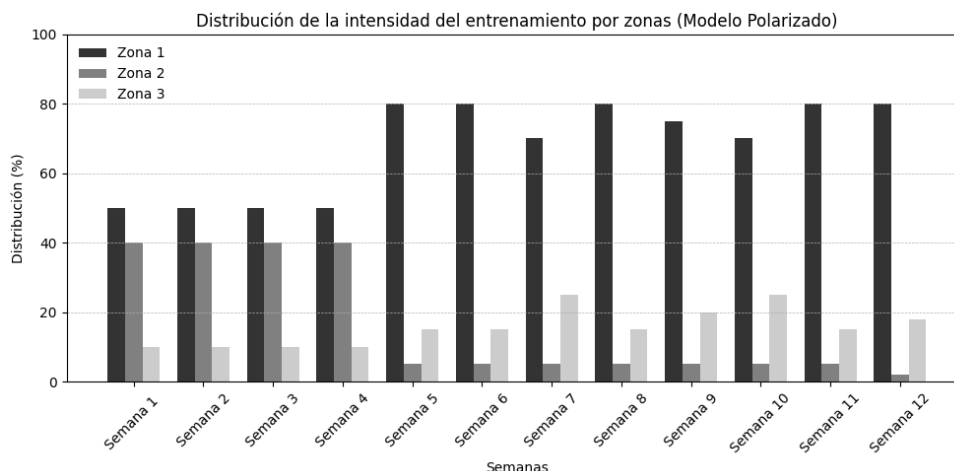


Nota. Distribución porcentual del volumen de entrenamiento semanal por zonas de intensidad (Zona 1: <VT1; Zona 2: VT1-VT2; Zona 3: >VT2) para el grupo THR a lo largo de las 12 semanas de intervención. Figura elaborada con inteligencia artificial generativa (OpenAI, 2026).

Por su parte, el grupo POL distribuyó su entrenamiento con énfasis en los extremos del espectro de intensidad durante las ocho semanas diferenciadas, manteniendo aproximadamente el 80% del volumen en Zona 1 (por debajo de VT1), el 5% en Zona 2 (entre VT1 y VT2) y el 15% en Zona 3 (por encima de VT2), minimizando deliberadamente el trabajo en intensidad moderada. La Figura 7 ilustra la distribución porcentual semana a semana para este grupo a lo largo de las 12 semanas totales de intervención.

Figura 7.

Distribución del volumen semanal para POL



Nota. Distribución porcentual del volumen de entrenamiento semanal por zonas de intensidad (Zona 1: <VT1; Zona 2: VT1-VT2; Zona 3: >VT2) para el grupo POL a lo largo de las 12 semanas de intervención. Las semanas 1 a 4 corresponden a la fase de adaptación común a ambos grupos. Figura elaborada con inteligencia artificial generativa (OpenAI, 2026).

3.7.7 Fase 7: Test incremental en Cinta: Control 2 (Posprueba C2)

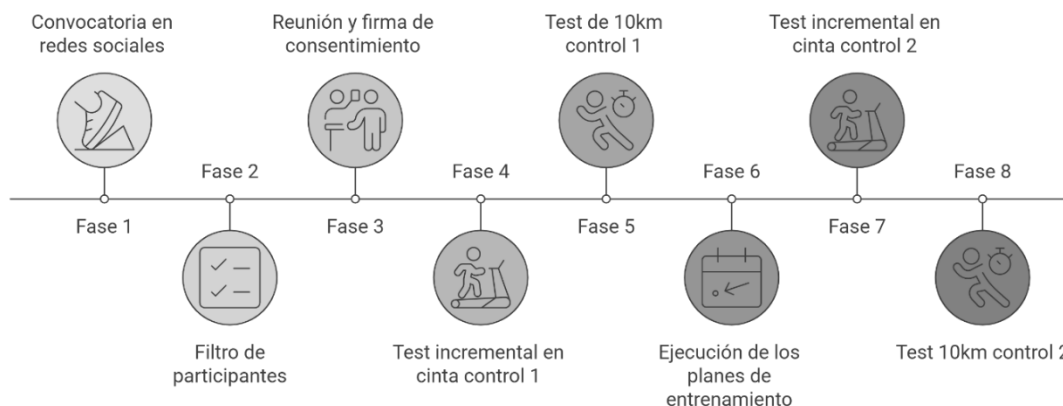
Al finalizar las doce semanas de intervención, se realizó la segunda evaluación fisiológica de cada participante bajo el mismo protocolo, los mismos instrumentos, el mismo escenario (Spinning Center Gym Salitre) y el mismo equipo evaluador de la Fase 4, con el propósito de garantizar la comparabilidad de las mediciones preprueba-posprueba. Se determinaron nuevamente los valores de VT1, VT2, Vo2máx estimado y VAM de cada participante, que constituyeron la medición post intervención de las variables fisiológicas del estudio.

3.7.8 Fase 8: Test de 10 km: Control 2 (Posprueba C2)

La evaluación final del rendimiento se realizó en la pista atlética de Servita, Bogotá, con el mismo protocolo, el mismo equipo Cronometrista y las mismas condiciones estandarizadas de la Fase 5. El tiempo final registrado en esta prueba constituyó la medición post intervención de la variable de rendimiento deportivo. Al concluir la prueba, se realizó la sesión de retroalimentación grupal con las participantes, en la que se comunicaron los resultados individuales, se reveló la condición de tratamiento asignada a cada grupo y se dio cierre formal al período de enmascaramiento doble ciego. En la Figura 8, se detalla cada una de las fases y el objetivo de desarrollo

Figura 8.

Fases de la investigación



Nota. Línea de tiempo del diseño metodológico del estudio en ocho fases. Elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial (Napkin AI, 2026).

3.7.9 Diseño Estadístico

El análisis estadístico se organizará en cuatro niveles secuenciales: Estadística descriptiva, verificación de supuestos, estadística inferencial y estimación del tamaño del efecto, siguiendo las recomendaciones metodológicas para estudios cuasiexperimentales con diseño preprueba y posprueba en ciencias del deporte.

4. Resultados

El presente capítulo expone los resultados obtenidos tras la aplicación del programa de entrenamiento basado en dos modelos de distribución de la intensidad: THR y POL. Inicialmente se presenta la prueba de normalidad a través de la cual se evidencia cuales variables tendrán un análisis inferencial paramétrico y cuales un análisis no paramétrico. Posteriormente, se reportan los resultados de los análisis inferenciales, mediante la prueba t de Student o mediante la prueba U de Mann-Whitney según corresponda. Los resultados se presentan considerando las mediciones preintervención (C1) y postintervención (C2) para las variables VO₂max, VAM, frecuencia cardíaca de reposo (FCR), VT1, VT2, y tiempo de carrera en 10 km, incluyendo los estadísticos descriptivos, los valores de contraste y los correspondientes tamaños del efecto.

4.1 Verificación del Supuesto de Normalidad

La Tabla 14 presenta la verificación del supuesto de normalidad de las variables fisiológicas y de rendimiento evaluadas en el estudio mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Este análisis se realizó sobre los errores de las mediciones correspondientes a los momentos de preprueba (C1) y posprueba (C2) con el fin de determinar si la distribución de los datos cumple con el supuesto de normalidad requerido para la aplicación de pruebas paramétricas.

Tabla 14.

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para las variables del estudio

Variable	Momento	w	p
FCR (lpm)	C1	0.974	.899
FCR (lpm)	C2	0.934	.283
VT1 (km/h)	C1	0.942	.371
VT1 (km/h)	C2	0.959	.652
VT2 (km/h)	C1	0.962	.693
VT2 (km/h)	C2	0.970	.831
VAM (km/h)	C1	0.956	.585
VAM (km/h)	C2	0.975	.913
VO ₂ max (ml/kg/min)	C1	0.957	.612
VO ₂ max (ml/kg/min)	C2	0.977	.930

Tiempo 10 km (seg)	C1	0.882	.041
Tiempo 10 km (seg)	C2	0.840	.010

Nota. Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar el supuesto de normalidad. Valores de $p < .05$ indican desviación significativa respecto a una distribución normal.

4.2 Resultados para VO₂max Estimado

Con el propósito de analizar las diferencias intergrupales en el consumo máximo de oxígeno estimado (VO₂max) entre el modelo de distribución de intensidad THR y el modelo POL, se aplicó una prueba t de Student para muestras independientes. Este análisis se realizó tanto en la medición inicial (C1) como en la medición posterior a la intervención (C2). Los estadísticos descriptivos se presentan como media y desviación estándar ($M \pm DE$) para cada grupo.

Tabla 15.

Comparación intergrupar del VO₂max estimado entre los modelos de entrenamiento THR y POL

Momento	Grupo THR (n = 8) M $\pm$ DE	Grupo POL (n = 8) M $\pm$ DE	t	gl	p	d de Cohen
VO ₂ max (ml/kg/min) C1	37.23 $\pm$ 4.54	38.41 $\pm$ 2.93	0.615	14	.274	0.31
VO ₂ max (ml/kg/min) C2	37.96 $\pm$ 4.73	39.59 $\pm$ 3.92	0.754	14	.232	0.38

Nota. C1 = medición preintervención; C2 = medición postintervención. THR = modelo de distribución de intensidad umbral; POL = modelo polarizado. t = prueba t de Student para muestras independientes; gl = grados de libertad; d = tamaño del efecto de Cohen.

En la medición inicial (C1), el grupo POL presentó un VO₂max estimado de 38.41 ± 2.93 ml/kg/min, mientras que el grupo THR registró un valor de 37.23 ± 4.54 ml/kg/min. El contraste estadístico mediante la prueba t de Student para muestras independientes no evidenció

diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, $t = 0.615$, $p = .274$, con un tamaño del efecto pequeño ($d = 0.31$).

En la medición posterior a la intervención (C2), el grupo POL presentó un $\text{VO}_{2\text{max}}$ estimado de 39.59 ± 3.92 ml/kg/min, mientras que el grupo THR registró un valor de 37.96 ± 4.73 ml/kg/min. El análisis inferencial nuevamente no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, $t = 0.754$, $p = .232$, con un tamaño del efecto pequeño ($d = 0.38$).

4.3 Resultados para Velocidad Aeróbica Máxima (VAM)

Con el objetivo de comparar la VAM entre el grupo que siguió el modelo de distribución de la intensidad THR y el grupo POL, se aplicó una prueba t de Student para muestras independientes. Este análisis se realizó en la medición preintervención (C1) y en la medición postintervención (C2). Los valores descriptivos se presentan como media y desviación estándar ($M \pm DE$) para cada grupo.

Tabla 16.

Comparación intergrupala de la velocidad aeróbica máxima (VAM) entre los modelos THR y POL

Momento	Grupo THR (n = 8) M $\pm$ DE	Grupo POL (n = 8) M $\pm$ DE	t	gl	p	d de Cohen
VAM (km·h ⁻¹) C1	10.85 $\pm$ 1.36	11.21 $\pm$ 0.88	0.621	14	.272	0.31
VAM (km·h ⁻¹) C2	11.07 $\pm$ 1.41	11.56 $\pm$ 1.16	0.756	14	.231	0.38

Nota. C1 = medición preintervención; C2 = medición postintervención. THR = modelo de distribución de intensidad umbral; POL = modelo polarizado. t = prueba t de Student para muestras independientes; gl = grados de libertad; d = tamaño del efecto de Cohen.

En la medición preintervención (C1), el grupo POL presentó una velocidad aeróbica máxima de $11.21 \pm 0.88 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, mientras que el grupo THR registró un valor de $10.85 \pm 1.36 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. El contraste estadístico mediante la prueba *t* de Student para muestras independientes no evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, $t = 0.621$, $p = .272$, con un tamaño del efecto de $d = 0.31$.

En la medición postintervención (C2), el grupo POL presentó una VAM de $11.56 \pm 1.16 \text{ km/h}$, mientras que el grupo THR registró un valor de $11.07 \pm 1.41 \text{ km/h}$. El análisis inferencial tampoco mostró diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, $t = 0.756$, $p = .231$, con un tamaño del efecto de $d = 0.38$.

4.4 Resultados para Frecuencia Cardíaca de Reposo (FCR)

Con el propósito de comparar la frecuencia cardíaca de reposo (FCR) entre el grupo que siguió el modelo de distribución de la intensidad THR y el grupo POL, se aplicó una prueba *t* de Student para muestras independientes. El análisis se realizó en la medición preintervención (C1) y en la medición postintervención (C2). Los valores descriptivos se presentan como media y desviación estándar ($M \pm DE$) para cada grupo.

Tabla 17.

Comparación intergrupar de la frecuencia cardíaca de reposo (FCR) entre los modelos de entrenamiento THR y POL

Momento	Grupo THR (n = 8) M ± DE	Grupo POL (n = 8) M ± DE	<i>t</i>	<i>gl</i>	<i>p</i>	<i>d</i> de Cohen
FCR (lpm) C1	59.25 ± 4.89	61.13 ± 10.04	0.475	14	.679	0.24
FCR (lpm) C2	53.75 ± 5.18	55.88 ± 7.57	0.656	14	.739	0.33

Nota. C1 = medición preintervención; C2 = medición postintervención. THR = modelo de distribución de intensidad umbral; POL = modelo polarizado. t = prueba t de Student para muestras independientes; gl = grados de libertad; d = tamaño del efecto de Cohen.

En la medición preintervención (C1), el grupo POL presentó una frecuencia cardíaca de reposo de 61.13 ± 10.04 lpm, mientras que el grupo THR registró un valor de 59.25 ± 4.89 lpm. El análisis mediante la prueba t de Student para muestras independientes indicó que no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, $t = 0.475$, $p = .679$, con un tamaño del efecto de $d = 0.24$.

En la medición postintervención (C2), el grupo POL presentó una frecuencia cardíaca de reposo de 55.88 ± 7.57 lpm, mientras que el grupo THR registró un valor de 53.75 ± 5.18 lpm. El contraste estadístico tampoco evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, $t = 0.656$, $p = .739$, con un tamaño del efecto de $d = 0.33$.

4.5 Resultados para Umbral Ventilatorio 1 (VT1)

Con el propósito de comparar la velocidad asociada al primer umbral ventilatorio (VT1) entre el grupo que siguió el modelo de distribución de la intensidad THR y el grupo POL, se aplicó una prueba t de Student para muestras independientes. Este análisis se realizó en la medición preintervención (C1) y en la medición postintervención (C2). Los valores descriptivos se presentan como media y desviación estándar ($M \pm DE$) para cada grupo.

Tabla 18.

Comparación intergrupar de la velocidad en el umbral ventilatorio 1 (VT1) entre los modelos de entrenamiento THR y POL

Momento	Grupo THR (n = 8) M ± DE	Grupo POL (n = 8) M ± DE	t	gl	p	d de Cohen
VT1 (km·h ⁻¹) C1	7.30 ± 1.06	6.61 ± 0.71	-1.519	14	.925	-0.76
VT1 (km·h ⁻¹) C2	7.36 ± 0.84	7.30 ± 0.43	-0.188	14	.573	-0.09

Nota. C1 = medición preintervención; C2 = medición postintervención. THR = modelo de distribución de intensidad umbral; POL = modelo polarizado. t = prueba t de Student para muestras independientes; gl = grados de libertad; d = tamaño del efecto de Cohen.

En la medición preintervención (C1), el grupo POL presentó una velocidad en el primer umbral ventilatorio de 6.61 ± 0.71 km·h⁻¹, mientras que el grupo THR registró un valor de 7.30 ± 1.06 km·h⁻¹. El análisis mediante la prueba t de Student para muestras independientes indicó que no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, $t = -1.519$, $p = .925$, con un tamaño del efecto de $d = -0.76$.

En la medición postintervención (C2), el grupo POL presentó una velocidad de 7.30 ± 0.43 km·h⁻¹, mientras que el grupo THR registró 7.36 ± 0.84 km·h⁻¹. El contraste estadístico tampoco evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, $t = -0.188$, $p = .573$, con un tamaño del efecto de $d = -0.09$.

4.6 Resultados para Umbral Ventilatorio 2 (VT2)

Con el propósito de comparar la velocidad asociada al segundo umbral ventilatorio (VT2) entre el grupo que siguió el modelo de distribución de la intensidad THR y el grupo POL, se aplicó una prueba t de Student para muestras independientes. Este análisis se realizó en la

medición preintervención (C1) y en la medición postintervención (C2). Los valores descriptivos se presentan como media y desviación estándar ($M \pm DE$) para cada grupo.

Tabla 19.

Comparación intergrupar de la velocidad en el segundo umbral ventilatorio (VT2) entre los modelos de entrenamiento THR y POL

Momento	Grupo THR (n = 8) $M \pm DE$	Grupo POL (n = 8) $M \pm DE$	t	gl	p	d de Cohen
VT2 ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$) C1	9.41 ± 1.17	8.78 ± 1.02	-1.162	14	.868	-0.58
VT2 ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$) C2	9.80 ± 1.22	9.44 ± 1.05	-0.639	14	.733	-0.32

Nota. C1 = medición preintervención; C2 = medición postintervención. THR = modelo de distribución de intensidad umbral; POL = modelo polarizado. t = prueba t de Student para muestras independientes; gl = grados de libertad; d = tamaño del efecto de Cohen.

En la medición preintervención (C1), el grupo POL presentó una velocidad en el segundo umbral ventilatorio de $8.78 \pm 1.02 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, mientras que el grupo THR registró un valor de $9.41 \pm 1.17 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. El análisis mediante la prueba t de Student para muestras independientes indicó que no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, $t = -1.162$, $p = .868$, con un tamaño del efecto de $d = -0.58$.

En la medición postintervención (C2), el grupo POL presentó una velocidad de $9.44 \pm 1.05 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, mientras que el grupo THR registró $9.80 \pm 1.22 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. El contraste estadístico tampoco evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, $t = -0.639$, $p = .733$, con un tamaño del efecto de $d = -0.32$.

4.7 Resultados para Tiempo de Carrera en 10 Kilómetros

Con el propósito de comparar el tiempo de carrera en la prueba de 10 km entre los grupos de entrenamiento POL y THR, se aplicó la prueba U de Mann-Whitney para muestras

independientes, debido a que la variable no cumplió el supuesto de normalidad según la prueba de Shapiro-Wilk ($p < .05$). Los resultados descriptivos se presentan como mediana y rango intercuartílico (RIQ).

Tabla 20.

Comparación del tiempo de carrera en 10 km (segundos) entre los grupos de entrenamiento

Momento	Grupo POL (n = 8) Mediana [RIQ]	Grupo THR (n = 8) Mediana [RIQ]	U	p	r (biserial)
Tiempo 10 km (C1)	3780 [~620]	3845 [~670]	30.50	.916	.047
Tiempo 10 km (C2)	3570 [~450]	3700 [~520]	25.00	.505	.219

Nota. POL = modelo de distribución de intensidad polarizada; THR = modelo de distribución de intensidad basado en umbral; n = tamaño de la muestra; RIQ = rango intercuartílico; U = estadístico de la prueba U de Mann-Whitney; p = nivel de significación; r = tamaño del efecto biserial. Los valores se presentan como mediana [RIQ]. C1 y C2 corresponden a las dos condiciones de medición del tiempo en 10 km.

En la medición preintervención (C1), el grupo POL presentó una mediana de 3780 s [RIQ $\approx$ 620], mientras que el grupo THR registró una mediana de 3845 s [RIQ $\approx$ 670]. El análisis mediante la prueba U de Mann-Whitney indicó que no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, $U = 30.50$, $p = .916$, con un tamaño del efecto de $r = .047$.

En la medición postintervención (C2), el grupo POL presentó una mediana de 3570 s [RIQ $\approx$ 450], mientras que el grupo THR registró una mediana de 3700 s [RIQ $\approx$ 520]. El contraste estadístico tampoco evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, $U = 25.00$, $p = .505$, con un tamaño del efecto de $r = .219$.

4.8 Discusión de los Resultados

El presente estudio tuvo como propósito comparar los efectos de dos modelos de distribución de la intensidad del entrenamiento THR y POL sobre variables fisiológicas y de rendimiento en corredoras recreativas, incluyendo el Vo2máx estimado, la frecuencia cardiaca de reposo, los umbrales ventilatorios, la VAM y el tiempo en 10 kilómetros. A partir de la caracterización inicial de la muestra, la implementación de programas de entrenamiento de 12 semanas y la evaluación de los cambios pre y posintervención, así como de las diferencias entre grupos, la discusión de los resultados se orienta a interpretar la magnitud, dirección y relevancia práctica de las adaptaciones observadas. En este contexto, el análisis se centra en determinar hasta qué punto los cambios evidenciados responden al modelo de entrenamiento aplicado o reflejan tendencias propias del comportamiento fisiológico en corredoras recreativas, considerando además las limitaciones asociadas al tamaño muestral del estudio.

El hallazgo más consistente del estudio es que ambos modelos de entrenamiento POL y THR, produjeron mejoras en las variables fisiológicas y de rendimiento tras 12 semanas de intervención. El grupo POL incrementó su Vo2máx estimado de 38.41 a 39.59 ml/kg/min (+3.1%), el grupo THR de 37.23 a 37.96 ml/kg/min (+2.0%). Ambos grupos redujeron su FCR en magnitudes similares (~5.5 lpm) y mejoraron su tiempo en 10K (POL: mediana -210 s; THR: mediana -145 s). Este patrón de mejoras bilaterales es coherente con la evidencia de Cruz-González & Arboleda-Serna (2022) y Muñoz et al. (2014), quienes también documentaron adaptaciones en ambos grupos sin diferencias significativas entre modelos en corredores recreativos.

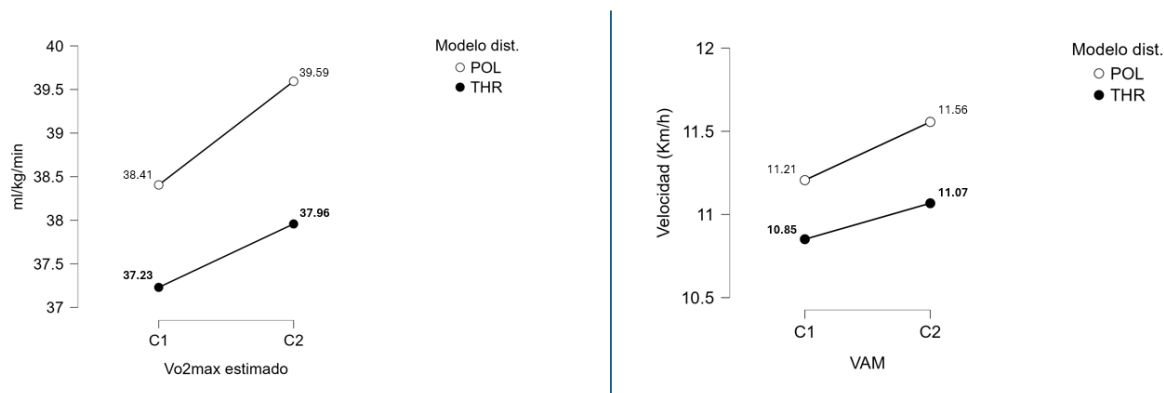
Desde un punto de vista práctico, para corredoras recreativas sin planificación estructurada, tanto el modelo POL como el THR representan una mejora importante frente al entrenamiento autónomo sin control de la intensidad.

En otras palabras, si varias corredoras actualmente acostumbran a correr 10 km en torno a 60 minutos siguiendo entrenamientos sin planificación, al incorporar cualquiera de estos modelos de TID con sesiones organizadas por objetivos y realizando el control de la intensidad es esperable que mejoren su rendimiento y con ello logren reducir sus tiempos de carrera.

En cuanto al VO_2max estimado y la VAM, según los criterios convencionales de Cohen, una $d = 0.38$ corresponde a un efecto pequeño, lo que indica que la diferencia entre grupos es de magnitud modesta (Ellis, 2010). No obstante, esta diferencia podría tener relevancia en la práctica diaria para corredoras recreativas, es decir, una mejora en la VAM de 0.35 km/h adicional como se evidencia en el grupo POL, puede traducirse en mejoras perceptibles en el ritmo de entrenamiento y en la capacidad de sostener intensidades más altas (ver Figura 9). El fundamento fisiológico de esta tendencia es consistente con lo propuesto por Seiler (2010), el alto volumen en zona 1 del modelo POL promueve adaptaciones mitocondriales y oxidativas, mientras que las sesiones de zona 3 activan señales moleculares de alta potencia sobre el $\text{VO}_2\text{máx}$, generando una combinación de estímulos más amplia que la del modelo THR concentrado en zona 2.

Figura 9.

Comparación del VO₂max estimado y VAM en C1 y C2



Nota. Comparación del Vo2máx estimado (ml/kg/min) y de la velocidad aeróbica máxima (VAM; km·h⁻¹) entre dos momentos de medición (C1 y C2) en los modelos de distribución del entrenamiento POL y THR. Los valores se presentan como medias. Elaboración propia con apoyo de JASP Team (2026).

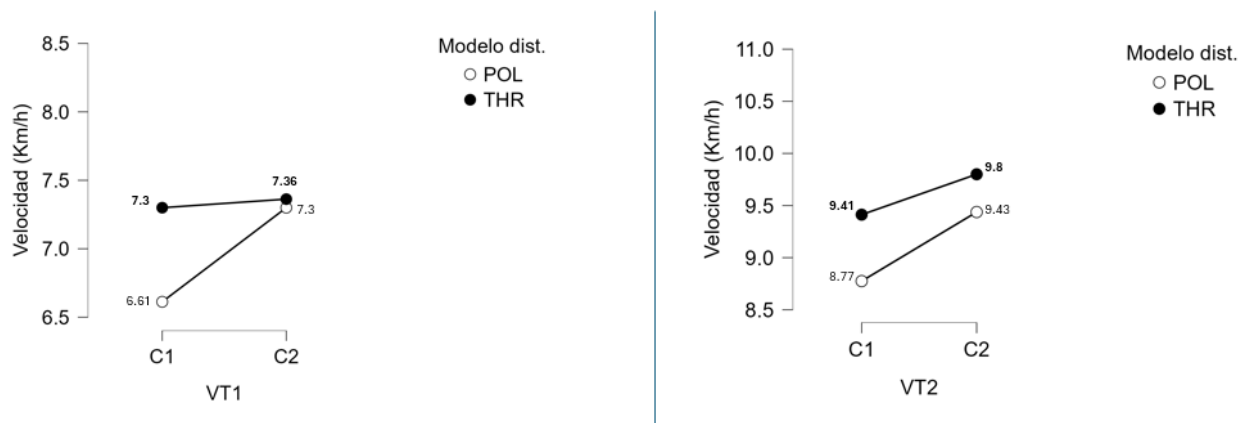
Estos resultados son congruentes con los de Muñoz et al. (2014), quienes también encontraron una tendencia favorable al POL en corredores recreativos masculinos sin alcanzar significancia estadística, y con el metaanálisis de Rosenblat et al. (2025), quienes concluyen que la superioridad del POL en VO2máx no es universal y depende del nivel de entrenamiento previo del corredor.

Por su parte, la interpretación de los resultados en VT1 y VT2 requiere especial cuidado por una condición que los datos revelan con claridad: en la preprueba (C1), el grupo POL inició con valores notablemente inferiores de VT1 (6.61 vs 7.30 km/h; $d = -0.76$) y VT2 (8.78 vs 9.41 km/h; $d = -0.58$) en comparación con el grupo THR. Esto indica que, a pesar de la aleatorización, los grupos no resultaron homogéneos en estas dos variables en la línea de base, lo que limita la

comparabilidad directa de los valores de C2 y la atribución inequívoca de las diferencias a los modelos de entrenamiento (ver Figura 10).

Puede afirmarse con claridad entonces, que el grupo POL mejoró más su velocidad en el primer umbral ventilatorio (VT1) durante la intervención. Este grupo pasó de 6.61 a 7.30 km/h, lo que representa un aumento de 0.69 km/h (10.4%). En cambio, el grupo THR no mostró cambios tan representativos, pasando de 7.30 a 7.36 km/h (solo 0.06 km/h; 0.8%); Al finalizar el estudio, ambos grupos alcanzaron valores muy similares ($d = -0.09$), lo que indica que el grupo POL logró reducir la diferencia inicial en velocidad respecto al grupo THR.

En el segundo umbral ventilatorio (VT2), el grupo POL también mostró una mejora mayor (+0.66 km/h; +7.5%) en comparación con el grupo THR (+0.39 km/h; +4.1%). Estas diferencias dentro de cada grupo son coherentes con lo que se espera del modelo POL, ya que su mayor volumen de entrenamiento a baja intensidad (zona 1) suele favorecer un desplazamiento de los umbrales hacia intensidades más altas (T. L. Stöggl & Sperlich, 2015). Sin embargo, debido a que los grupos no comenzaron con condiciones homogéneas en cuanto a los umbrales ventilatorios, no es posible atribuir estas mejoras exclusivamente al modelo de entrenamiento aplicado.

Figura 10.*Resultados de VT1 & VT2 en C1 y C2*

Nota. Valores de velocidad asociados a los umbrales ventilatorios VT1 y VT2, expresados en km/h, en dos momentos de medición (C1 y C2) para los modelos POL y THR. Elaboración propia con apoyo de JASP Team (2026)

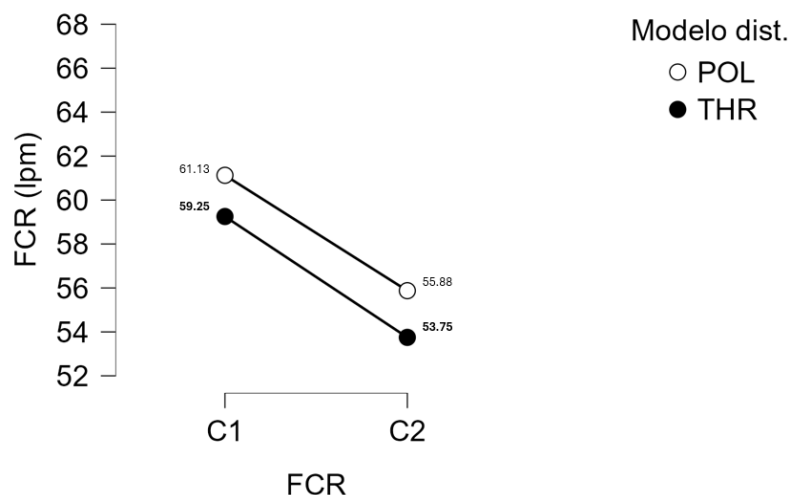
En términos estadísticos, los contrastes intergrupales en C2 para VT1 ($p = .573$) y VT2 ($p = .733$) confirman la ausencia de diferencias significativas, con tamaños del efecto pequeños ($d = -0.09$ y $d = -0.32$, respectivamente), donde el signo negativo indica que el grupo THR mantiene valores levemente superiores al final de la intervención, como era esperable dado que inició de una variable más alta.

En cuanto a la frecuencia cardiaca de reposo (FCR), esta variable se redujo en ambos grupos de manera comparable: grupo POL de 61.13 a 55.88 lpm (-5.25 lpm) y grupo THR de 59.25 a 53.75 lpm (-5.50 lpm), sin diferencias estadísticamente significativas en C2 ($t = 0.656$, $p = .739$, $d = 0.33$). Este hallazgo indica que la adaptación autonómica en reposo expresada en el aumento del tono parasimpático es sensible al entrenamiento estructurado en sí mismo y no parece diferenciarse en función del modelo TID adoptado, al menos en corredoras recreativas

con volúmenes moderados (ver figura 11). Este resultado es consistente con los reportes de Muñoz et al. (2014) y con la literatura sobre adaptaciones autonómicas al ejercicio aeróbico en general (Borresen & Lambert, 2009).

Figura 11.

Comparación de la FCR en C1 y C2



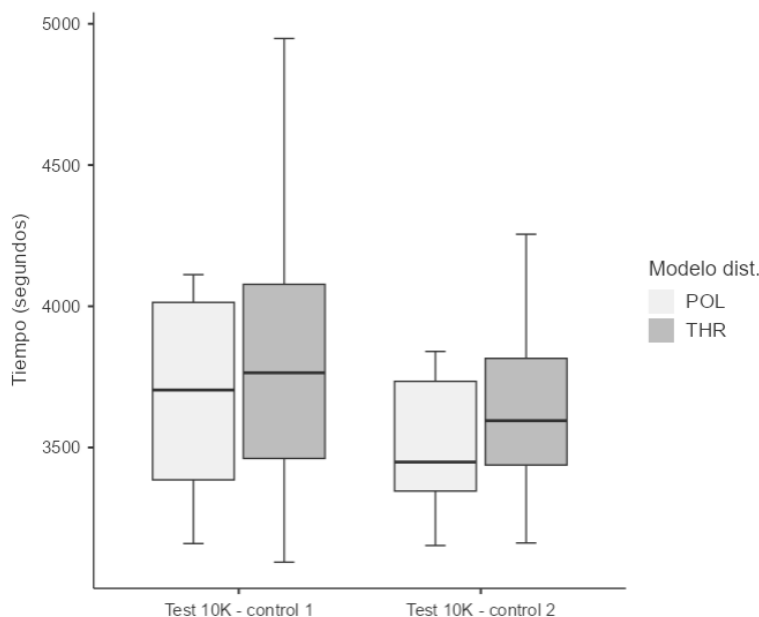
Nota. FCR (lpm) en dos condiciones (C1 y C2) según modelo de distribución: POL (círculos blancos) y THR (círculos negros). Elaboración propia con apoyo de JASP Team (2026).

Con relación al tiempo en 10 kilómetros, como la variable de rendimiento más directamente vinculada al objetivo de las participantes, mostró el patrón esperado en términos de su progreso; la mediana del grupo POL se redujo de 3.780 a 3.570 segundos (-210 s, -5.6%) y la del grupo THR de 3.845 a 3.700 segundos (-145 s, -3.8%). La diferencia entre modelos en la mejora absoluta es de 65 segundos favorable al POL, con un tamaño del efecto de $r = .219$, que corresponde a un efecto pequeño según los criterios de Cohen (1988). El contraste mediante la

prueba U de Mann-Whitney no evidenció diferencias estadísticamente significativas ($U = 25.00$, $p = .505$).

Figura 12.

Comparación del Tiempo de carrera C1 y C2



Nota. Tiempo mediano de finalización en la prueba de 10 km en pista, expresado en segundos, en dos momentos de medición (Control 1 y Control 2) para los modelos POL y THR. Elaboración propia con apoyo de The jamovi project. (2024)

Teniendo en cuenta lo anterior, para una corredora recreativa que suele completar 10 km en aproximadamente 1 hora (≈ 60 minutos), una mejora de 65 segundos como la que se observó en esta variable por parte del modelo POL sobre el modelo THR (-1.8% del tiempo total), permite concluir que, aunque este cambio es perceptible en la práctica deportiva, no resulta suficiente desde el punto de vista estadístico para afirmar que un modelo genera mayores efectos respecto al otro teniendo en cuenta la muestra disponible. Un patrón similar fue descrito por

Muñoz et al. (2014), quienes observaron una diferencia de 35 segundos entre modelos en corredores recreativos ($p = 0.08$), también sin alcanzar significancia estadística.

Finalmente, la interpretación de los resultados en conjunto permite concluir que el tamaño de la muestra ($n = 8$ por grupo) limita la potencia estadística del estudio para detectar efectos del tamaño observado en las diferentes variables. Esto no invalida los hallazgos, pero sí restringe su alcance. En concreto, los resultados deben interpretarse principalmente en el contexto de las participantes evaluadas, sin extrapolarlos de forma directa a otras poblaciones.

En este sentido, los resultados del presente estudio son coherentes con la posición de Cruz-González & Arboleda-Serna (2022), la evidencia existente sobre TID en corredores recreativos es insuficiente para orientar la planificación del entrenamiento de manera concluyente, no porque los efectos sean inexistentes, sino porque los estudios disponibles incluido este, carecen de la potencia estadística necesaria para detectarlos de forma fiable.

4.8.1 Aporte de la Investigación

A pesar de sus limitaciones, el presente estudio aporta a la literatura científica sobre TID en tres aspectos específicos que ningún estudio previo había abordado simultáneamente. Primero, es el primer estudio que compara directamente modelos POL y THR en una muestra exclusivamente femenina, contribuyendo a cerrar la brecha de género documentada por Rosenblat et al. (2025). Segundo, utiliza una metodología de evaluación no invasiva de campo Kubios HRV Scientific con Polar H10 desarrollada específicamente en mujeres, lo que representa un aporte metodológico aplicable a contextos recreativos sin acceso a laboratorio. Tercero, el patrón de resultados es coherente con los hallazgos de la literatura en hombres recreativos, lo que sugiere de manera preliminar, que la respuesta diferencial entre modelos no

parece diferir sustancialmente entre sexos en este nivel de evidencia, aunque esta hipótesis requiere verificación en estudios con mayor potencia muestral.

5. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos y su correspondiente análisis, es posible sintetizar los principales hallazgos del estudio en relación con los efectos de los modelos de distribución de la intensidad del entrenamiento POL y THR en corredoras recreativas. En este sentido, la sección de conclusiones integra la evidencia observada considerando tanto la magnitud y dirección de los cambios en las variables fisiológicas y de rendimiento, como las limitaciones metodológicas del estudio, especialmente aquellas asociadas al tamaño muestral. Asimismo, se destacan las implicaciones prácticas de los hallazgos y su aporte al conocimiento actual sobre la planificación del entrenamiento en población femenina recreativa, proporcionando una base para futuras investigaciones en este campo.

Para comenzar, los resultados obtenidos sugieren que tanto el modelo POL como el modelo THR favorecieron mejoras en las variables fisiológicas y de rendimiento evaluadas a lo largo del periodo de intervención. Sin embargo, dado que el presente estudio no incluyó un grupo control sin intervención ni una comparación con corredores que entrenaran de forma autónoma, no es posible establecer si dichas mejoras son superiores a las que podrían alcanzarse mediante otras formas de entrenamiento. En consecuencia, los hallazgos permiten comparar los efectos relativos entre ambos modelos, pero no determinar su superioridad frente a prácticas de entrenamiento no estructuradas.

Por otra parte, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre grupos en ninguna de las variables evaluadas, VO₂máx estimado, VAM, FCR, VT1, VT2 ni tiempo de carrera en 10 km, en las comparaciones intergrupales postintervención. Este hallazgo es consistente con los resultados de la mayoría de los estudios comparativos de TID disponibles en corredores recreativos (Cruz-González & Arboleda-Serna, 2022; Muñoz et al. 2014) y se

atribuye principalmente al reducido tamaño muestral del estudio ($n = 8$ por grupo), que resultó en una potencia estadística insuficiente ($\sim 22\text{-}25\%$) para detectar efectos de magnitud pequeña.

En cuanto al efecto de las variables Vo2máx estimado, VAM y tiempo de carrera en 10 km, el resultado fue consistentemente favorable al grupo POL en la medición postintervención, con tamaños del efecto de magnitud pequeña ($d = 0.38$; $r = .219$). Esta tendencia no puede interpretarse como demostración de mayores efectos del POL sobre el THR, dado que no alcanzó significancia estadística; sí puede interpretarse como una señal empírica preliminar que justifica el diseño de estudios futuros con mayor potencia estadística para explorar si esta tendencia se confirma o se refuta con muestras más amplias.

Para destacar en el presente estudio, es importante mencionar que dicha investigación constituye la primera evidencia comparativa entre modelos POL y THR realizada exclusivamente con mujeres corredoras recreativas en el contexto colombiano, contribuyendo a cerrar la brecha de género documentada en la literatura científica internacional sobre distribución de la intensidad del entrenamiento (Hunter et al. 2023; Rosenblat et al. 2025)

En la misma perspectiva, la evaluación no invasiva de VT1, VT2 y VO2máx mediante el sensor Polar H10 y el software Kubios HRV Scientific demostró ser aplicable en condiciones de campo en la población objetivo, validando esta metodología como alternativa viable a la ergoespirometría directa para la planificación del entrenamiento basada en umbrales ventilatorios en corredoras recreativas sin acceso a laboratorio.

5.1 Limitaciones del Estudio

El presente estudio presentó algunas limitaciones que deben ser consideradas al interpretar sus resultados y al planificar investigaciones futuras.

5.1.1 Tamaño Muestral

La limitación más significativa del estudio es el reducido número de participantes por grupo ($n = 8$), que resultó en una potencia estadística insuficiente para detectar efectos de la magnitud observada ($d \approx 0.24-0.38$). Con este tamaño muestral, se requeriría una diferencia entre grupos de $d \geq 1.43$ para alcanzar la potencia convencional del 80% con $\alpha = 0.05$. Estudios futuros sobre TID en corredoras recreativas deberían apuntar a $n \geq 55$ participantes por grupo para detectar efectos de magnitud moderada con potencia adecuada.

5.1.2 Heterogeneidad en la Línea de Base de VT1 y VT2

A pesar de la aleatorización intergrupar, los grupos presentaron diferencias de magnitud mediana a grande en VT1 ($d = -0.76$) y VT2 ($d = -0.58$) en la medición preintervención. Esta condición, inherente a los diseños con muestras pequeñas donde la aleatorización no garantiza homogeneidad perfecta, limita la interpretabilidad de las comparaciones intergrupales en estas dos variables y debe tenerse en cuenta al evaluar las ganancias reportadas.

5.1.3 Estimación Indirecta del VO2máx

El VO2máx fue determinado mediante el algoritmo de estimación del software Kubios HRV Scientific y no por ergoespirometría directa. Aunque este método ha sido validado (Eronen et al. 2024), introduce un error estándar de estimación adicional (± 3.5 ml/kg/min) que puede reducir la sensibilidad del estudio para detectar diferencias reales entre grupos en esta variable.

5.1.4 Duración de la Intervención

Las ocho semanas de distribución diferenciada de la intensidad pueden ser insuficientes para generar adaptaciones diferenciales entre modelos en corredoras recreativas con volúmenes moderados de entrenamiento. Períodos de intervención más prolongados (16-20 semanas)

podrían amplificar las diferencias entre modelos, especialmente en variables como los umbrales ventilatorios, cuya respuesta adaptativa puede ser gradual.

5.1.5 Altitud

El estudio se realizó en Bogotá a aproximadamente 2.600 metros sobre el nivel del mar, lo que puede influir en los valores absolutos de VO₂máx estimado y en la respuesta fisiológica al entrenamiento de alta intensidad en comparación con estudios realizados a nivel del mar. Aunque esta condición afecta por igual a ambos grupos y no compromete la validez interna de las comparaciones, limita la generalización de los valores absolutos reportados a poblaciones que entrenan a altitudes diferentes.

5.1.6 Adherencia Autoreportada

La adherencia al plan de entrenamiento fue monitoreada de forma remota mediante la plataforma TrainerPlan, sin verificación presencial en cada sesión. Aunque el registro automático de FC Ritmo mediante el GPS proporciona datos objetivos de cumplimiento, no permite controlar con la misma precisión que un entorno de laboratorio variables como la fatiga acumulada, el estado de recuperación o las condiciones meteorológicas de cada sesión, que pueden haber influido de manera adicional en los resultados.

5.1.7 Evidencia Escasa sobre Población Recreativa Femenina

Una limitación relevante del campo de estudio es la escasa evidencia disponible sobre modelos de distribución de la intensidad en población recreativa femenina, lo cual restringe la comparación de resultados y la construcción de recomendaciones concluyentes. Esta falta de información refuerza la necesidad de continuar investigando en este grupo específico, ya que las diferencias fisiológicas entre sexos impiden extrapolar de manera directa los hallazgos obtenidos en poblaciones masculinas.

5.1.8 Líneas de Investigación Futuras

Se recomienda la implementación de programas de entrenamiento estructurados y basados en la planificación individual de la intensidad a partir de los umbrales ventilatorios, dado que ambos modelos (POL y THR) demostraron ser efectivos para mejorar variables fisiológicas y de rendimiento en corredoras recreativas. Asimismo, el uso de herramientas no invasivas como el sensor Polar H10 y el software Kubios HRV Scientific se presenta como una alternativa viable para la evaluación en campo. Dado que no se evidenció superioridad estadística entre modelos, la elección del enfoque de entrenamiento puede orientarse por criterios prácticos como la adherencia, la experiencia previa y la disponibilidad de tiempo de las corredoras.

En cuanto a futuras líneas de investigación, se sugiere desarrollar estudios con mayor tamaño muestral y duración de la intervención que permitan aumentar la potencia estadística y confirmar si las tendencias observadas a favor del modelo POL se mantienen. Adicionalmente, resulta pertinente profundizar en el análisis específico de población femenina, incluyendo comparaciones según nivel de entrenamiento y la incorporación de otros modelos de distribución de la intensidad, así como explorar la relación entre estos modelos, la adherencia al entrenamiento y el riesgo de lesión.

Referencias

- Asociación Médica Mundial. (2024). *Declaración de Helsinki de la AMM – Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos*. Asociación Médica Mundial.
<https://www.wma.net/es/policies-post/declaracion-de-helsinki-de-la-amm-principios-eticos-para-las-investigaciones-medicas-en-seres-humanos/>
- Ato, M., López-García, J. J., & Benavente, A. (2013). Un sistema de clasificación de los diseños de investigación en psicología. *Anales de Psicología / Annals of Psychology*, 29(3), 1038-1059. <https://doi.org/10.6018/analesps.29.3.178511>
- Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2015). Running economy: Measurement, norms, and determining factors. *Sports Medicine - Open*, 1(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s40798-015-0007-y>
- Bassett, D. R., & 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>
- Beaver, W. L., Wasserman, K., & Whipp, B. J. (1986). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Journal of Applied Physiology*, 60(6), 2020-2027.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1986.60.6.2020>
- Besson, T., Macchi, R., Rossi, J., Morio, C. Y. M., Kunimasa, Y., Nicol, C., Vercruyssen, F., & Millet, G. Y. (2022). Sex Differences in Endurance Running. *Sports Medicine*, 52(6), 1235-1257. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01651-w>
- Billat, V. L., Flechet, B., Petit, B., Muriaux, G., & Koralsztejn, J.-P. (1999). Interval training at $\dot{V}O_2\text{max}$: Effects on aerobic performance and overtraining markers. *Medicine & Science*

- in Sports & Exercise*, 31(1), 156. <https://doi.org/10.1097/00005768-199901000-00024.%20PMID:%209927024>.
- Bonato, M., Villacaro, D., Faelli, E. L., Panasci, M., Marmondi, F., La Torre, A., & Filipas, L. (2026). Training Intensity Distribution, Load Management, and Performance in Recreational Long-Distance Runners. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1-9. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2025-0348>
- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2009). The Quantification of Training Load, the Training Response and the Effect on Performance. *Sports Medicine*, 39(9), 779-795. <https://doi.org/10.2165/11317780-000000000-00000>
- Bryman, A. (2016). *Social Research Methods*.
- Bunge, M. (2014). *La ciencia, su método y su filosofía*.
- Carnes, A. J., & Mahoney, S. E. (2019). Polarized Versus High-Intensity Multimodal Training in Recreational Runners. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0040>
- Casado, A., Hanley, B., Santos-Concejero, J., & Ruiz-Pérez, L. M. (2021). World-Class Long-Distance Running Performances Are Best Predicted by Volume of Easy Runs and Deliberate Practice of Short-Interval and Tempo Runs. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(9), 2525. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003176>
- Chiang, T.-L., Chen, C., Lin, Y.-C., Chan, S.-H., & Wu, H.-J. (2023). Effect of Polarized Training on Cardiorespiratory Fitness of Untrained Healthy Young Adults: A Randomized Control Trial with Equal Training Impulse. *Journal of Sports Science & Medicine*, 22(2), 263-272. <https://doi.org/10.52082/jssm.2023.263>
- Chicharro, J. L., & Vaquero, A. F. (2022). *Fisiología del Ejercicio 4ª ed.*

- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed). L. Erlbaum Associates.
- Committee on Publication Ethics. (2024). Core Practices. *Publication Ethics*.
- Congreso de la República de Colombia. (2012, octubre 17). *Ley 1581 de 2012: Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales*.
http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1581_2012.html
- Coyle, E. F. (1995). Integration of the Physiological Factors Determining Endurance Performance Ability. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 23(1), 25.
- Cruz-González, J. J., & Arboleda-Serna, V. H. (2022). Training intensity distribution on running time in amateur endurance runners: A scoping review. *Revista de Investigación e Innovación En Ciencias de La Salud*, 4(2), 137-149. <https://doi.org/10.46634/riics.136>
- Daniels, J. (2022). *Daniels' running formula* (Fourth edition). Human Kinetics.
- Daniels, J. T. (1985). A physiologist's view of running economy. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 17(3), 332.
- DeJong, A. F., Fish, P. N., & Hertel, J. (2021). Running behaviors, motivations, and injury risk during the COVID-19 pandemic: A survey of 1147 runners. *PLOS ONE*, 16(2), e0246300. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246300>
- Egan, B., & Zierath, J. R. (2013). Exercise Metabolism and the Molecular Regulation of Skeletal Muscle Adaptation. *Cell Metabolism*, 17(2), 162-184.
<https://doi.org/10.1016/j.cmet.2012.12.012>
- Electrophysiology, T. F. of the E. S. of C. the N. A. S. of P. (1996). Heart Rate Variability. *Circulation*, 93(5), 1043-1065. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>

- Ellis, P. D. (2010). *The Essential Guide to Effect Sizes: Statistical Power, Meta-Analysis, and the Interpretation of Research Results*. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511761676>
- Eronen, T., Lipponen, J. A., Hyrylä, V. V., Kupari, S., Mursu, J., Venojärvi, M., Tikkanen, H. O., & Tarvainen, M. P. (2024). *Heart Rate Variability Based Ventilatory Threshold Estimation – Validation of a Commercially Available Algorithm* (p. 2024.08.14.24311967). medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2024.08.14.24311967>
- Esteve-Lanao, J., Foster, C., Seiler, S., & Lucia, A. (2007). Impact of training intensity distribution on performance in endurance athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3), 943-949. <https://doi.org/10.1519/R-19725.1>
- Festa, L., Tarperi, C., Skroce, K., La Torre, A., & Schena, F. (2020). Effects of Different Training Intensity Distribution in Recreational Runners. *Frontiers in Sports and Active Living*, 1. <https://doi.org/10.3389/fspor.2019.00070>
- Gilgen-Ammann, R., Schweizer, T., & Wyss, T. (2019). RR interval signal quality of a heart rate monitor and an ECG Holter at rest and during exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 119(7), 1525-1532. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04142-5>
- Gronwald, T., Rogers, B., & Hoos, O. (2020). Fractal Correlation Properties of Heart Rate Variability: A New Biomarker for Intensity Distribution in Endurance Exercise and Training Prescription? *Frontiers in Physiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.550572>
- Hawley, J. A., Hargreaves, M., Joyner, M. J., & Zierath, J. R. (2014). Integrative Biology of Exercise. *Cell*, 159(4), 738-749. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.10.029>

- Holloszy, J. O., & Coyle, E. F. (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *Journal of Applied Physiology*, 56(4), 831-838.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1984.56.4.831>
- Hunter, S. K., Angadi, S. S., Bhargava, A., Harper, J., Hirschberg, A. L., Levine, B. D., Moreau, K. L., Nokoff, N. J., Stachenfeld, N. S., & Berman, S. (2023). The Biological Basis of Sex Differences in Athletic Performance: Consensus Statement for the American College of Sports Medicine. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 55(12), 2328-2360.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003300>
- International Organizations of Medical Sciences, & World Health Organization. (2016). *International Ethical Guidelines for Health-related Research Involving Humans: Prepared by the Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOMS) in collaboration with the World Health Organization (WHO)* (4th ed.). Council for International Organizations of Medical Sciences.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK614410/>
- Jamnick, N. A., Pettitt, R. W., Granata, C., Pyne, D. B., & Bishop, D. J. (2020). An Examination and Critique of Current Methods to Determine Exercise Intensity. *Sports Medicine*, 50(10), 1729-1756. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01322-8>
- JASP Team. (2026). *JASP (Version 0.96.0)[Computer software]*. <https://jasp-stats.org/>
- Johnson, R. B., & Christensen, L. B. (2020). *Educational research: Quantitative, qualitative, and mixed approaches* (Seventh edition). SAGE.
- Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: The physiology of champions. *The Journal of Physiology*, 586(1), 35-44.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.143834>

- Karapetian, G. K., Engels, H. J., & Gretebeck, R. J. (2008). Use of Heart Rate Variability to Estimate LT and VT. *International Journal of Sports Medicine*, 29(08), 652-657.
<https://doi.org/10.1055/s-2007-989423>
- Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2024). *Physiology of Sport and Exercise*.
- Knechtle, B., Tanous, D. R., Wirnitzer, G., Leitzmann, C., Rosemann, T., Scheer, V., & Wirnitzer, K. (2021). Training and Racing Behavior of Recreational Runners by Race Distance—Results From the NURMI Study (Step 1). *Frontiers in Physiology*, 12.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2021.620404>
- Kubios. (2025). *HRV-Scientific-Users-Guide-2025*. <https://www.kubios.com/downloads/HRV-Scientific-Users-Guide.pdf>
- Laursen, P. B. (2010). Training for intense exercise performance: High-intensity or high-volume training? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(s2), 1-10.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01184.x>
- Maciejewski, M. L. (2020). Quasi-experimental design. *Biostatistics & Epidemiology*, 4(1), 38-47. <https://doi.org/10.1080/24709360.2018.1477468>
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2013, junio 27). *Decreto 1377 de 2013: Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 1581 de 2012*. Diario Oficial No. 48.834.
- Ministerio de Salud. (1993). *RESOLUCION NUMERO 8430 DE 1993*. Ministerio de Salud.
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/lists/bibliotecadigital/ride/de/dij/resolucion-8430-de-1993.pdf>
- Ministerio de Salud de Colombia. (1993, octubre 4). [Resolución 8430 de 1993: Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud].

- Moher, D., Hopewell, S., Schulz, K. F., Montori, V., Gøtzsche, P. C., Devereaux, P. J., Elbourne, D., Egger, M., Altman, D. G., & CONSORT. (2012). CONSORT 2010 explanation and elaboration: Updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *International Journal of Surgery*, 10(1), 28-55. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2011.10.001>
- Muñoz, I., Seiler, S., Bautista, J., España, J., Larumbe, E., & Esteve-Lanao, J. (2014). Does polarized training improve performance in recreational runners. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(2), 265-272. <https://doi.org/https://doi.org/10.1123/ijsp.2012-0350>
- Muñoz, I., & Varela-Sanz, A. (2018). Original Article Training intensity distribution and performance of a recreational male endurance runner. A case report. *Journal of Physical Education and Sport*, 18, 2257-2263. <https://doi.org/10.7752/jpes.2018.04340>
- Napkin AI. (2026). *Napkin AI* [Software]. <https://www.napkin.ai/>
- National Institute on Aging. (2024, abril 24). *Estudios clínicos: Beneficios, riesgos y seguridad*. National Institute on Aging. <https://www.nia.nih.gov/espanol/estudios-clinicos/estudios-clinicos-beneficios-riesgos-seguridad>
- Nielsen, R., Ramskov, D., Blacket, C. T., & Malisoux, L. (2024). Running-Related Injuries Among More Than 7000 Runners in 87 Different Countries: The Garmin-RUNSAFE Running Health Study. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 54(2), 133-141. <https://doi.org/10.2519/jospt.2023.11959>
- Nielsen Sports, & World Athletics. (2021, abril 1). *New research reveals running boom during Covid-19 pandemic*. World Athletics. <https://worldathletics.org/news/press-releases/global-running-day-research-nielsen>
- OpenAI. (2026). *ChatGPT* (Versión GPT-5.3) [Modelo de lenguaje grande]. <https://openai.com>

- Oswald, F., Campbell, J., Williamson, C., Richards, J., & Kelly, P. (2020). A Scoping Review of the Relationship between Running and Mental Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21).
<https://doi.org/10.3390/ijerph17218059>
- Pérez, A., Ramos-Campo, D. J., Freitas, T. T., Rubio-Arias, J. Á., Marín-Cascales, E., & Alcaraz, P. E. (2018). Effect of two different intensity distribution training programmes on aerobic and body composition variables in ultra-endurance runners. *European Journal of Sport Science*, 19(5), 636-644. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1539124>
- 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*, 43(9), 773-781. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0071-8>
- Richard A. Winett, Winett, R. A., Janet R. Wojcik, Wojcik, J. R., Lesley D. Fox, Lesley D. Fox, Fox, L. D., William G. Herbert, Herbert, W. G., Jennifer S. Blevins, Blevins, J. S., Ralph N. Carpinelli, Ralph N. Carpinelli, & Carpinelli, R. N. (2003). Effects of low volume resistance and cardiovascular training on strength and aerobic capacity in unfit men and women: A demonstration of a threshold model. *Journal of Behavioral Medicine*, 26(3), 183-195. <https://doi.org/10.1023/a:1023410302898>
- Rivera-Kofler, T., Soto-Lagos, R., Herrera-Amante, C., Cortés-Roco, G., Olivares-Arancibia, J., Yáñez-Sepúlveda, R., Rivera-Kofler, T., Soto-Lagos, R., Herrera-Amante, C., Cortés-Roco, G., Olivares-Arancibia, J., & Yáñez-Sepúlveda, R. (2024). Anthropometric Characteristics, Training Intensity Distribution, Physiological Profile and Performance of

- an Elite Trail Runner: A Longitudinal Case Study. *International Journal of Morphology*, 42(2), 416-423. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022024000200416>
- Rivera-Köfler, T., Varela-Sanz, A., Padrón-Cabo, A., Giráldez-García, M. A., & Muñoz-Pérez, I. (2025). Effects of Polarized Training vs. Other Training Intensity Distribution Models on Physiological Variables and Endurance Performance in Different-Level Endurance Athletes: A Scoping Review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 39(3), 373. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000005033>
- Rizzo, N. (2023). *Running Boom: 28.76% of runners started during the pandemic*. RunRepeat - Athletic Shoe Reviews. <https://runrepeat.com/new-pandemic-runners>
- Rogers, B., Giles, D., Draper, N., Hoos, O., & Gronwald, T. (2021). A New Detection Method Defining the Aerobic Threshold for Endurance Exercise and Training Prescription Based on Fractal Correlation Properties of Heart Rate Variability. *Frontiers in Physiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.596567>
- Rogers, B., & Gronwald, T. (2022). Fractal Correlation Properties of Heart Rate Variability as a Biomarker for Intensity Distribution and Training Prescription in Endurance Exercise: An Update. *Frontiers in Physiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.879071>
- Rosenblat, M. A., Watt, J. A., Arnold, J. I., Treff, G., Sandbakk, Ø. B., Esteve-Lanao, J., Festa, L., Filipas, L., Galloway, S. D., Muñoz, I., Ramos-Campo, D. J., Schneeweiss, P., Sellés-Pérez, S., Stöggl, T., Talsnes, R. K., Zinner, C., & Seiler, S. (2025). Which Training Intensity Distribution Intervention will Produce the Greatest Improvements in Maximal Oxygen Uptake and Time-Trial Performance in Endurance Athletes? A Systematic Review and Network Meta-analysis of Individual Participant Data. *Sports Medicine*, 55(3), 655-673. <https://doi.org/10.1007/s40279-024-02149-3>

- Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D., & Hawley, J. A. (2004). Factors Affecting Running Economy in Trained Distance Runners. *Sports Medicine*, 34(7), 465-485.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200434070-00005>
- Schaffarczyk, M., Rogers, B., Reer, R., & Gronwald, T. (2022). Validity of the Polar H10 Sensor for Heart Rate Variability Analysis during Resting State and Incremental Exercise in Recreational Men and Women. *Sensors*, 22(17). <https://doi.org/10.3390/s22176536>
- Schaffarczyk, M., Rogers, B., Reer, R., & Gronwald, T. (2023). Validation of a non-linear index of heart rate variability to determine aerobic and anaerobic thresholds during incremental cycling exercise in women. *European Journal of Applied Physiology*, 123(2), 299-309.
<https://doi.org/10.1007/s00421-022-05050-x>
- Scheer, V., Valero, D., Villiger, E., Rosemann, T., & Knechtle, B. (2021). The Impact of the COVID-19 Pandemic on Endurance and Ultra-Endurance Running. *Medicina*, 57(1).
<https://doi.org/10.3390/medicina57010052>
- Schulz, K. F., Altman, D. G., & Moher, D. (2010). CONSORT 2010 Statement: Updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *BMJ*, 340, c332.
<https://doi.org/10.1136/bmj.c332>
- Seiler, K. S., & Kjerland, G. Ø. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: Is there evidence for an “optimal” distribution? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16(1), 49-56. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.00418.x>
- Seiler, S. (2010). *What is Best Practice for Training Intensity and Duration Distribution in Endurance Athletes?* <https://doi.org/10.1123/ijsspp.5.3.276>

- Seiler, S., & Tønnessen, E. (2009). Intervals, Thresholds, and Long Slow Distance: The Role of Intensity and Duration in Endurance Training. *SPORTSCIENCE · sportsci.org*, 13, 32-53.
- Selles-Perez, S., Fernández-Sáez, J., & Cejuela, R. (2019). Polarized and Pyramidal Training Intensity Distribution: Relationship with a Half-Ironman Distance Triathlon Competition. *Journal of Sports Science & Medicine*, 18(4), 708-715.
- Selye, H. (2013). *Stress in Health and Disease*. Elsevier Science.
- Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
- Shipway, R., & Holloway, I. (2010). Running free: Embracing a healthy lifestyle through distance running. *Perspectives in Public Health*, 130(6), 270-276.
<https://doi.org/10.1177/1757913910379191>
- Stempień, J. R., Dąbkowska-Dworniak, M., Stańczyk, M., Tkaczyk, M., & Przybylski, B. (2022). Particular Dimensions of the Social Impact of Leisure Running: Study of Poland. *Sustainability*, 14(18). <https://doi.org/10.3390/su141811185>
- Stenerson, L. R., Melton, B. F., Bland, H. W., & Ryan, G. A. (2023). Running-Related Overuse Injuries and Their Relationship with Run and Resistance Training Characteristics in Adult Recreational Runners: A Cross-Sectional Study. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 8(3), 128. <https://doi.org/10.3390/jfmk8030128>
- Stöggl, T. L., & Sperlich, B. (2015). The training intensity distribution among well-trained and elite endurance athletes. *Frontiers in Physiology*, 6.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00295>

- Stöggl, T., & Sperlich, B. (2014). Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Frontiers in Physiology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00033>
- Tanaka, H., Monahan, K. D., & Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 37(1), 153-156. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(00\)01054-8](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(00)01054-8)
- Tapia, M., & Runner's World. (2023, junio 7). *Historia del running: Nacimiento y origen del correr moderno*. Runner's World. <https://www.runnersworld.com/es/training/a26319168/nacimiento-running-jogging-historia-arthur-lydiard/>
- Tarvainen, M. P., Niskanen, J.-P., Lipponen, J. A., Ranta-aho, P. O., & Karjalainen, P. A. (2014). Kubios HRV – Heart rate variability analysis software. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 113(1), 210-220. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2013.07.024>
- The jamovi project. (2024). *Jamovi* (Versión 2.6) [Software]. <https://www.jamovi.org>
- TrainerPlan Labs. (2024). *TrainerPlan*. [Software]. <https://trainerplan.co/>
- UNESCO. (2005). *Universal Declaration on Bioethics and Human Rights*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. <https://www.unesco.org/en/ethics-science-technology/bioethics-and-human-rights>
- Warburton, D. E. R., Bredin, S. S. D., Jamnik, V. K., & Gledhill, N. (2011). Validation of the PAR-Q+ and ePARmed-X+. *The Health & Fitness Journal of Canada*, 4(2), 38-46. <https://doi.org/10.14288/hfjc.v4i2.151>
- Warburton, D. E. R., Jamnik, V., Bredin, S. S. D., Shephard, R. J., & Gledhill, N. (2019). The 2020 Physical Activity Readiness Questionnaire for Everyone (PAR-Q+) and electronic

- Physical Activity Readiness Medical Examination (ePARmed-X+): 2020 PAR-Q+. *The Health & Fitness Journal of Canada*, 12(4), 58-61.
<https://doi.org/10.14288/hfjc.v12i4.295>
- Wasserman, K., Whipp, B. J., Koyl, S. N., & Beaver, W. L. (1973). Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 35(2), 236-243.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1973.35.2.236>
- World Athletics. (s. f.). *Guía de cronometraje manual*. Información técnica | Documentos oficiales. Recuperado 2 de abril de 2026, de <https://worldathletics.org/about-iaaf/documents/technical-information>
- Zatsiorsky, V. M., Kraemer, W. J., & Fry, A. C. (2020). *Science and Practice of Strength Training*.
- Zinner, C., Schäfer Olstad, D., & Sperlich, B. (2018). Mesocycles with Different Training Intensity Distribution in Recreational Runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50(8), 1641. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001599>

Anexos

Declaraciones sobre el uso de IA

En el desarrollo de la presente tesis se incorporaron herramientas de inteligencia artificial como apoyo en la elaboración de diagramas con Napkin AI (2026), generación de imágenes y estructuración de tablas con OpenAI (2026). Estas tecnologías permitieron optimizar la organización de la información, mejorar la claridad visual de los contenidos y facilitar la representación gráfica de los datos. Asimismo, su uso contribuyó a agilizar procesos que tradicionalmente demandan mayor tiempo, garantizando al mismo tiempo coherencia y calidad en los elementos visuales incluidos en el documento académico

Fotografías del proceso de valoración

Control antropométrico	Prueba incremental en cinta
	
Prueba de 10K	Actividad de recuperación Posterior a prueba de 10K



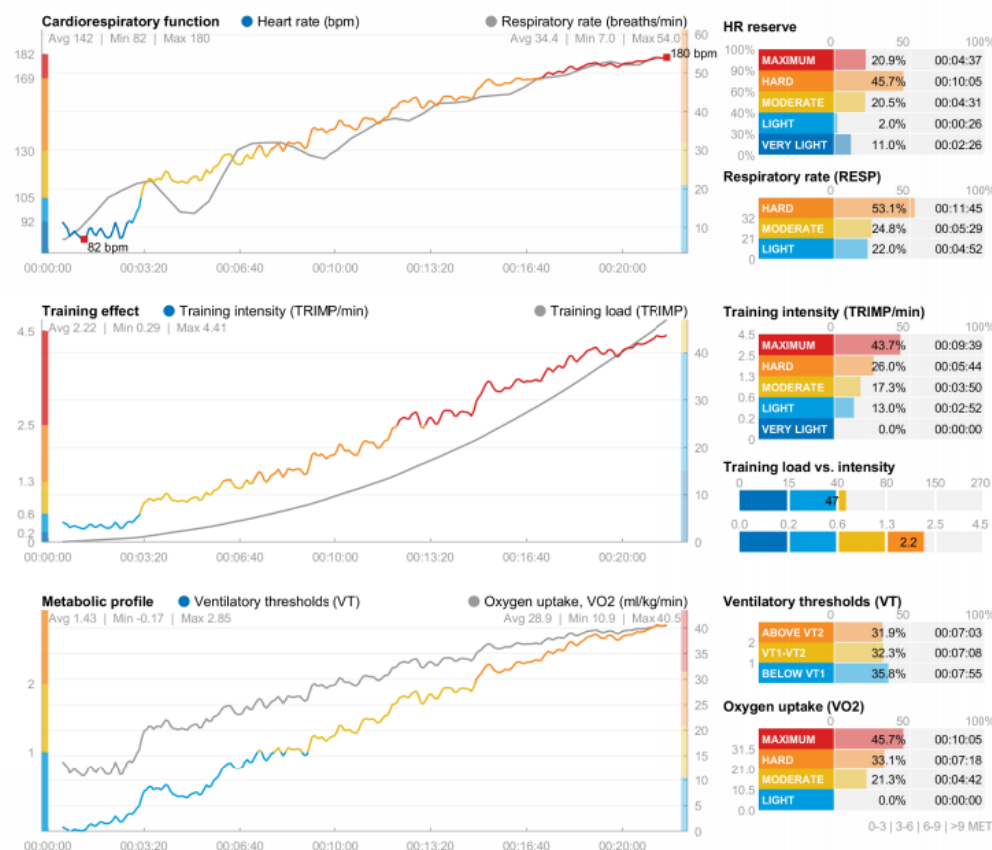
Bandas Polar H10 Utilizadas en la Prueba Incremental



Modelo informe perfil Fisiológico plataforma Kubios HRV

Physiological performance report

MEJORSALUDABLE



Informe generado con Kubios HRV que integra variables cardiorrespiratorias (frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria), carga e intensidad de entrenamiento (TRIMP) y consumo de oxígeno (VO₂max) a lo largo de la sesión. En la parte inferior del gráfico se presentan las zonas de intensidad (zonas 1, 2 y 3) estimadas a partir de la variabilidad de la frecuencia cardiaca, mostrando la distribución del esfuerzo durante la prueba incremental en cinta.

Distribución de la Intensidad Durante la Investigación

Ciclo de entrenamiento 10Km - POL												
Fase del ciclo	Fase de lavado				Distribucion Pol							
Semana	Sep-Oct	Octubre	Octubre	Octubre	Octubre	Noviembre				Diciembre		
	29-05	06-12	13-19	20-26	27-02	03-09	10-16	17-23	24-30	01-07	08-14	15-21
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tipo m.	estandarización	estandarización	estandarización	estandarización	Ajuste	Carga	Carga	Descarga	Carga	Carga	Descarga	Test
V. Meso	60				211							
Vol. Micro	15	15	15	15	23	25	27	25	28	30	28	25
Vol. Z1	7,5	7,5	7,5	7,5	18,4	20	18,9	20	21	21	22,4	20
Vol. Z2	6	6	6	6	1,15	1,25	1,35	1,25	1,4	1,5	1,4	0,5
Vol. Z3	1,5	1,5	1,5	1,5	3,45	3,75	6,75	3,75	5,6	7,5	4,2	4,5
Vol. Z1 %	50	50	50	50	80	80	70	80	75	70	80	80
Vol. Z2 %	40	40	40	40	5	5	5	5	5	5	5	2
Vol. Z3 %	10	10	10	10	15	15	25	15	20	25	15	18
Total V1 %	50				76,9							
Total V2 %	40				4,6							
Total V3 %	10				18,5							

Ciclo de entrenamiento 10Km - THR												
Fase del ciclo	Fase de lavado				Distribucion THR							
Semana	Sep-Oct	Octubre	Octubre	Octubre	Octubre	Noviembre				Diciembre		
	29-05	06-12	13-19	20-26	27-02	03-09	10-16	17-23	24-30	01-07	08-14	15-21
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tipo m.	estandarización	estandarización	estandarización	estandarización	Ajuste	Carga	Carga	Descarga	Carga	Carga	Descarga	Test
V. Meso	60				211							
Vol. Micro	15	15	15	15	23	25	27	25	28	30	28	25
Vol. Z1	7,5	7,5	7,5	7,5	9,89	11,25	10,8	10,75	12,6	12	12,04	10,75
Vol. Z2	6	6	6	6	11,5	12,5	13,5	12,5	14	15	14	12,5
Vol. Z3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,61	1,25	2,7	1,75	1,4	3	1,96	1,75
Vol. Z1 %	50	50	50	50	43	45	40	43	45	40	43	43
Vol. Z2 %	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	50	50
Vol. Z3 %	10	10	10	10	7	5	10	7	5	10	7	7
Total V1 %	50				42,75							
Total V2 %	40				50							
Total V3 %	10				7,25							

Se inició con cuatro semanas de estandarización de los grupos y luego se realizaron ocho semanas con los modelos correspondientes para cada grupo.

Ejemplo de Microciclos de Distribución

SEMANA 3				
Microciclo TID THR			Día 1	Día 2
Distribución umbral	Volumen (km)		27	Calentamiento 2k (Z1)
	Z1	40%	10,8	extensivo largo 9x300 (Z3) rec de 2 minutos
	Z2	50%	13,5	
	Z3	10%	2,7	
			1km en Z1, 2xZ2, 1km Z1, 2km Z2, 1km Z1, 2km Z2 y 1km Z1= 4km Z1 y 6km Z2	Normalización: 1k (Z1)
				Calentamiento: 2K (Z1) Central: 7,5km (Z2) Normalización: 1.8mts (Z1)

SEMANA 3				
Microciclo TID Polarizado			Día 1	Día 2
Distribucion Polarizada	Volumen (km)		27	Calentamiento 2k (Z1)
	Z1	70%	18,9	8K (Z1) recovery
	Z2	5%	1,4	
	Z3	25%	6,8	
			Calentamiento 2k (Z1) extensivo largo 11x500 mts (Z3) rec de 3 minutos	Calentamiento: 6.9K (Z1) Progresión: 1,4 (Z2)+1.3km (Z3)
			Normalización: 2k (Z1)	

Asignación de entrenamiento en plataforma

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
10 : +	11 : +	12 : +	13 : +	14 : +	15 : +	16 : +
	 Intervals 2-1 Km (3 Rond) 01:13:52 10 km 07:23 /km Hola! Hoy vamos a trabajar cambios de ritmo...  		 Repeticiones de 300 mts X7 53:14 6.01 km 08:51 /km Hola Runner Realizar movilidad articular, 10...  			 Tempo run 45:47 6.81 km 06:44 /km Hola Runner, el día de hoy vamos a correr a un...  
	✓ E 60		✓ E 19			✓ E 76