

Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación
Facultad de Artes y Educación Física
Departamento de Educación Física, Deportes y Recreación
Magíster en Educación Física, Salud y Deportes.

Control postural en ciclistas de pista de alto rendimiento, una configuración ecológica.

Tesis para optar al grado de Magíster en Educación Física, Salud y Deportes

Autora: Lic. Gloria Rocío Neyra Correa
Profesor Guía: Dr. Esteban Aedo Muñoz
Santiago, Chile. 2026

Resumen

El control postural es un factor determinante en el ciclismo de pista, ya que permite mantener la estabilidad dinámica y optimizar la eficiencia biomecánica en condiciones de alta exigencia. A pesar de su relevancia, las evaluaciones tradicionales en laboratorio suelen carecer de validez ecológica, lo que limita la comprensión de las adaptaciones específicas del atleta a su implemento deportivo. El objetivo de esta investigación es evaluar el control postural de ciclistas de pista de alto rendimiento mediante una configuración ecológica, comparando los parámetros obtenidos con pruebas convencionales. Metodología: Estudio piloto de enfoque cuantitativo y diseño transversal con 5 ciclistas de élite (18-32 años). Se aplicó un protocolo de tres fases: bipedestación (convencional), sedestación adaptada y configuración ecológica (sobre sillín con base inestable). Se analizaron variables del Centro de Presión (COP) como área, desplazamiento y velocidad mediante estadística no paramétrica. Resultados: La configuración ecológica reveló patrones de dispersión del COP únicos y significativamente distintos a la sedestación estándar. Se encontró una correlación negativa fuerte ($\rho \approx -0.9$, $p < 0.05$) entre la estabilidad de pie y sobre el sillín, lo que sugiere una especificidad del control postural ligada al gesto técnico. La supresión de la visión incrementó la velocidad del COP de forma más pronunciada en la prueba ecológica. Conclusiones: El control postural en atletas de alto rendimiento presenta una alta especificidad técnica; por tanto, las pruebas de equilibrio generalistas no son predictores adecuados del comportamiento postural específico en el deporte. La configuración ecológica demostró ser una herramienta sensible para capturar ajustes biomecánicos específicos, subrayando la dependencia crítica del sistema visual para mantener la estabilidad sobre el sillín.

Palabras clave: Ciclismo de pista, control postural, configuración ecológica, centro de presión, rendimiento deportivo.

Abstract

Introduction: Postural control is a determining factor in track cycling performance, as it enables dynamic stability and optimizes biomechanical efficiency under high-demand conditions. Despite its relevance, traditional laboratory assessments often lack ecological validity, limiting the understanding of the athlete's specific adaptations to their sports equipment. Objective: To evaluate the postural control of high-performance track cyclists using an ecological configuration, comparing the parameters obtained with conventional tests. Methodology: A quantitative pilot study with a cross-sectional design involving 5 elite cyclists (ages 18-32). A three-phase protocol was implemented: bipedalism (conventional), adapted sitting, and ecological configuration (on a saddle with an unstable base). Center of Pressure (COP) variables, including area, displacement, and velocity, were analyzed using non-parametric statistics. Results: The ecological configuration revealed unique COP dispersion patterns that were significantly different from standard sitting. A strong negative correlation ($\rho \approx -0.9$, $p < 0.05$) was found between standing stability and on-saddle stability, suggesting postural control specificity linked to the technical gesture. Visual suppression increased COP velocity more significantly during the ecological test. Conclusions: Postural control in high-performance athletes exhibits high technical specificity; therefore, general balance tests are not adequate predictors of sports-specific postural behavior. The ecological configuration proved to be a sensitive tool for capturing specific biomechanical adjustments, highlighting the critical dependence on the visual system to maintain stability on the saddle.

Keywords: Track cycling, postural control, ecological configuration, center of pressure, athletic performance.

Introducción

El deporte de alto rendimiento ha experimentado una evolución técnica y competitiva en las últimas décadas. En este panorama, el ciclismo de pista se consolida como una disciplina de máxima exigencia, donde el éxito depende de una interacción milimétrica entre la potencia mecánica y la eficiencia biomecánica. La relevancia de este deporte en el contexto sudamericano ha cobrado un nuevo impulso tras los meritorios resultados de equipos colombianos y chilenos en certámenes internacionales, como el cuarto lugar en el Mundial Junior de China y su desempeño en los Juegos Panamericanos Junior 2024. Estos resultados, plantean la necesidad de avanzar en el análisis científico de los factores que condicionan el rendimiento de los ciclistas de pista y su proyección.

El rendimiento en el ciclismo de pista no depende exclusivamente de la potencia mecánica, donde algunos elementos como el control postural son un factor determinante, representando un sistema complejo que integra información sensorial (visual, vestibular y propioceptiva), procesamiento central y respuestas motoras para mantener la proyección vertical del centro de gravedad dentro de la base de sustentación (Andreeva et al., 2021). En la pista de ciclismo, la estabilidad postural dinámica está estrechamente ligada a la estabilidad del core, influyendo directamente en la alineación de la columna, la pelvis y el tobillo (Hurtado et al., 2024). Debido al uso de bicicletas de piñón fijo en altas velocidades, una postura eficiente es crítica. Ya que, un control deficiente no solo limita la transferencia de potencia y la precisión en la trayectoria (Turpin y Watier, 2020), sino que incrementa el riesgo de lesiones (Olivier et al., 2019) y compromete la longevidad deportiva (Paillard, 2016).

Desde la perspectiva de la Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte (UCAD), la posición aerodinámica —flexión extrema del tronco y posición baja de la cabeza— exige una activación constante de la cadena posterior. Sin embargo, esta estabilidad se ve amenazada por la fatiga. Como señalan Ghamkhar y Kahlaee (2019), la fatiga muscular del tronco altera significativamente el control postural en el dominio temporal, lo que sugiere que la resistencia del core es crucial para evitar compensaciones biomecánicas y patologías como la lumbalgia (Haeberle et al., 2018). De hecho, la estabilidad específica del ciclismo disminuye cuando se alcanzan intensidades máximas, siendo la velocidad de balanceo un predictor clave del estado musculoesquelético (Rannama et al., 2017) en estos deportistas. A pesar de su relevancia, aún existe una brecha en el conocimiento científico, donde la escasez de investigaciones que vinculen el equilibrio con el rendimiento funcional específico del deporte (Zemková y Zapletalová, 2022) aún es un desafío. Estudios comparativos han demostrado que cada disciplina genera adaptaciones posturales únicas; por ejemplo, las deportistas ecuestres muestran variaciones en el eje anteroposterior distintas a las futbolistas (Viseu et al., 2021). Esto devela que los parámetros del control postural deben seleccionarse según su relevancia para la disciplina específica, orientando la validez ecológica como fundamental. Las evaluaciones en laboratorios convencionales suelen subestimar las adaptaciones del atleta; por el contrario, los estudios en deportes de "habilidades cerradas" que incorporan

elementos del entorno real obtienen una mayor validez y representatividad (Chang et al., 2022).

Dentro de este marco de evaluación, la cuantificación de las fluctuaciones del Centro de Presión (COP) a través de variables específicas resulta fundamental para objetivar el control postural del atleta. Como lo son el área de la elipse (mm^2) que representa la superficie total de la dispersión del COP, el desplazamiento (mm) que es la variabilidad de las oscilaciones en los ejes Anteroposterior (AP) y Mediolateral (ML), y la velocidad (mm/s) la cual es la longitud total de la trayectoria. Estas variables permiten interpretar con precisión la magnitud de la inestabilidad y el esfuerzo del sistema neuromuscular para mantener el equilibrio. La relevancia de estos parámetros radica en su capacidad para capturar ajustes biomecánicos sutiles que subyacen a la interacción entre el ciclista y su implemento.

Ante la falta de protocolos que identifiquen déficits posturales en condiciones representativas para ciclistas de élite, surge la presente investigación. Planteando la siguiente interrogante: ¿Cuáles son los parámetros del control postural, evaluado mediante plataformas de fuerza en una configuración ecológica, en ciclistas de pista de alto rendimiento?

Para abordar esta pregunta, el objetivo general de este estudio fue evaluar el control postural de ciclistas de pista en una configuración ecológica. De manera específica, se busca proponer un protocolo de evaluación sobre el sillín de la bicicleta, valorar el control postural mediante pruebas comparativas (ecológicas-convencionales) y analizar los parámetros obtenidos para fortalecer las estrategias de entrenamiento y prevención de lesiones en el ciclismo nacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio piloto se basó en un enfoque cuantitativo, es de tipo prospectivo, no experimental de diseño correlacional y transversal. La muestra estuvo compuesta por cinco ciclistas de alto rendimiento (dos mujeres y tres hombres), con una edad media de $26,6 (\pm 2,88)$ años, una estatura promedio de $178,6 (\pm 7,23)$ cm y un peso medio de $66,5 (\pm 7,54)$ kg. El reclutamiento se hizo contactando a la Federación Deportiva de Nacional de Ciclismo de Chile, FEDENACICH, realizando un llamado por redes sociales, afiches y visitas a los centros de entrenamiento.

Se establecieron criterios de inclusión específicos que exigían a las participantes presentar un estado de salud óptimo al momento del registro y no haber sufrido lesiones en los últimos seis meses. Asimismo, se requirió que las ciclistas tuvieran una experiencia siendo atletas federadas por al menos 3 años. Por el contrario, se definieron como criterios de exclusión el sufrir cualquier tipo de lesión o molestia durante el desarrollo del estudio, haber sido sancionada por dopaje durante la investigación o el consumo de sustancias estimulantes.

Esta investigación fue aprobada por el comité ético científico de la Universidad de

Santiago de Chile, USACH, n°592/2025. Se entregó un consentimiento informado para firmar a las participantes del estudio, detallando el procedimiento y los pasos de confidencialidad. Todo lo anterior ha sido elaborado de acuerdo con la declaración de Helsinki en 1961, y con la revisión de la 59° Asamblea General, Seúl, Corea, Octubre 2008 y conforme a la norma legal vigente de Chile (Decreto de Ley 20.120)

Procedimiento

El protocolo de evaluación se dividió en tres fases progresivas de estabilidad, donde todas las pruebas tuvieron una duración establecida de 30 segundos, con intervalos de descanso de 1 minuto entre condiciones.

Fase 1: Evaluación Bipedestación (Convencional)

Esta fase establece la línea base del control postural mediante posturografía estática estándar:

1. Superficie Firme: La participante se posiciona descalza sobre la plataforma de fuerza, brazos a los lados y pies paralelos. Se realizan dos registros: Ojos Abiertos (OA) y Ojos Cerrados (OC).
2. Superficie Inestable: Se añade una almohadilla de espuma (*foam*) sobre la plataforma para alterar la información propioceptiva. Se repiten los registros en OA y OC.(Lee et al., 2018)

Fase 2: Evaluación en Sedestación (Adaptada)

Se busca aislar el control del tronco eliminando la contribución de los miembros inferiores:

1. Sedestación Estable: La plataforma de fuerza se ubica en el asiento y una segunda plataforma (o base fija) en el reposapiés. La deportista permanece sentada con brazos cruzados al pecho (OA y OC).
2. Sedestación Inestable: Se interpone la espuma (*foam*) entre el asiento y la plataforma. Se repiten los registros (OA y OC).(Barbado et al., 2016)

Fase 3: Configuración Ecológica (Específica de Ciclismo)

Esta fase representa la mayor validez ecológica del estudio al replicar el punto de contacto real de la disciplina:

Sillín de Pista: Se integra el sillín sobre la plataforma de fuerza instalada en el asiento. La deportista debe estabilizarse sobre esta base estrecha con los pies en el reposapiés y brazos cruzados al pecho. Se registran las variables en OA y OC.

Tabla 1. Fases del procedimiento.

Fase	Superficie	Visión	Posición Brazos
1. Bipedestación	Firme	OA / OC	Sueltos a los lados
	Espuma	OA / OC	Sueltos a los lados
2. Sedestación	Firme	OA / OC	Cruzados al pecho
	Espuma	OA / OC	Cruzados al pecho
3. Ecológica	Sillín	OA / OC	Cruzados al pecho

Nota: OA = Ojos Abiertos; OC = Ojos Cerrados. Entre cada condición se aplicó un periodo de descanso de 1 minuto.

Figura 1. Bipedestación firme.

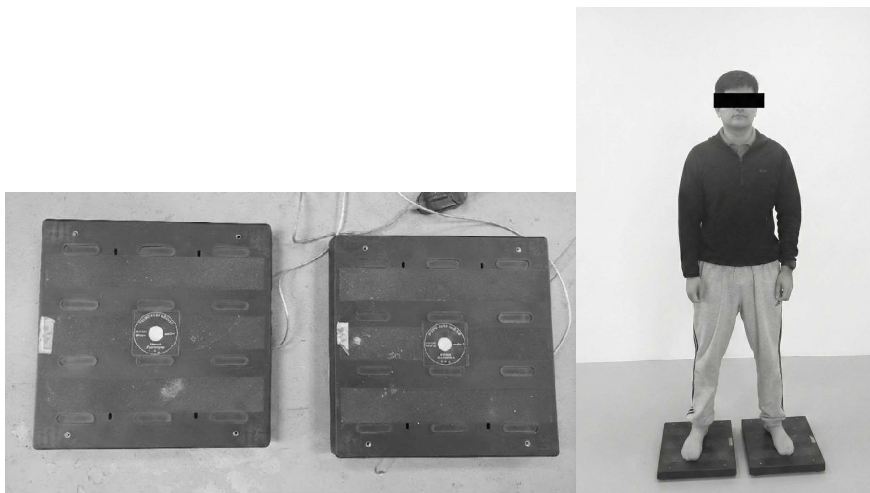


Figura 2. Bipedestación inestable.



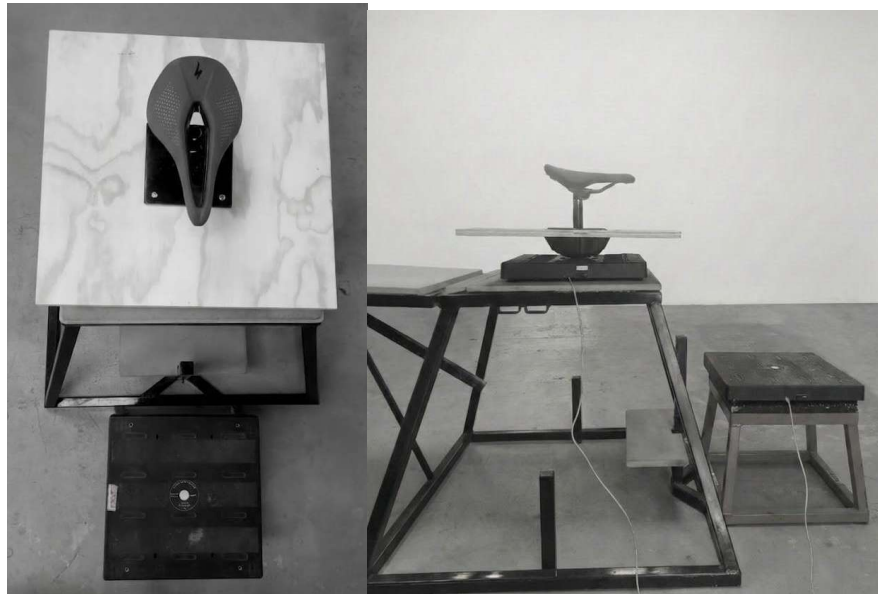
Figura 3. Sedestación estable.



Figura 4. Sedestación inestable.



Figura 5. Fase ecológica.



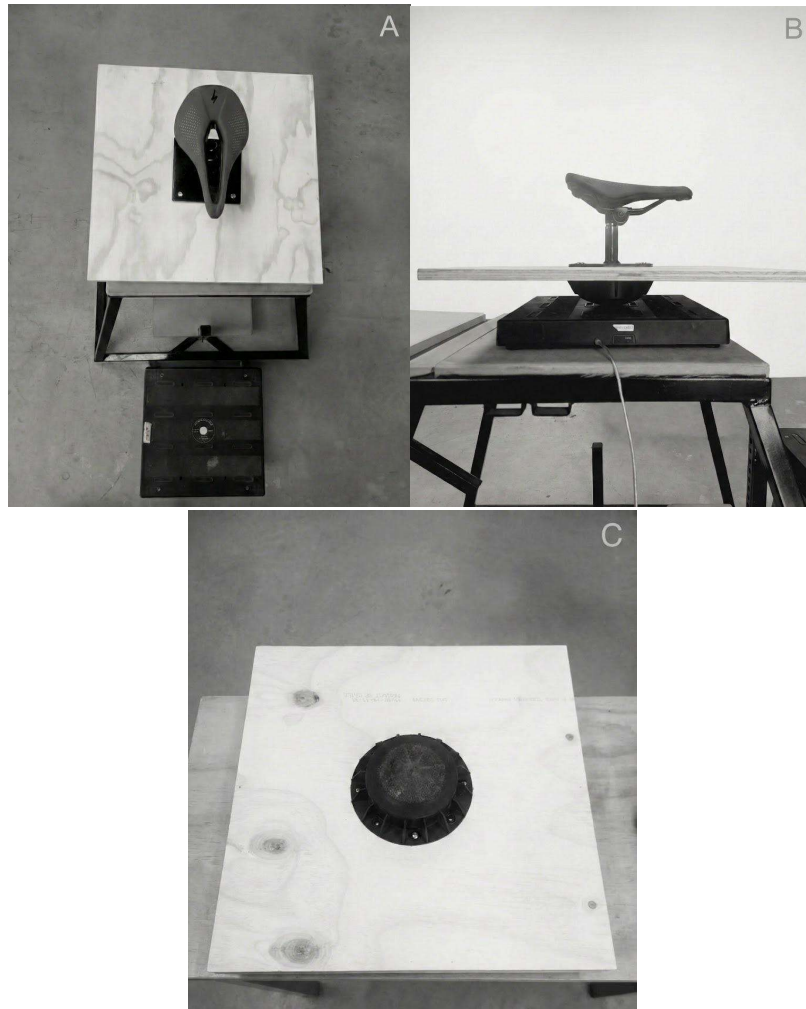
Instrumentos, equipo y variables

La evaluación de control postural se llevó a cabo mediante el uso de plataformas de fuerza PASCO® modelo PS-1201 (Silveira et al., 2016), diseñados para cuantificar las fluctuaciones del Centro de Presión (COP) en base al registro de celdas de cargas en sus extremos (Silva et al., 2017). Para garantizar la validez y fiabilidad de las mediciones, las plataformas fueron calibradas siguiendo las especificaciones del fabricante antes de cada sesión de recogida de datos. El registro y análisis de los datos fue realizado por el

software Forcedecks 2.0.0210v

Para las pruebas en sedestación, se utilizó una configuración ecológica diseñada para inducir inestabilidad controlada. Esta consistió en un sillín montado sobre un asiento plano donde la inestabilidad se generó mediante una semiesfera de 5,5 cm de altura y 11,5 cm de diámetro fijada en la base inferior del sillín.

Figura 6. Configuración ecológica.



Nota: A) vista desde arriba de la configuración; B) Vista de perfil de la configuración; C) Vista por debajo de la configuración.

Las señales de la plataforma de fuerza se procesaron para obtener la trayectoria del COP en cada repetición, calculando posteriormente los promedios para el análisis estadístico. Se seleccionaron las siguientes variables para caracterizar el control postural: a) área de la elipse (mm^2) que representa la superficie total de la dispersión del COP, donde un incremento en esta variable se interpreta como una disminución de la estabilidad; b) desplazamiento (mm) es la variabilidad de las oscilaciones en los ejes Anteroposterior (AP) y Mediolateral (ML), y c) velocidad (mm/s) la cual es la longitud total

de la trayectoria dividida por el tiempo de registro; es un indicador del esfuerzo del sistema postural para mantener el equilibrio.(Quijoux et al., 2021) y d) índice de Romberg que tiene el objetivo de cuantificar la contribución visual o propioceptiva al control postural (Segovia, 2009)

Análisis estadístico

Se utilizó estadística descriptiva e inferencial para el análisis de los datos. En primera instancia, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk; debido al tamaño reducido de la muestra ya que la distribución de las variables no cumplió con los criterios de normalidad en su totalidad, se optó por el uso de estadística no paramétrica.

Las variables continuas (Área del COP, Velocidad Media, Excursión Total y Desplazamientos AP/ML e índice de Romberg) se expresaron como mediana (Mdn), percentil 25(Q₁) y percentil 75(Q₃) para asegurar una representación robusta de la tendencia central ante posibles valores atípicos.

Para la fase inferencial, se utilizó la prueba de Wilcoxon para contrastar las diferencias entre superficies (estable vs. inestable) y condiciones visuales (ojos abiertos vs. ojos cerrados). Se aplicó la prueba de Friedman para evaluar las diferencias globales entre las tres configuraciones de sedestación (estable, inestable y ecológica), seguida de pruebas post-hoc cuando fue necesario. Se empleó el coeficiente de correlación de Spearman (rho) para determinar la asociación entre el rendimiento postural en bipedestación y la estabilidad en la configuración ecológica del sillón.

Complementariamente, se calcularon pruebas de superioridad para determinar la probabilidad de que los valores de oscilación en condiciones de inestabilidad fueran mayores a las basales, como medida de tamaño del efecto para valores no paramétricos.

Todos los análisis se realizaron considerando un valor de $p < 0.05$ como estadísticamente significativo. El procesamiento estadístico se llevó a cabo mediante el software Rstudio (v. 2025)

Resultados:

El análisis de los datos reveló diferencias en el comportamiento del Centro de Presión (COP) a través de las distintas configuraciones evaluadas.

En tabla 2, la evaluación de pie la transición de una superficie estable a una inestable provocó un aumento en la excursión total (Mdn estable=195 mm vs. Mdn inestable=260 mm) y en la velocidad media (6.5 mm/s vs. 8.7 mm/s). Sin embargo, el valor de contraste no fue significativo ($p = 0.059$) situándose levemente sobre el límite de la significancia. El test de Friedman mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en todas las variables área, desplazamiento y velocidad del COP durante las tareas sentadas.

En tabla 3, se observa la comparación de las pruebas en sedestación en superficie estable vs. la configuración ecológica. Se observó que la configuración ecológica presenta patrones de dispersión del COP únicos, ya que son significativamente más elevados. El área de la elipse en condición ecológica con ojos abiertos ($Mdn=202 \text{ mm}^2$) fue significativamente mayor a la sedestación estándar ($Mdn=15 \text{ mm}^2$), sugiriendo un ajuste biomecánico específico al implemento deportivo. Junto con lo anterior, se observa en todas las condiciones, que la supresión de la visión (OC) incrementó la velocidad del COP, siendo este efecto más pronunciado en la configuración ecológica (tabla 3), lo que subraya la dependencia de la retroalimentación visual en tareas de alta especificidad.

En tabla 3, se observa una correlación negativa fuerte ($\rho \approx -0.9$, $p < 0.05$) entre la estabilidad de pie y la estabilidad en la configuración ecológica. Esto indica que los atletas que presentan mayor oscilación en bipedestación no necesariamente reflejan esa inestabilidad sobre el sillín de configuración ecológica, sugiriendo una especificidad del control postural ligada al gesto técnico del ciclismo, en relación con las pruebas convencionales.

	Excursión total	Mdn: 557; Q ₁ :547; Q ₃ :622	p(w):0,059; p(s):0,03; rho: 0,7 p(sp): 0,188	p (w): 0,059; p (s):0,03; rho: 0,3 p(sp): 0,624
	Velocidad	Mdn: 18,6; Q ₁ :18,2; Q ₃ :20,7	p(w):0,059; p(s):0,03; rho: 0,7 p(sp): 0,188	p (w): 0,059; p (s):0,03; rho: 0,3 p(sp): 0,624
	Romberg	Mdn: 186,9; Q ₁ :137,7; Q ₃ :238,6	p(w):0,28; p(s): 0,140; rho:0,1 p(sp):0,873	p (w): 0,059; p (s): 0,03; rho: 0,6 p(sp): 0,285

Nota: Mdn=mediana; Q₁= Primer cuartil; Q₃= Tercer cuartil; p (w)= valor p Wilcoxon pareado; p (s)= valor p superioridad; rho= Rango rho de spearman; p (sp)= valor p de spearman

Tabla 3. Principales resultados comparación entre bipedestación estables e inestables con evaluación ecológica

		Sedestación						
		Ecológico						
		OA			OC			ROMBERG
		Área	Excursión Total	Velocidad	Área	Excursión Total	Velocidad	
		Mdn: 202; Q ₁ :161; Q ₃ :209	Mdn: 372; Q ₁ :356; Q ₃ :381	Mdn: 12,4; Q ₁ :11,9; Q ₃ :12,7	Mdn: 378; Q ₁ :158; Q ₃ :441	Mdn: 634; Q ₁ :455; Q ₃ :674	Mdn: 21,1; Q ₁ :15,2; Q ₃ :22,5	Mdn: 218,3; Q ₁ :136,7 Q ₃ :234,7
B i p e d e s t a c i ó n	E s t a b l e	O A	Área	Mdn: 19; Q ₁ :18; Q ₃ :23	p(w):0,059; p(s):0,985; rho: -0,2 p(sp): 0,747			
		Excursión total	Mdn: 195; Q ₁ :181; Q ₃ :202	p (w): 0,059; p (s):0,985; rho: -0,9 p(sp): 0,037				
		Velocidad	Mdn: 6,5; Q ₁ :6; Q ₃ :6,7	p(w): 0,059; p (s):0,985; rho: -0,9 p(sp): 0,037				
	I n e s t a b l e	O C	Área	Mdn: 16; Q ₁ :8; Q ₃ :23	p(w): 0,059; p (s):0,985; rho: -0,7 p(sp): 0,188			
			Excursión total	Mdn: 232; Q ₁ :205; Q ₃ :273	p(w): 0,059; p (s):0,985; rho: -0,6 p(sp): 0,285			
			Velocidad	Mdn: 7,7; Q ₁ :6,8; Q ₃ :9,1	p(w): 0,059; p (s):0,985; rho: -0,6 p(sp): 0,285			
		Romberg	Mdn: 77,7; Q ₁ :69,5;	p(w): 0,105; p (s): 0,970; rho:0,1 p(sp):0,873				

i n e s t a b l e		Q ₃ :92,5							
	O A	Área	Mdn: 44; Q ₁ :39; Q ₃ :45	p(w): 0,059; p (s):0,985; rho: - 0,8 p(sp): 0,104					
		Excursión total	Mdn: 260; Q ₁ :229; Q ₃ :264	p(w): 0,059; p (s):0,985; rho: -0,9 p(sp): 0,037					
		Velocidad	Mdn: 8,7; Q ₁ :7,6; Q ₃ :8,8	p(w):0,059; p (s):0,985; rho: -0,9 p(sp): 0,037					
	O C	Área	Mdn: 86; Q ₁ :62; Q ₃ :88	p(w):0,059; p (s):0,985; rho: 0,3 p(sp): 0,624					
		Excursión total	Mdn: 557; Q ₁ :547; Q ₃ :622	p(w):1; p (s):0,606; rho: -0,3 p(sp): 0,624					
		Velocidad	Mdn: 18,6; Q ₁ :18,2; Q ₃ :20,7	p(w):1; p (s):0,606; rho: -0,3 p(sp): 0,624					
		Romberg	Mdn: 186,9; Q ₁ :137,7; Q ₃ :238,6	p(w):0,418; p (s): 0,209; rho:0,9 p(sp): 0,037					

Nota: Mdn=mediana; Q₁= Primer cuartil; Q₃= Tercer cuartil; p (w)= valor p Wilcoxon pareado; p (s)= valor p superioridad; rho= Rango rho de spearman; p (sp)= valor p de spearman

Discusión

El objetivo de este estudio fue evaluar el control postural de ciclistas de pista bajo una configuración ecológica, con la proyección de proponer un protocolo de evaluación sobre el sillín que permita identificar parámetros biomecánicos específicos en condiciones más similares a la práctica del deporte. La relevancia de esta investigación radica en la necesidad de superar la actual carencia de protocolos representativos para el deporte de élite en ciclismo, ya que las pruebas convencionales logran capturar parcialmente los déficits posturales que emergen durante el gesto deportivo (Turpin y Watier, 2020). Al contrastar las condiciones ecológicas con las tradicionales, este trabajo no solo busca caracterizar el comportamiento del centro de presiones en atletas de alto rendimiento, sino también proporcionar avances científicos que optimicen el entrenamiento y fortalecer las estrategias preventivas, contribuyendo así al desarrollo técnico y competitivo del ciclismo nacional.

La presente investigación revela una marcada especificidad del control postural en ciclistas de pista de alto rendimiento, destacando que las pruebas de equilibrio convencionales no son, posiblemente valoraciones adecuadas de la estabilidad técnica específica del deporte. Un ejemplo de esto también se evidencia en el estudio realizado por Buchholtz et al. (2022) en donde se establece que las pruebas tradicionales de equilibrio en bipedestación mostraron una escasa correlación con el rendimiento ciclista.

El hallazgo más relevante de esta investigación es la correlación negativa fuerte entre la excursión total del Centro de Presión (COP) en bipedestación y la configuración ecológica ($\rho = -0.9$; $p = 0.037$). Esta asociación inversa sugiere que una mayor estabilidad en pruebas convencionales de posturografía de pie no se traduce en una mejor estabilidad sobre el sillín, lo que refuerza la teoría de las adaptaciones posturales únicas según la disciplina. Estos resultados concuerdan con lo planteado por Viseu et al. (2021), quienes señalan que cada deporte genera variaciones específicas en los ejes de movimiento del COP según sus propias demandas técnicas. En relación con lo anterior, Paillard et al. (2016) establecieron que las actividades deportivas repetidas regularmente inducen adaptaciones estructurales y funcionales de la función postural que mejoran el rendimiento postural y refinan la estrategia postural utilizada. En ciclistas de alto rendimiento, el sistema sensoriomotor está altamente adaptado a la interacción con el sillín (Guiotto et al., 2022), lo que podría explicar por qué las pruebas de equilibrio convencionales (de pie) no predicen el comportamiento postural específico en el gesto deportivo.

Desde una perspectiva biomecánica, la configuración ecológica mostró patrones de dispersión del COP significativamente distintos a la sedestación estándar. Este fenómeno se explica por la exigencia técnica del ciclismo de pista, donde el uso de piñón fijo y velocidades elevadas demandan una integración más sensible de la información sensorial bajo una base de sustentación reducida y dinámica, como lo es el sillín. La dependencia crítica del sistema visual se hizo evidente al suprimir la visión (ojos cerrados), lo que incrementó la velocidad del COP de forma más pronunciada en la prueba ecológica que en las pruebas convencionales. Este aumento de la velocidad de balanceo es un predictor clave del estado musculoesquelético y sugiere que, ante la inestabilidad propia del implemento deportivo, el atleta recurre a una estrategia de control visual predominante para

compensar la alta demanda sobre la cadena posterior y la musculatura central. Por lo que tal como aseveran Sasaki et al. (2024) la privación visual impacta en el control motor.

Finalmente, las diferencias en las variables de excursión total, velocidad y área del COP en condiciones de sedestación confirman que la validez ecológica es fundamental para capturar los ajustes biomecánicos reales. Zemková y Zapletalová (2022), demostraron que existe una brecha entre el equilibrio general y el rendimiento funcional; por tanto, el protocolo propuesto sobre sillín con base inestable se posiciona como una herramienta sensible para identificar déficits que las pruebas convencionales de control postural subestiman. La diferencia significativa encontrada entre la sedestación estándar y la configuración ecológica posiciona la hipótesis de que la evaluación ecológica del control postural en ciclistas de pista revelará patrones específicos del centro de presión.

Esta investigación puede relacionarse con investigaciones relacionadas a la reponderación visual (visual re-weighting). Assländer y Peterka (2016) analizaron cómo el cerebro prioriza una entrada sensorial (como la visión) cuando otra (como la propioceptiva) es alterada por una base inestable, lo cual respalda la idea de que el entrenamiento de "propiocepción" en ciclismo debe incluir tareas con privación visual y esto podría mejorar el control postural de los atletas. A su vez en el deporte tal como evidencia Woods et al. (2020), las pruebas de laboratorio deben replicar las restricciones del entorno real, para capturar el verdadero rendimiento de los atletas ya que los comportamientos surgen de las interacciones continuas en el sistema deportista-entorno.

La principal limitante de este estudio piloto radica en el tamaño reducido de la muestra, restringiendo la posibilidad de generalizar los resultados a la población global de ciclistas de pista. Debido a la naturaleza no paramétrica de los datos y al número de participantes, algunos valores de significancia estadística, como los obtenidos en la transición de bipedestación estable a inestable, se situaron en el límite crítico ($p=0.059$). Asimismo, aunque la configuración ecológica diseñada con un sillín sobre una base inestable demostró ser una herramienta sensible para capturar ajustes biomecánicos específicos, el protocolo actual se realizó en condiciones estáticas y de laboratorio. Esto deja fuera variables dinámicas propias de la competencia real, tales como la cadencia de pedaleo o el efecto de la fatiga acumulada (Rannama et al., 2016). Sin embargo, los resultados establecen un precedente metodológico para la evaluación biomecánica del ciclismo de alto rendimiento. Una proyección de corto plazo, es replicar este protocolo en una muestra mayor, incluyendo comparativas por sexo y especialidad dentro del ciclismo. Dado que se identificó una dependencia crítica del sistema visual para mantener la estabilidad sobre el sillín, se sugiere que los planes de entrenamiento de "propiocepción" o estabilidad del core incorporen tareas con privación o distorsión visual para fortalecer los sistemas vestibular y somatosensorial.

Finalmente, el uso de esta configuración ecológica puede integrarse en las evaluaciones de la Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte (UCAD) del Instituto Nacional del Deporte (IND), para monitorear el estado del atleta y alcanzar algunos beneficios preventivos en lesiones como la lumbalgia.

Conclusiones:

A partir de los hallazgos obtenidos en este estudio piloto sobre el control postural en ciclistas de pista de alto rendimiento, se derivan las siguientes conclusiones:

- Se confirma que el control postural en atletas de élite presenta una alta especificidad técnica. La configuración ecológica demostró ser una herramienta sensible para capturar patrones de movimiento que las pruebas convencionales en bipedestación no logran detectar.
- El sistema visual emerge como un modulador crítico de la estabilidad en condiciones de alta especificidad. El aumento significativo de la velocidad y el área del COP durante las pruebas con ojos cerrados en la configuración ecológica evidencia que, ante la inestabilidad del implemento, las ciclistas dependen prioritariamente del feedback visual para compensar la reducción de la base de sustentación. Por lo que se sugiere que el entrenamiento de "propiocepción" también debería incluir tareas con privación o distorsión visual para fortalecer los sistemas vestibular y somatosensorial.
- Si bien el tamaño de la muestra es limitado, este estudio establece un precedente metodológico para la caracterización biomecánica del ciclismo femenino de alto rendimiento. Se recomienda para futuras investigaciones ampliar la muestra.

Referencias

Andreeva, A., Melnikov, A., Skvortsov, D., Akhmerova, K., Vavaev, A., Golov, A., Draugelite, V., Nikolaev, R., Chechelnicakaia, S., Zhuk, D., Bayerbakh, A., Nikulin, V., y Zemková, E. (2021). Postural stability in athletes: The role of sport direction. *Gait & Posture*, 89, 120-125. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.07.005>

Assländer, L., & Peterka, R. J. (2016). Sensory reweighting dynamics following removal and addition of visual and proprioceptive cues. *Journal of Neurophysiology*, 116(2), 272–285. <https://doi.org/10.1152/jn.01145.2015>

Barbado, D., Lopez-Valenciano, A., Juan-Recio, C., Montero-Carretero, C., Van Dieën, J. H., & Vera-Garcia, F. J. (2016). Trunk stability, trunk strength and sport performance level in judo. *PLoS ONE*, 11(5), e0156267. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156267>

Buchholtz, K., Lambert, M., & Burgess, T. (2022). The ecological validity of traditional standing and novel bicycle balance and agility tests for predicting performance in mountain bikers. *Sports Medicine and Health Science*, 4(4), 287–292. <https://doi.org/10.1016/j.smhs.2022.10.003>

Chang, M., Büchel, D., Reinecke, K., Lehmann, T., & Baumeister, J. (2022). Ecological validity in exercise neuroscience research: A systematic investigation. *European Journal Of Neuroscience*, 55(2), 487-509. <https://doi.org/10.1111/ejn.15595>

Ghamkhar, L., & Kahlaee, A. H. (2019). The effect of trunk muscle fatigue on postural control of upright stance: A systematic review. *Gait & Posture*, *72*, 167-174. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.06.010>

Guiotto, A., Spolaor, F., Albani, G., & Sawacha, Z. (2022). Could Proprioceptive Stimuli Change Saddle Pressure on Male Cyclists during Different Hand Positions? An Exploratory Study of the Effect of the Equistasi® Device. *Sports*, *10*(6), 88. <https://doi.org/10.3390/sports10060088>

Haeberle, H. S., Navarro, S. M., Power, E. J., Schickendantz, M. S., Farrow, L. D., & Ramkumar, P. N. (2018). Prevalence and Epidemiology of Injuries Among Elite Cyclists in the Tour de France. *Orthopaedic Journal Of Sports Medicine*, *6*(9), 232596711879339. <https://doi.org/10.1177/2325967118793392>

Hurtado, A. F. V., Rujana, D. M. R., Dorado, E. F. P., & Pinzón, P. V. (2024). Control postural estático y estabilidad del Core en deportistas de alto rendimiento. *Revista Ciencias de la Salud*, *22*(3), 1-19. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/revsalud/a.12106>

Ministerio del Deporte, Instituto Nacional de Deportes, (2022). Lineamientos Unidad De Ciencias Aplicadas Al Deporte 2022-2028». (1a ed.), Santiago de Chile

Lee, D., Kim, H., An, H., Jang, J., Hong, S., Jung, S., Lee, K., Choi, M., Lee, K., & Lee, G. (2018). Comparison of postural sway depending on balance pad type. *Journal of Physical Therapy Science*, *30*(2), 252–257. <https://doi.org/10.1589/jpts.30.252>

Olivier, A., Viseu, J., Vignais, N., & Vuillerme, N. (2019). Balance control during stance - A comparison between horseback riding athletes and non-athletes. *PLoS ONE*, *14*(2), e0211834. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211834>

Paillard, T. (2016). Plasticity of the postural function to sport and/or motor experience. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *72*, 129-152. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.11.015>

Quijoux, F., Nicolai, A., Chairi, I., Bargiotas, I., Ricard, D., Yelnik, A., Oudre, L., Bertin-Hugault, F., Vidal, P., Vayatis, N., Buffat, S. y & Audiffren, J. (2021). A review of center of pressure (COP) variables to quantify standing balance in elderly people: Algorithms and open-access code*. *Physiological Reports*, *9*(22), e15067. <https://doi.org/10.14814/phy2.15067>

Rannama, I., Pedak, K., Bazanov, B., & Port, K. (2017). Cycling specific postural stability during incremental exercise: The relationship with cyclists functional movement screen score. *Journal of Human Sport and Exercise*, *12*(1), 83-95. [doi:10.14198/jhse.2017.121.07](https://doi.org/10.14198/jhse.2017.121.07)

Rannama, I., Pedak, K., Reinpõld, K., & Port, K. (2016). Pedalling Technique and Postural Stability During Incremental Cycling Exercise – Relationship with Cyclist FMSTM Score. *LASE Journal of Sport Science*, 7(1), 1–18. <https://doi.org/10.1515/ljss-2016-0009>

Sasaki, A., Nagae, H., Furusaka, Y., Yasukawa, K., Shigetoh, H., Kodama, T., & Miyazaki, J. (2024). Visual Deprivation's Impact on Dynamic Posture Control of Trunk: A comprehensive sensing information analysis of neurophysiological mechanisms. *Sensors*, 24(17), 5849. <https://doi.org/10.3390/s24175849>

Segovia, J. (2009). *Valores podoestabilométricos en la población deportiva infantil*. Universidad Complutense de Madrid. <https://docta.ucm.es/entities/publication/4292f1c3-70a5-4b0a-92bb-19bb18233ae6>

Silva, M. G., Moreira, P. V. S., & Rocha, H. M. (2017b). Development of a low cost force platform for biomechanical parameters analysis. *Research on Biomedical Engineering*, 33(3), 259–268. <https://doi.org/10.1590/2446-4740.01217>

Silveira, R. P., Stergiou, P., Carpes, F. P., De S Castro, F. A., Katz, L., & Stefanyshyn, D. J. (2016). Validity of a portable force platform for assessing biomechanical parameters in three different tasks. *Sports Biomechanics*, 16(2), 177–186. <https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1213875>

Turpin, N. A., & Watier, B. (2020). Cycling Biomechanics and Its Relationship to Performance. *Applied Sciences*, 10(12), 4112. <https://doi.org/10.3390/app10124112>

Viseu, J., Yiou, E., Vignais, N., & Olivier, A. (2021). Postural Control Specificities According to Sports Expertise: A Comparison between Female Soccer Players, Horseback Riders and Non-Athletes. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3944521>

Woods, C. T., Rothwell, M., Rudd, J., Robertson, S., & Davids, K. (2020). Representative co-design: Utilising a source of experiential knowledge for athlete development and performance preparation. *Psychology of Sport and Exercise*, 52, 101804. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2020.101804>

Zemková, E., & Zapletalová, L. (2022). The Role of Neuromuscular Control of Postural and Core Stability in Functional Movement and Athlete Performance. *Frontiers In Physiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.796097>