

¡DE MÉXICO 1968 A TOKYO 2021!

BASES FISIOLÓGICAS DE LA EXPOSICIÓN PASIVA Y AL EJERCICIO FÍSICO EN HUMANOS A LA ALTITUD:
ALTITUD TERRESTRE NATURAL (HIPOXIA HIPOBÁRICA) Y ARTIFICIAL (HIPOBARIA + NORMOBARIA)



Santiago Sanz Quinto

PhD. Fisiología del Ejercicio

Servicio de Fisiología del Ejercicio y Optimización del Rendimiento del CPE

Asesor Fisiológico de Atletas

fisiologia@paralimpicos.es



1. PREDICTORES DE RENDIMIENTO

Tabla 1. Consumo de oxígeno (VO_2) y frecuencia cardíaca (FC) en atletas parapléjicos durante una maratón.

VO_2 ($mL \cdot Kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	FC (Latidos $\cdot min^{-1}$)
$35,0 \pm 3,8$	$171,6 \pm 20,5$

Fuente. Asayama et al., 1998

- ✓ Economía de carrera
- ✓ % VO_2 en VT2
- ✓ VO_{2max}
- ✓ Volumen
- ✓ Distribución de intensidad



Tabla 2. Predictores de rendimiento en maratonianos a pie de élite mundial.

	Economía de carrera ($mL O_2 \cdot Kg^{-1} \cdot Km^{-1}$)	Fracción VO_2 en VT2 (% respecto VO_{2max})	VO_{2max} ($mL O_2 \cdot Kg^{-1} \cdot Km^{-1}$)
Mujeres	175	~85	~70
Hombres	153 / 191 ± 19	~85 / 94 ± 3	~75 / 67

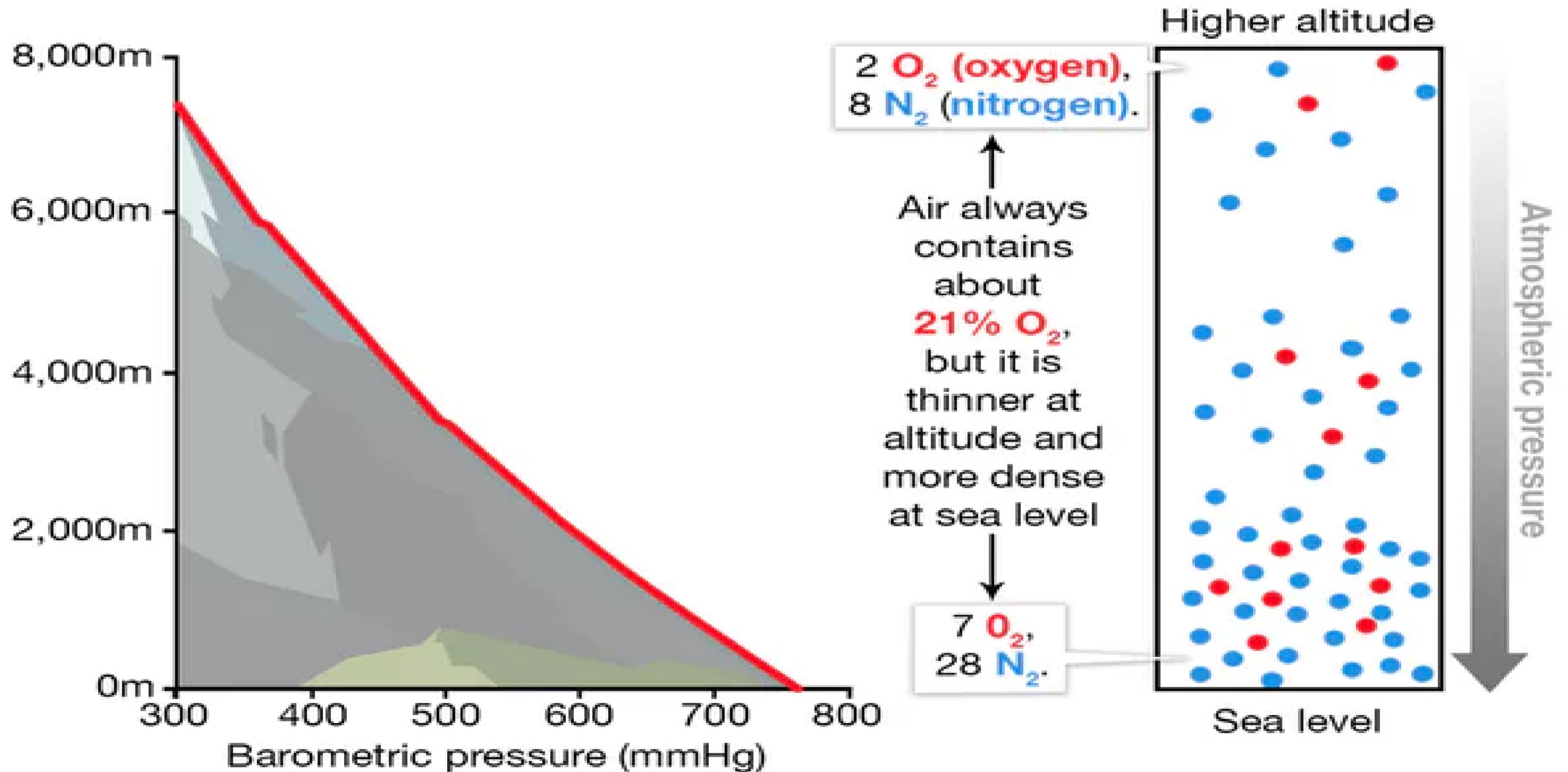
Fuente. Davies & Thompson, 1979; Joyner, 1991; Smith et al., 2000; Jones et al., 2006; Lucia et al., 2006; **Jones et al., 2020.**

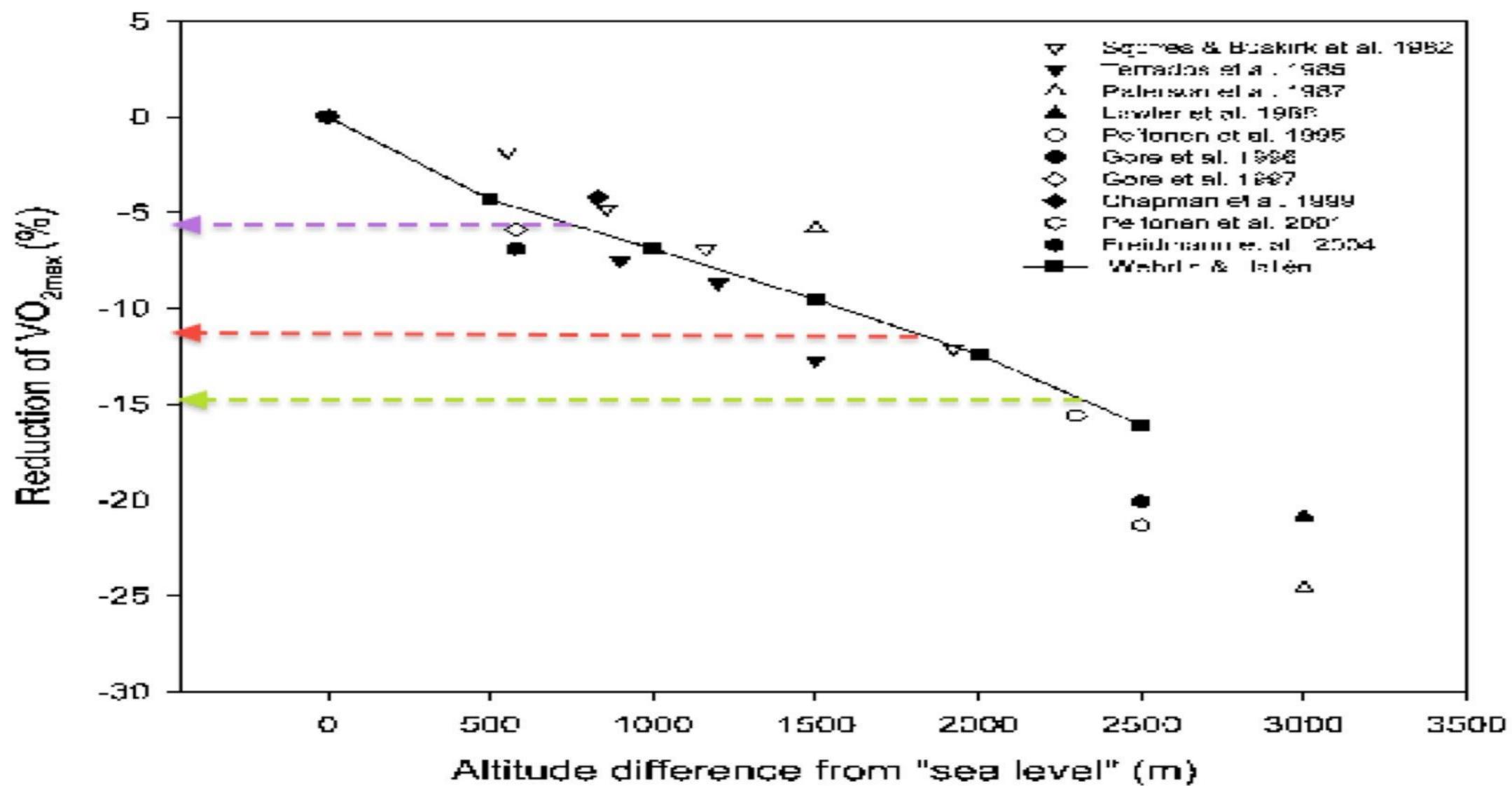
Tabla 3. Volumen de carga y distribución del volumen por intensidades en 3 maratonianos de élite.

Volumen ($km \cdot semana^{-1}$)	Volumen $\leq VT1 - VT2 - VO_{2max}$
182 - 231	74 - 11 - 15

Fuente. Stellingwerff, 2012.

The impact of altitude on oxygen levels





Granada (~700 m) — — —

CAR Sierra Nevada (2320 m) — — —

Las Viboras (~1700 m) - - -

CONSUMO MÁXIMO DE OXÍGENO A NIVEL DEL MAR Y 3,090-M DE ALTITUD EN CAMPEONES DE ATLETISMO UNIVERSITARIO



N = 6 atletas universitarios
 Edad = (15,5 a 19,2 años)
 Marca en 1 Milla (259 a 266 s)

10 h Viaje



- 6 semanas previas a altitud 58 – 95 km · semana⁻¹
- 17 días en altitud 79 – 134 km · semana⁻¹

10 h Viaje



Altitud	16 m	3090 m	3090 m	3090 m	3090 m	3090 m	3090 m	16 m
Localidad	Davis	Laboratorio de Crooked Creek , California						Davis
Día	1	3	5	8	11	15	17	19



Test en tapiz a velocidad constante (250 m · min⁻¹) con inclinación inicial de 0°, 3° a los 3min, ↑ 1,5° cada 3 min



Laboratorio de Crooked Creek

	Duración test	VO _{2max} (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	FC _{max} (latidos · min ⁻¹)	Lactato sanguíneo (mg · 100 mL ⁻¹)
Previo a altitud (1)	9min20s	72,0	197	107
Altitud (2)	6min49s	59,3	186	87
	Δ 1 – 2 (-27,0 %)	Δ 1 – 2 (-17,6 %)	Δ 1 – 2 (-5,6 %)	Δ 1 – 2 (-18,7 %)
Posterior a altitud (3)	11min35s	75,6	196	94
	Δ 1 – 3 (+24,1 %)	Δ 1 – 3 (5 %)		Δ 1 – 3 (-12,2 %)



Menor VO_{2max} en día 4º o 7º

Día	Cambio medio VO _{2max} (%)
2	-17,6
4	-20,5
7	-20,5
10	-15,1
14	-18,3
16	-15,6
Post	+4,2

- ✓ Descenso medio (7 %) del VO₂ usado, relacionado al O₂ requerido a una velocidad/ inclinación determinada al regresar de altitud
- ✓ Según la regla de Buskirk, la disminución de VO_{2max} a 3090 m de altitud sería del ~16 %



CREADO POR SANTIAGO SANZ

@santirun

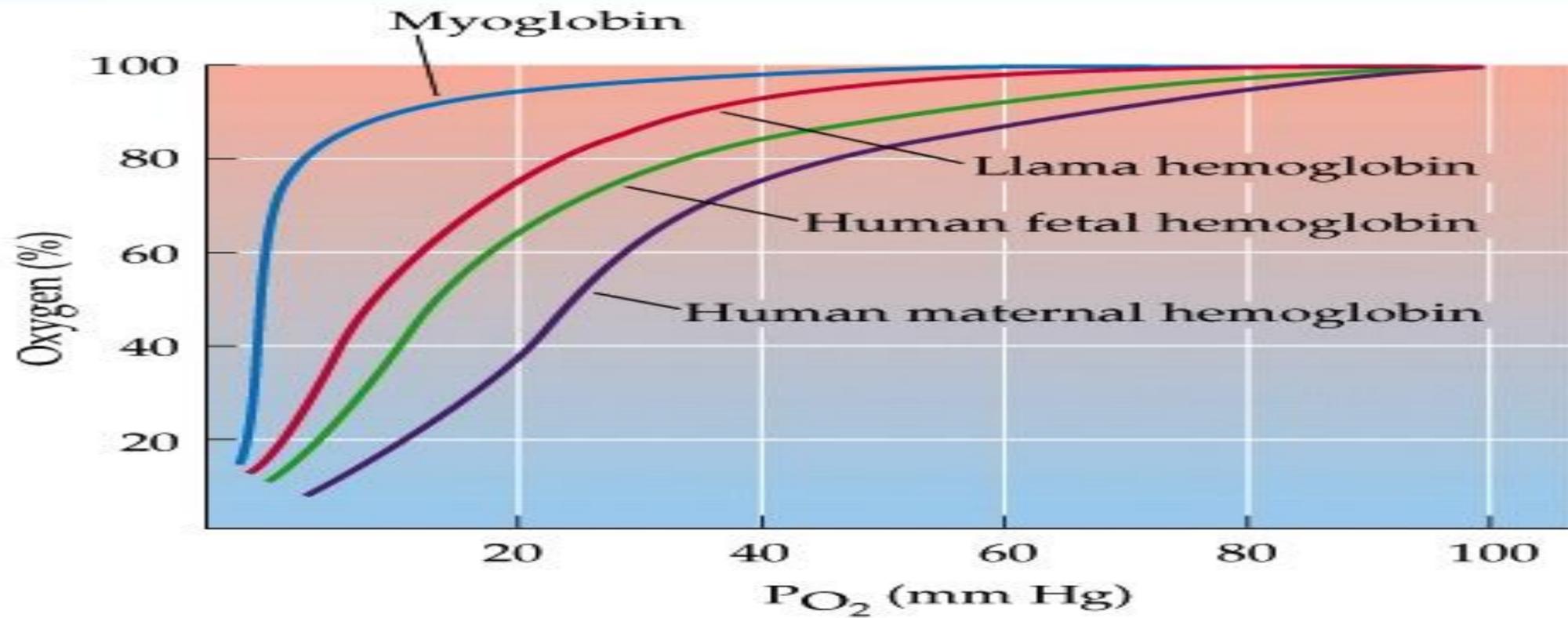
Fisiólogo del Ejercicio

wingsoffreedom80

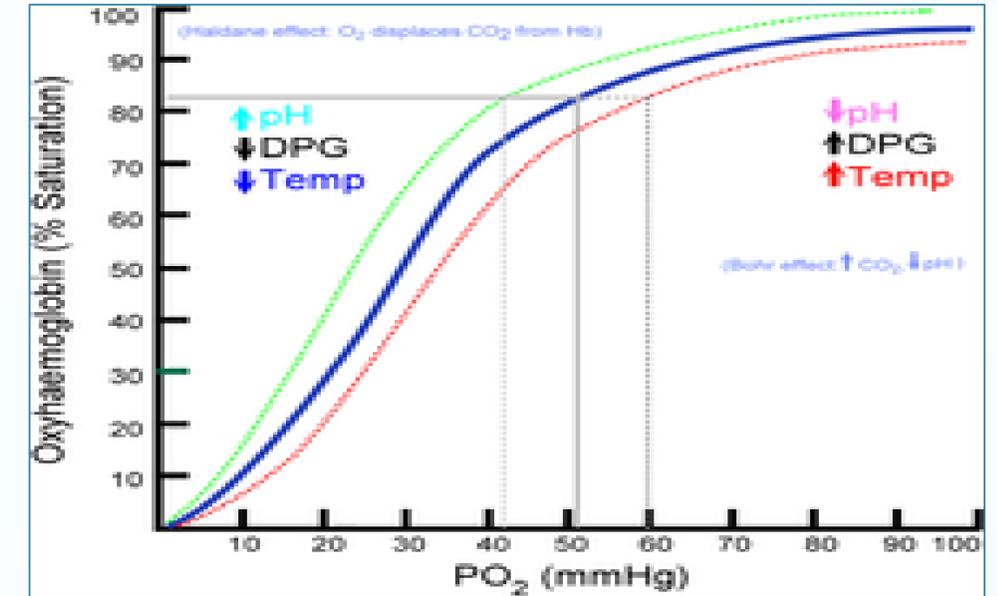
contact@santiago-sanz.com

Dill DB, & Adams WC. Maximal oxygen uptake at sea level and at 3,090-m altitude in high school champion runners. *Journal of Applied Physiology*. (1971);30(6):854-859.

CURVA DE DISOCIACIÓN OXIHEMOGLOBINA HbO₂ EN CAMÉLIDOS HIGHLANDERS Y HUMANOS

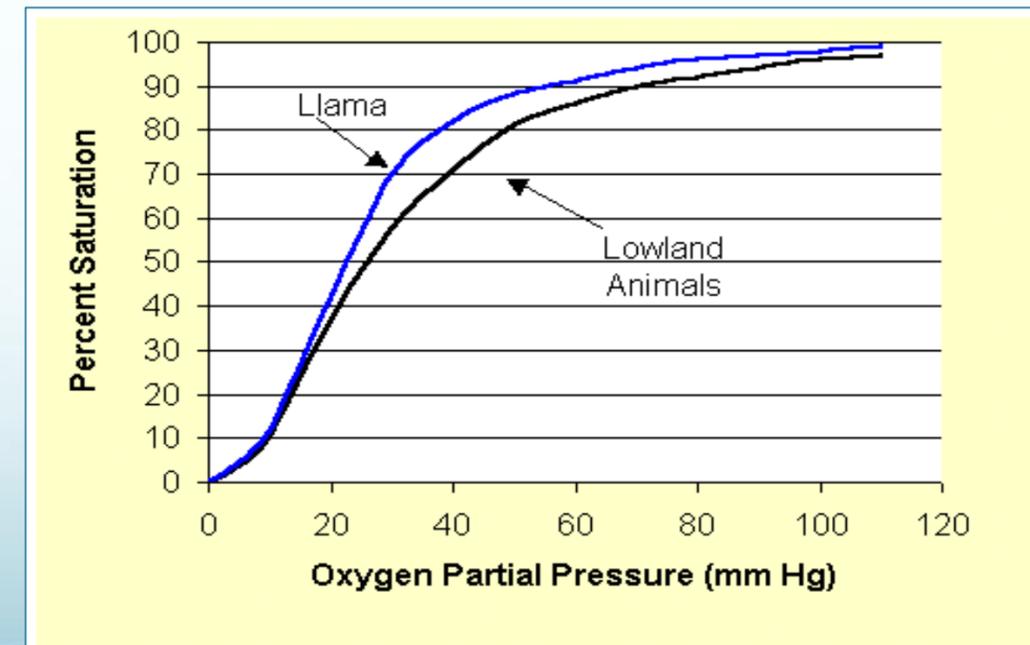


© 2001 Sinauer Associates, Inc.



Mairbäurl H, Weber RE. Oxygen transport by hemoglobin. *Compr Physiol*. 2012;2:1463-1489.

✓ Disminuye la saturación de oxígeno en hemoglobina arterial (hipoxemia)



CARDIOPROTECCIÓN EN ANDINOS RESIDENTES EN GRAN ALTITUD

ANTECEDENTES

- ◆ LOWLANDERS EXPUESTOS A AMBIENTES POCOS EN O_2 ↑ ARRITMIAS
- ◆ LOWLANDERS A 5050 m DE ALTITUD, PRESENTAN ARRITMIAS EN APNEA
- ◆ LOS SHERPAS PRESENTAN MECANISMOS DE CARDIOPROTECCIÓN
- ◆ SE DESCONOCE SI ESTO OCURRE EN ANDINOS
- ◆ ANDINOS HAN VIVIDO MENOS TIEMPO EN ALTITUD QUE OTROS HIGHLANDERS

PARTICIPANTES

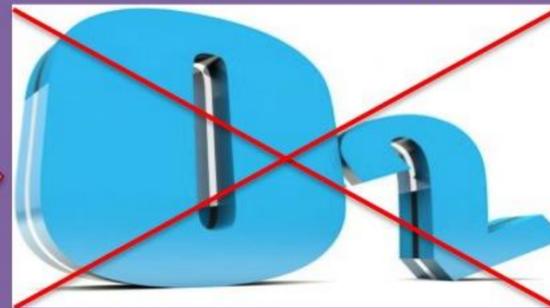


- ◇ n = 17 ANDINOS RESIDENTES A ~4300 m ALTITUD
- ◇ n = 8 PRESENTAN MAL CRÓNICO DE MONTAÑA (CMS+)
- ◇ n = 9 NO PRESENTAN CMS (CMS-)
- ◇ CMS+ EXCESIVA ERITROCITOSIS ($hb > 21 \text{ g} \cdot \text{dL}^{-1}$)
- ◇ n = 13 RESIDENTES DE BAJA ALTITUD (LOW)

DISEÑO DE ESTUDIO

10 MIN ECG REPOSO

APNEA ESPIRATORIA
MÁXIMA FORZADA



- ✓ FRECUENCIA CARDÍACA (FC)
- ✓ PRESIÓN ARTERIAL
- ✓ MEDIA (MAP)
- ✓ SISTÓLICA (SP)
- ✓ DIASTÓLICA (DP)
- ✓ SO_2



- ✓ SE IDENTIFICAN ANORMALIDADES DE LAS ONDAS DEL ECG EN LOS 3 LATIDOS PREVIOS Y POSTERIORES AL FINAL DE LA APNEA

HALLAZGOS Y COCLUSIÓN

- ① FC DE REPOSO SIMILAR ENTRE CMS- Y CMS+ (69 ± 8 vs. 62 ± 11 LATIDOS \cdot MIN⁻¹).
- ② FC DE REPOSO ↑ ($P < 0,05$) EN LOW COMPARADA A CMS+ (62 ± 11 LATIDOS \cdot MIN⁻¹).
- ③ SO_2 DE REPOSO SIMILAR ENTRE CMS-, CMS+ Y LOW (80 ± 5 vs. 82 ± 1 vs. 82 ± 1 %).
- ④ ECG MOSTRÓ SIMILAR ONDA P DEL ECG ENTRE CMS- Y CMS+, MIENTRAS EN LOW FUE MÁS CORTA COMPARADA A CMS- (161 ± 23 vs. 239 ± 103 ms; $P < 0,05$).
- ⑤ LA DURACIÓN DE LA APNEA FUE SIMILAR ENTRE CMS- Y CMS+, PERO EN LOW SE OBSERVARON REGISTROS MÁS CORTOS ($P < 0,01$) COMPARADO A CMS-/+ (23 ± 8 vs. 33 ± 21 vs. 13 ± 3 s).
- ⑥ SO_2 EN APNEA FUE SIMILAR ENTRE CMS-/+ Y LOW (78 ± 3 vs. 74 ± 5 vs. 79 ± 4 %).
- ⑦ CMS-/+ TUVIERON MENOR MAP, SP Y DP EN REPOSO COMPARADO A LOW ($P < 0,05$).
- ⑧ CMS-/+ Y LOW ↑ MAP, SP Y DP ($P < 0,05$) EN APEA COMPARADO A REPOSO. EN LOW FUE ↑ ($P < 0,05$) COMPARADA A CMS-/+ . NO HUBO DIFERENCIAS EN DP ENTRE LOW Y CMS-.
- ⑨ LOW MOSTRÓ BRADICARDIA ANTES DEL FINAL DE APNEA (-32 LATIDOS \cdot MIN⁻¹)
- ⑩ n = 1 EN CMS- vs. n = 8 EN LOW DESARROLLARON EPISODIOS ARRÍTMICOS.

¡LOWLANDERS PRESENTAN UN MAYOR RIESGO DE DESARROLLAR ANORMALIDADES DE CONDUCCIÓN CARDÍACA EN ALTITUD COMPARADO A NATIVOS RESIDENTES EN ALTITUD!



CREADO POR SANTIAGO SANZ

Fisiólogo del Ejercicio del Comité Paralímpico Español



Busch SA, van Diepen S, Steele AR, Meah VL, Simpson LL, Figueroa-Mujica RJ et al. Global REACH: Assessment of brady-arrhythmias in Andeans and Lowlanders during apnea at 4330 m. *Frontiers in Physiology*. (2020);10:1603.

Doi: 10.3389/fphys.2019.01603

2. ENTRENAMIENTO EN ALTITUD

2.2.1 Objetivos fisiológicos del entrenamiento en altitud en disciplinas de larga duración

- Incremento RBC y Hb_{mass} → VO_{2max} a nivel del mar (SL) y altitud (Rusko et al., 2004)

2.2.2 Mecanismos fisiológicos que inducen un incremento de la eritropoyesis en altitud



Figura 1. Relación presión parcial de oxígeno y eritropoyetina plasmática.

Fuente. Eckardt., (1989).

Tabla 4. Oscilaciones eritropoyetina plasmática (EPO) en altitud y al regresar a nivel del mar.

	2 horas	3-4 días	Regreso SL
EPO	↑	↔ ↓	Regresa a Pre ↓ respecto a Pre

Fuente. Eckardt et al., 1989; Stray-Gundersen et al., 2001; Berglund et al., 2002; Wehrlin et al., 2006; Robach et al., 2007; Garvican et al., 2012; Czuba et al., 2014.

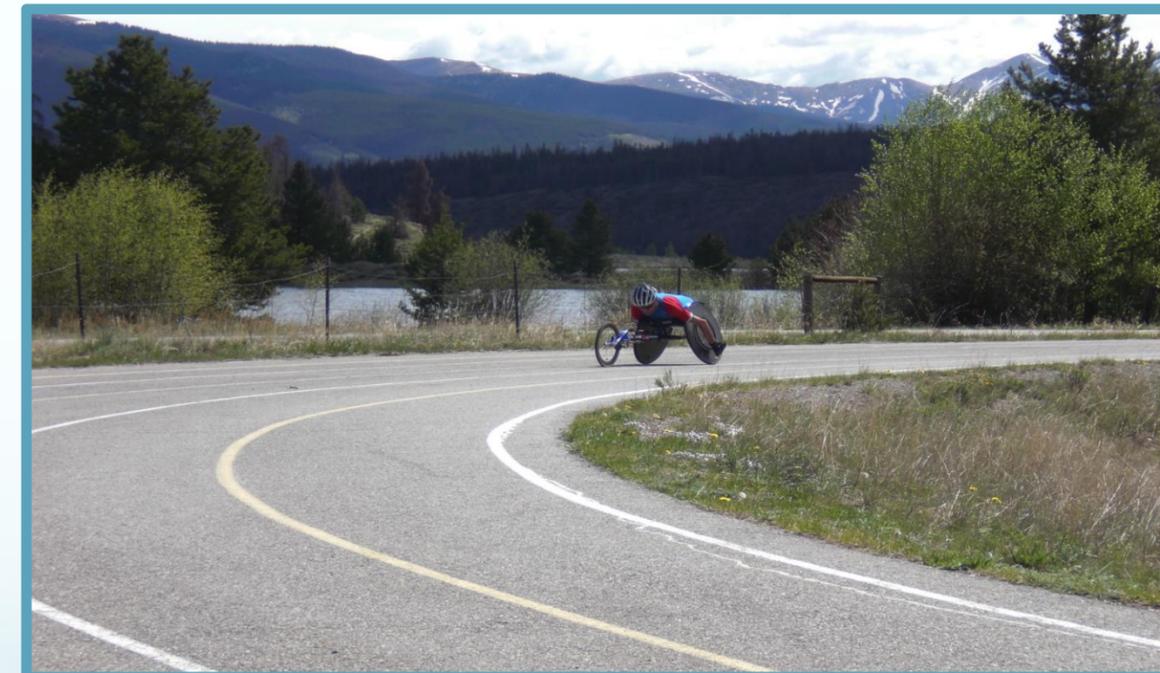
Journal of Sports Sciences, 2004, 22, 928–945

Taylor & Francis
healthsciences

Altitude and endurance training

HEIKKI K. RUSKO,^{1,4*} HEIKKI O. TIKKANEN^{1,2,3} and JUHA E. PELTONEN^{1,2}

¹KIHU – Research Institute for Olympic Sports, Jyväskylä, Finland, ²Unit for Sports and Exercise Medicine, Institute of Clinical Medicine, University of Helsinki, Helsinki, Finland, ³Folkhälsan Research Centre, Biomedicum Helsinki, Helsinki, Finland and ⁴Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä, Jyväskylä, Finland

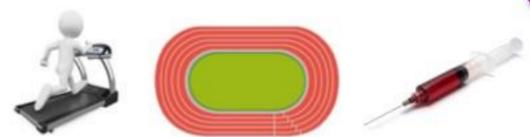


DEFINIENDO LA DOSIS DE ENTRENAMIENTO EN ALTITUD. A QUÉ ALTITUD VIVIR PARA UN INCREMENTO ÓPTIMO DEL RENDIMIENTO A NIVEL DEL MAR



n = 32 HOMBRES (H) y 16 MUJERES (M)
ATLETAS DE PISTA Y CROSS

4 SEMANAS EN DALLAS
131 M ALTITUD



TEST INCREMENTAL
TEST 3000 M
ANÁLISIS DE SANGRE

GRUPO 1780 M
n = 6 H + 4 M
HEBER CITY



GRUPO 2085 M
n = 7 H + 4 M
PARK CITY



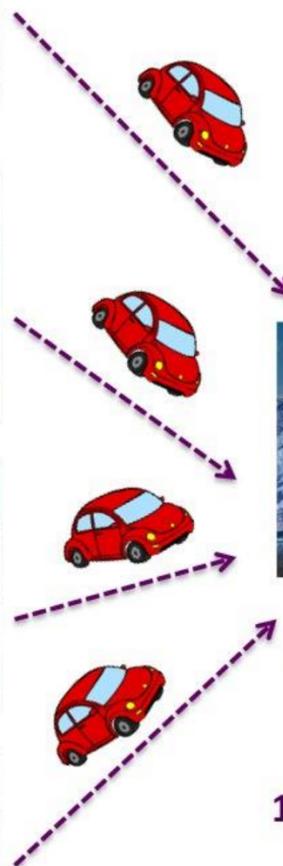
GRUPO 2454 M
n = 8 H + 4 M
DEER VALLEY



GRUPO 2800 M
n = 8 H + 4 M
PASO DE
GUARDSMAN



4 SEMANAS MODELO HIGH-HIGH-LOW
VOLUMEN 370 ± 80 KM



SALT LAKE CITY
1250 M



SESIONES INTENSAS

RESTO DE SESIONES
1780 – 3000 M ALTITUD

OBSERVACIONES AL REGRESAR A DALLAS COMPARADAS A PRE-ALTITUD

GRUPO	VO ₂ MAX	3000 M	VENTILACIÓN	FREC. CARD.
1780 M	↔	↔ (0,9 %)	↓	↓
2085 M	↑	↓ (2 %)	↔	↓
2454 M	↑	↓ (2,8 %)	↑	↓
2800 M	↔	↔ (0,1 %)	↔	↔

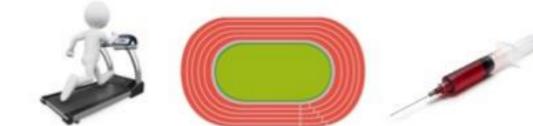
P < 0.05

CAMBIOS EN EPO RESPECTO A PRE-ALTITUD

GRUPO	24 H	48 H	72 H	24 H POST
1780 M	↑	↑	↔	↓
2085 M	↑	↑	↑	↓↓*
2454 M	↑	↑	↑	↓
2800 M	↑	↑	↑	↓↓*

P < 0.05 * Diferencia respecto a 1780 m y 2454 m

3 SEMANAS EN DALLAS



TEST INCREMENTAL
TEST 3000 M
ANÁLISIS DE SANGRE

1. TODOS LOS GRUPOS ↑ SU VOLUMEN ERITROCITARIO
2. A LAS 2 SEMANAS ESE AUMENTO YA NO SE OBSERVÓ
3. EL RANGO 2085 – 2454 M OBTUVO MEJORAS POR UN MENOR DESAJUSTE VENTILATORIO AL REGRESAR A NIVEL DEL MAR



CREADO POR SANTIAGO SANZ

Fisiólogo del Ejercicio del Comité Paralímpico Español



Chapman RF, Karlsen T, Resaland GK, Ge RL, Harber MP, Witkowski S, Stray-Gundersen J, and Levine BD. Defining the “dose” of altitude training: how high to live for optimal sea level performance enhancement. *Journal of Applied Physiology.* (2014);116(6):595-603.

ELEVACIÓN ÓPTIMA

ALTITUD (m)	Porcentaje inspirado de O ₂
0	20.9
400	20.0
800	19.0
1200	17.9
1600	17.1
1800	16.6
2000	16.3
2300	15.6
2700	14.8
3100	14.1
3500	13.5
4000	12.7
4400	12.0
8848	8.2

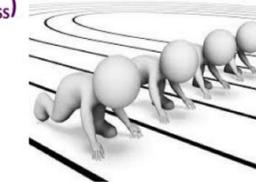
GUÍA CLÍNICA PARA ENTRENAR EN ALTITUD PARA UN RENDIMIENTO ÓPTIMO A NIVEL DEL MAR

DESENCADENANTES ALTITUD TERRESTRE

- ESTIMULACIÓN ERITPOYETICA
 - ↑ VOLUMEN CÉLULAS ROJAS (RCV)
 - ↑ MASA TOTAL HEMOGLOBINA (HB_{MASS})
- MEJORA CAPACIDAD BUFFERING



↑ VO_{2MAX}



MODELO LIVE-HIGH, TRAIN-HIGH AND LOW

- ✓ ENTRENAMIENTO <VT1 – VT1 A 2000 – 3000 M
- ✓ ENTRENAMIENTO VT2 – VO_{2MAX} A BAJA ALTITUD ≤1250 M



A TENER EN CUENTA AL VIAJAR A ALTITUD

- ✓ LESIONES O ENFERMEDAD INHIBIRÁN EL INCREMENTO DE HB_{MASS}
- ✓ EVITAR ANTES DEL VIAJE ACÚMULO DE FATIGA
- ✓ NORMALIZAR NIVELES DE FERRITINA EN LAS SEMANAS PREVIAS
- ✓ 105 A 210 MG DE SULFATO FERROSO AL DÍA ANTES Y EN ALTITUD
- ✓ RANGO IDEAL ELEVACIÓN 2000 M A 2500 M
- ✓ DE LOS 21 A LOS 28 DÍAS RCV INCREMENTA EXPONENCIALMENTE
- ✓ EL MÁXIMO INCREMENTO DE HB_{MASS} PARECE SER 7,7 %
- ✓ 20-22 HORAS AL DÍA DE ESTANCIA "ARRIBA" SON NECESARIAS
- ✓ CON HIPOXIA NORMOBÁRICA MÍNIMO 12-16 HORAS AL DÍA Y 2500 – 3000 M
- ✓ PARA RENDIR AL REGRESAR IDEAL A LAS 48 – 72 HORAS Y TRAS 14 DÍAS
- ✓ EN EJERCICIO MUY INTENSO A NIVEL DEL MAR, SI SAO₂ <92 %, MAYOR ACLIMATACIÓN
- ✓ FACTORES LIMITANTES A NIVEL DEL MAR: 1) DESCENSO HEMATOLÓGICO, 2) DESAJUSTE VENTILATORIO Y 3) ADAPTACIONES NEUROMUSCULARES



LUGAR	ALTITUD (M)	BAJA ALTITUD (M)	TIEMPO ENTRE TRAYECTOS (MIN)
SIERRA NEVADA	2320	690	40
FLAGSTAFF, EEUU	2100	950	60
MAMMOUTH LAKES, EEUU	2400	1250	45
BIG BEAR LAKE, EEUU	2100	<300	75
CLOUDCROFT, EEUU	2644	1300	30

CREADO POR SANTIAGO SANZ
Fisiólogo del Ejercicio del Comité Paralímpico Español



Constantini K, Wilhite DP, and Chapman RF. A clinician guide to altitude training for optimal endurance exercise performance at sea level. *High Altitude Medicine & Biology*. (2017);18(2):93-101.

Sinex JA, Chapman RF. Hypoxic training methods for improving endurance exercise performance. *J Sport Health Sci*. 2015;4:325-332.



VARIABILIDAD DE LA MASA TOTAL DE HEMOGLOBINA A LAS CONCENTRACIONES EN ALTITUD

VARIABLES CLAVE PARA AUMENTAR Hb_{mass} EN ALTITUD

1. ELEVACIÓN (PRESIÓN PARCIAL DE O_2)
2. TIEMPO DE EXPOSICIÓN
3. ESTATUS DE HIDRATACIÓN
4. NIVELES DE Hb_{mass} PREVIOS A LA CONCENTRACIÓN
5. DEPÓSITOS DE HIERRO (FERRITINA)
6. INFLAMACIÓN
7. SEXO

RESULTADOS

- ✓ UN 56 % DE ATLETAS EN DIVERSAS CONCENTRACIONES (46 DE 82) INCREMENTÓ POR ENCIMA DEL ERROR DE MEDICIÓN (1,7 %) SU Hb_{mass} (Hbm+)
- ✓ UN 44 % (33 DE 82) NO CAMBIÓ O DISMINUYÓ SU Hb_{mass} (Hbm-)
- ✓ CONSIDERANDO SÓLO ELEVACIONES ≥ 2000 m EL PORCENTAJE DE AUMENTO DE Hb_{mass} LLEGÓ 65 %
- ✓ UN 69 % INCREMENTÓ SU Hb_{mass} CUANDO EL VALOR DE FERRITINA PREVIO A LA CONCENTRACIÓN FUE DE $30 \mu g \cdot l^{-1}$ Y EL DE LA PROTEÍNA C REACTIVA (PCR)* $< 3 mg \cdot l^{-1}$
- ✓ EN Hbm+ Hb_{mass} AUMENTÓ $4,6 \pm 2,8$ % (g) Y $5,0 \pm 2,3$ % ($g \cdot kg^{-1}$)
- ✓ EN Hbm+ LA FERRITINA ↓ $22,6 \pm 21,9$ %
- ✓ EN Hbm- LA FERRITINA ↑ $11,1 \pm 46,3$ %



ANÁLISIS DE LAS ESTANCIAS EN ALTITUD n = 27 H Y 32 M (EQUIPO OLÍMPICO FINÉS)

- ✓ 27 NADADORES
- ✓ 5 ESQUIADORES DE NÓRDICO
- ✓ 13 CORREDORES DE FONDO
- ✓ 3 MARCHADORES
- ✓ 1 CANOISTA
- ✓ 3 REMEROS
- ✓ 5 CORREDORES DE ORIENTACIÓN
- ✓ ELEVACIÓN 1350 A 2500 M
- ✓ DURACIÓN ESTANCIAS 16 A 42 DÍAS
- ✓ DOSIS DE HIPOXIA 730 – 1789 $KM \cdot H^{-1}$



HALLAZGOS

1. EL 60 % DE ATLETAS (9) CON MÚLTIPLES CONCENTRACIONES (15), OBTUVIERON RESPUESTAS OPUESTAS (INCREMENTOS Y DISMINUCIONES). EL 27 % OBTUVO SÓLO RESPUESTAS POSITIVAS Y EL 13 % SÓLO RESPUESTAS NEGATIVAS.
2. EL INCREMENTO DE Hb_{mass} FUE MAYOR EN HOMBRES ($13,1 \pm 1,2$ A $13,6 \pm 1,1 g \cdot kg^{-1}$) ($p = 0.001$) QUE EN MUJERES ($10,7 \pm 1,2$ A $10,8 \pm 1,1 g \cdot kg^{-1}$) ($p < 0.004$), (3,6 VS. 0,7 %).
3. 12 ATLETAS (11 MUJERES) TUVIERON VALORES DE FERRITINA $< 30 \mu g \cdot l^{-1}$. DE LAS 11 MUJERES, 6 FUERON Hbm-.
4. DE UN ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE, LA VARIABLE ELEVACIÓN FUE LA MÁS INFLUYENTE SOBRE Hb_{mass}
5. EL INCREMENTO MEDIO DE Hb_{mass} FUE DE $17,6 g$ (2,1%), PERO LA RESPUESTA VARIÓ DE -84,3 A +91,0 g.
6. LOS VALORES PREVIOS A LA ESTANCIA DE FERRITINA Y PCR NO GARANTIZARON EL ↑ Hb_{mass}

CONCLUSIÓN

SER “RESPONDER” O “NON-RESPONDER” EN TÉRMINOS DE VARIACIONES DE Hb_{mass} TRAS ESTANCIAS EN ALTITUD, NO PARECE SEGUIR UN PATRÓN DETERMINADO.



CREADO POR SANTIAGO SANZ

Fisiólogo del Ejercicio del Comité Paralímpico Español



Nummela A, Eronen T, Koponen A, Tikkanen H, and Peltonen J. Variability in hemoglobin mass response to altitude-training camps. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. (2020). Doi: 10.1111/sms.13804. Online ahead of print.

LOAD MANAGEMENT IN ELITE DISTANCE RUNNERS AT MODERATE ALTITUDE TRAINING CAMP



- ✓ 9 (7 M & 2 F) Middle and Long-Distance athletes
- ✓ Members of the German National Team



Staying 3-weeks at 2100 m altitude in Flagstaff, AZ USA



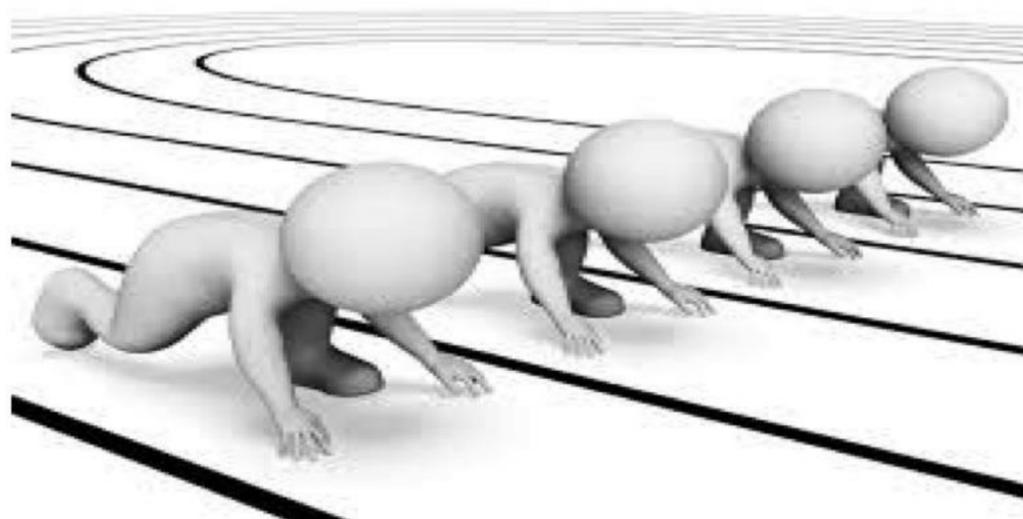
YOU GOTTA PLAN

7-9 AM in a fasted state

- ✓ SaO_2
- ✓ HR_{rest}
- ✓ Body Mass
- ✓ Sleep Perception
- ✓ CK

Every other day

- ✓ Urea
- ✓ Hb and Hematocrit



On days 4th and 21st at altitude an incremental 4 x 2000 m test to assess speed at $3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ (V_3)

Volume and or intensity ↓ when 2 or more markers were abnormal for an athlete



	WEEK 1	WEEK 2	WEEK 3
Training Days	6	7	7
Number of sessions	10	11	11
Volume (km)	91.5	146	112
Number of Interval sessions	1	2	2

PROS | CONS

- ✓ V_3 increased from day 4 to day 21 (4.4 ± 0.3 to $4.6 \pm 0.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)
- ✓ Body mass loss was not observed
- ✓ No overtraining symptoms were reported
- ✓ Several athletes complained of impaired sleep
- ✓ No changes were observed in hemoglobin and red blood cells



CREATED BY SANTIAGO SANZ

Exercise Physiologist

contact@santiago-sanz.com



@santirun



wingsoffreedom80

Sperllich B, Achtzehn S, de Marées M, von Papen H, & Mester J. Load management in elite German distance-runners during 3-weeks of high-altitude training. *Physiological Reports*. (2016);4(12):e12845.

EL EFECTO NEGATIVO DE LA INSUFICIENCIA DE HIERRO EN ALTITUD MODERADA SOBRE LA ERITROPOYESIS

DISEÑO ESTUDIO I SIN SUPLEMENTACIÓN



Altitud	150 m	Residen 2500 m Entrenan a 1250 – 3000m	150 m
Timing	1 semana	4 semanas (LHTL)	1 semana
Test Lab	✓	X	✓
Analítica	✓	X	✓

➔ Antes de altitud el 38 % de hombres y 67 % mujeres presentaban bajos niveles de ferritina y menor hemoglobina (Hb)

➔ Tras altitud la ferritina disminuyó

➔ En atletas con niveles normales de ferritina, la Hb y el volumen de células rojas (RCV) aumentó tras altitud

➔ No hubo incremento de Hb y RCV en atletas con bajos niveles de ferritina

DISEÑO ESTUDIO II



Altitud	150 m	150 m	Grupo LHTL 1250 -3000m (n = 26) Grupo nivel del mar (SL) (n = 13)	
Timing	2 semanas observación	4 semanas entrenamiento	4 semanas	3 semanas
Test Lab	✓	✓	X	✓
Analítica	✓✓	✓✓	✓✓✓	✓

Suplementación

Desde 2ª semana 1 a 3 tomas diarias disuelto en zumo de naranja
44 a 264 mg diarios sulfato ferroso
Hombres $\leq 30 \text{ ng} \cdot \text{mL}^{-1}$ y mujeres $\leq 20 \text{ ng} \cdot \text{mL}^{-1}$ 44 a 396 mg diarios

➔ Antes de altitud el 44 % de hombres y 67 % mujeres presentaban bajos niveles de ferritina

➔ Al inicio del entrenamiento en altitud o nivel de mar, todos los atletas presentaban valores normales de ferritina

➔ En LHTL los niveles de ferritina permanecieron inalterables y aumentaron en SL

¿QUÉ OCURRIÓ AL REGRESAR DE ALTITUD?
✓ ↑ Hb (8,8 %), RCV (5,5 %) y $\text{VO}_{2\text{max}}$ (11 %)

La suplementación con hierro oral antes y durante una estancia en altitud, garantizará las reservas de ferritina y preservarán el estímulo eritropoyético



CREADO POR SANTIAGO SANZ

Fisiólogo del Ejercicio del Comité Paralímpico Español



Okazaki K, Stray-Gundersen J, Chapman RF, & Levine BD. Iron insufficiency diminishes the erythropoietic response to moderate altitude exposure. *Journal of Applied Physiology*. (2019);127(6):1569-1578.

GUÍA CLÍNICA PARA ENTRENAR EN ALTITUD PARA UN RENDIMIENTO ÓPTIMO A NIVEL DEL MAR

DESENCADENANTES ALTITUD TERRESTRE



ESTIMULACIÓN ERITOPOYETICA

↑ VOLUMEN CÉLULAS ROJAS (RCV)

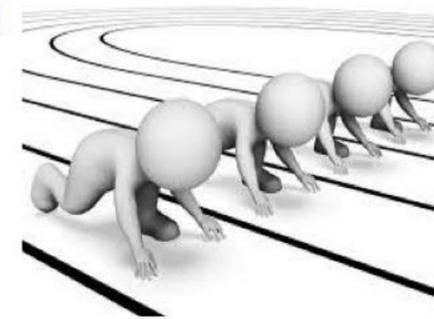
↑ MASA TOTAL HEMOGLOBINA (HB_{MASS})



↑ VO_{2MAX}



MEJORA CAPACIDAD BUFFERING



MODELO LIVE-HIGH, TRAIN-HIGH AND LOW

- ✓ ENTRENAMIENTO <VT1 – VT1 A 2000 – 3000 M
- ✓ ENTRENAMIENTO VT2 – VO_{2MAX} A BAJA ALTITUD ≤1250 M

A TENER EN CUENTA AL VIAJAR A ALTITUD

- ✓ LESIONES O ENFERMEDAD INHIBIRÁN EL INCREMENTO DE HB_{MASS}
- ✓ EVITAR ANTES DEL VIAJE ACÚMULO DE FATIGA
- ✓ NORMALIZAR NIVELES DE FERRITINA EN LAS SEMANAS PREVIAS
- ✓ 105 A 210 MG DE SULFATO FERROSO AL DÍA ANTES Y EN ALTITUD
- ✓ RANGO IDEAL ELEVACIÓN 2000 M A 2500 M
- ✓ DE LOS 21 A LOS 28 DÍAS RCV INCREMENTA EXPONENCIALMENTE
- ✓ EL MÁXIMO INCREMENTO DE HB_{MASS} PARECE SER 7,7 %
- ✓ 20-22 HORAS AL DÍA DE ESTANCIA “ARRIBA” SON NECESARIAS
- ✓ CON HIPOXIA NORMOBÁRICA MÍNIMO 12-16 HORAS AL DÍA Y 2500 – 3000 M
- ✓ PARA RENDIR AL REGRESAR IDEAL A LAS 48 – 72 HORAS Y TRAS 14 DÍAS
- ✓ EN EJERCICIO MUY INTENSO A NIVEL DEL MAR, SI $SAO_2 < 92\%$, MAYOR ACLIMATACIÓN
- ✓ FACTORES LIMITANTES A NIVEL DEL MAR: 1) DESCENSO HEMATOLÓGICO, 2) DESAJUSTE VENTILATORO Y 3) ADAPTACIONES NEUROMUSCULARES



LUGAR	ALTITUD (M)	BAJA ALTITUD (M)	TIEMPO ENTRE TRAYECTOS (MIN)
SIERRA NEVADA	2320	690	40
FLAGSTAFF, EEUU	2100	950	60
MAMMOUTH LAKES, EEUU	2400	1250	45
BIG BEAR LAKE, EEUU	2100	<300	75
CLOUDCROFT, EEUU	2644	1300	30

CREADO POR SANTIAGO SANZ

Fisiólogo del Ejercicio del Comité Paralímpico Español



Constantini K, Wilhite DP, and Chapman RF. A clinician guide to altitude training for optimal endurance-exercise performance at sea level. *High Altitude Medicine & Biology*. (2017);18(2):93-101.

2.2.3 Dosis de FeSO₄ recomendada en función de niveles de ferritina

<i>Prealtitude serum ferritin measure</i>		<i>Iron supplementation regimen used</i>
<i>Men</i>	<i>Women</i>	
>100 ng/mL, but <200 ng/mL	>100 ng/mL, but <200 ng/mL	None, or 44 mg elemental iron 2–3 times per week
40–100 ng/mL	30–100 ng/mL	44 mg elemental iron/day (5 mL ferrous sulfate elixir/day)
30–39 ng/mL	20–29 ng/mL	88 mg elemental iron/day (10 mL ferrous sulfate elixir/day)
20–29 ng/mL	10–19 ng/mL	176 mg elemental iron/day (20 mL ferrous sulfate elixir/day)
<20 ng/mL	<10 ng/mL	264 mg elemental iron/day (30 mL ferrous sulfate elixir/day)

Fuente. Levine & Stray-Gundersen, 1997; Stray-Gundersen et al., 2001; Chapman et al., 2014, 2016; Constantini et al., 2017.



Tabla 5. Dinámica marcadores marcadores sanguíneos al regresar a SL y relación EPO marcadores sanguíneos.

Regreso a Nivel del Mar	Regreso a Nivel del Mar	Relación EPO – Marcadores sanguíneos
<p style="text-align: center;">↑</p> <p>RCV, Hb_{mass}, Hb, Htc, Ret comparado a Pre</p>	≈	No siempre existe

VARIACIÓN INTERINDIVIDUAL



Fuente. Asano et al., 1998; Friedmann et al., 1999; Ashenden et al., 2000; Dehnert et al., 2002; Heinicke et al., 2005; Wehrin et al., 2006; Robach et al., 2006; Clark et al., 2009; Garvican et al., 2012; Pottgiesser et al., 2012; Chapman et al., 2014.

- ✓ 4 semanas exposición ↑RCV (5-9 %) y Hb_{mass} 1,1 % · 100 h⁻¹ (Levine & Stray-Gundersen, 1997)

2.2.4 Duración y elevación mínima (dosis de hipoxia)

Factores limitantes ↑ marcadores sanguíneos (Rusko et al., 2004)

- ✓ Elevación <2000 – 2200 m
- ✓ Tiempo exposición <3 – 4 semanas
- ✓ Depósitos de hierro durante la estancia (Constantini et al., 2017; Okazaki et al., 2019)

2.2.5 Efecto de la altitud durante el ejercicio físico y el reposo

- ✓ Relación entre ↓ presión barométrica y ↓ HR_{max}. 1 latido · ↑130 m desde 3100 m (Lundby et al., 2001.)
- ✓ ↑HR_{rest} en exposición aguda y crónica debido a ↑ actividad SN simpático (Hansen & Sander, 2003)



FONT ROMEU (1850 m)



SANTA FÉ (2200 m)

The Journal of Physiology  A Publication of The Physiological Society

Free Access

Sympathetic neural overactivity in healthy humans after prolonged exposure to hypobaric hypoxia

Jim Hansen, Mikael Sander

2.2.5 Presión sanguínea y altitud

- Lundby et al., (2018.) con lowlanders y highlanders a 4100m:
 - i. Aumento actividad simpática muscular (microneurografía peroneal) a los 10d y 50d
 - ii. Aumento DP como mecanismo compensatorio a vasodilatación periférica
 - iii. SP no se altera

2.2.6 Respuesta ventilatoria en altitud

- ✓ (Dempsey & Forster, 1982)

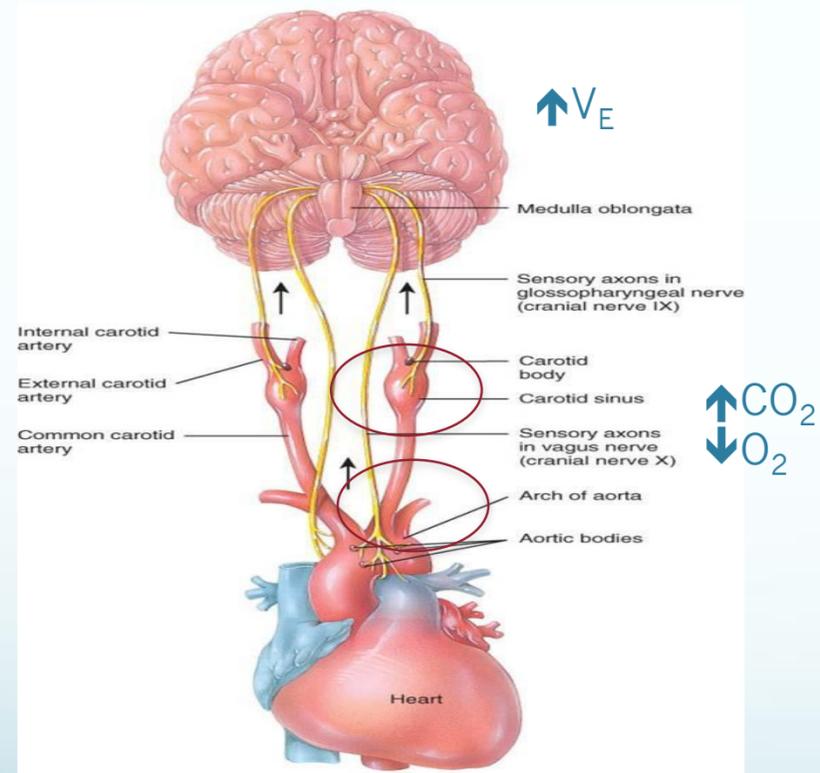


Figura 2. Quimiorreceptores periféricos.

Fuente. <https://www.uaz.edu.mx/histo/TortorAna/ch23/ch23.htm>

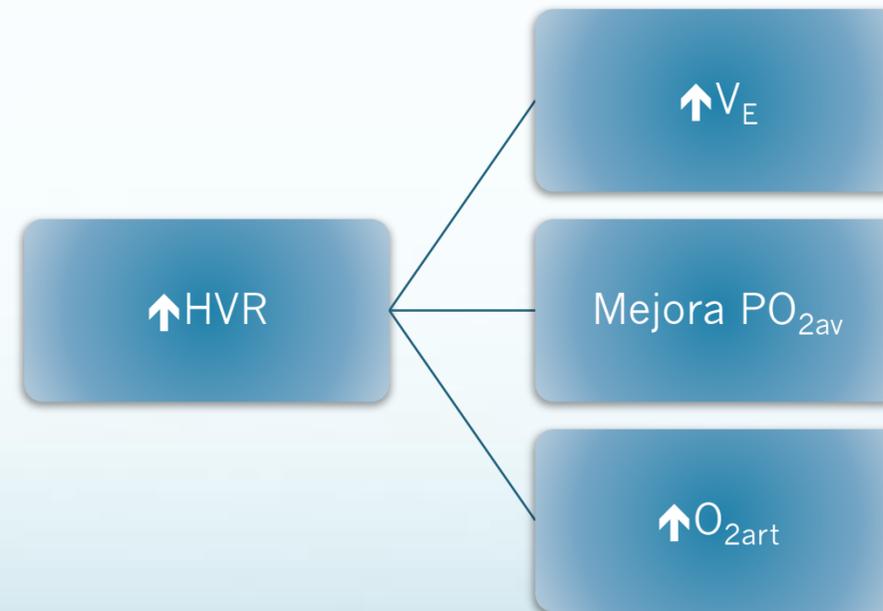
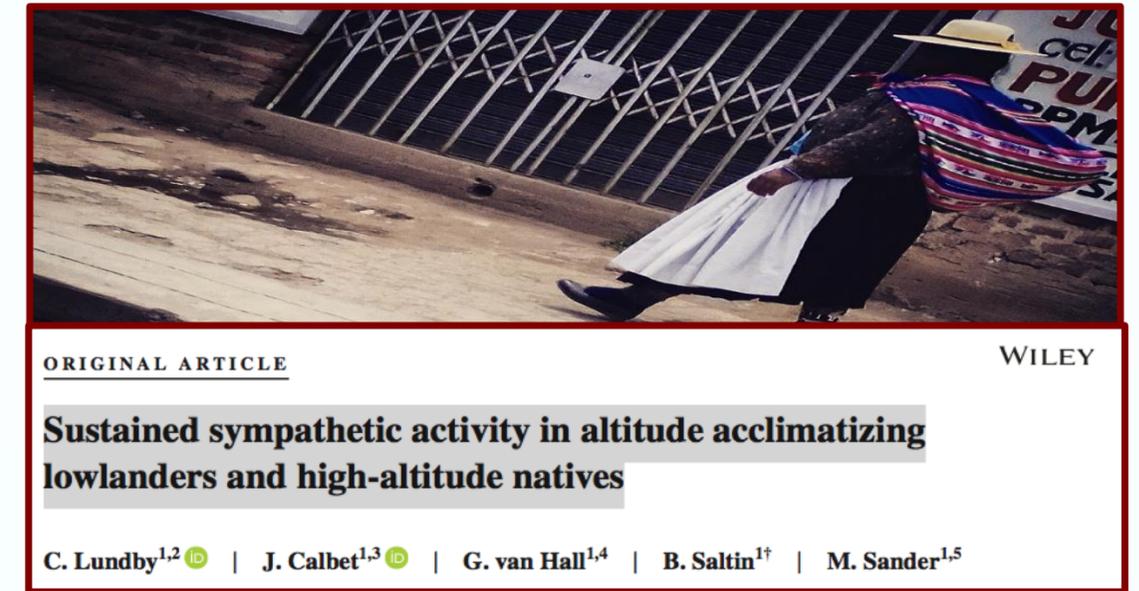


Figura 3. Efectos incremento HVR en hipoxia. Modificado de Huang et al., (1984).



Nuestro participante en Flagstaff, EEUU (2050-2100 m)



ESTUDIO REALIZADO EN CERRO DE PASCO (PERÚ) 4340 m ALTITUD



PARTICIPANTES

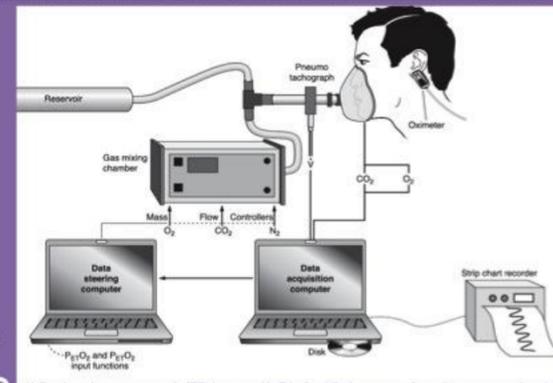
- ✓ 63 HOMBRES (H) Y 46 MUJERES (M)
 - ✓ RESIDENTES DE POR VIDA EN CERRO DE PASCO
 - ✓ EDAD = $43,0 \pm 12,9$ H; $40,1 \pm 13,5$ M
 - ✓ 3 GENERACIONES PREVIAS VIVIENDO A >2500 m
 - ✓ ASCENDENCIA ANDINA
 - ✓ ERITROCITOSIS EXCESIVA HTC* = ≥ 63 H; ≥ 57 M
- * Hematocrito



MEDICIÓN RESPUESTA HIPÓXICA VENTILATORIA (HVR) ISOCÁPNICA

1. 0 A 5 MIN: RESPIRAN AIRE DE HABITACIÓN A 4340 m ALTITUD (F_{I_2})
2. 5 A 15 MIN: HIPEROXIA LEVE (30-40 % F_{I_2} A NIVEL DEL MAR), INTENTANDO \downarrow HVR DE PARTICIPANTES POR HIPOXEMIA DE ALTITUD
3. 15 A 20 MIN: RESPIRAN MEZCLA DE GAS NORMÓXICO (159 mmHg; $F_{I_2} = 21$ %) \uparrow SO_2 SOBRE NIVELES BASALES EN F_1 PARA DETERMINAR HVR
4. 20 A 25 MIN: RESPIRAN GAS HIPÓXICO (ÚLTIMOS 3 MIN SO_2 80-85 %)
5. 25 A 30 MIN: RESPIRAN (159 mmHg PO_2 CON PET_{CO_2} 5 mmHg MAYOR QUE EL VALOR PREVIO ISOCÁPNICO), PARA DETERMINAR LA RESPUESTA VENTILATORIA AL CO_2 (RESPUESTA HIPERCÁPNICA VENTILATORIA O HCVR).

- ✓ 30 A 35 MIN: HIPOXIA ISOCÁPNICA CON $SO_2 = 80-85$ %



MONITORIZACIÓN SUEÑO



- ✓ PRESIÓN NASAL
- ✓ PULSIOXIMETRÍA
- ✓ BANDAS DE ESFUERZO ABDOMINAL Y TORÁCICAS
- ✓ ELECTROOCULOGRAMA
- ✓ ELECTROENCEFALOGRAMA
- ✓ ELECTROMIOGRAMA
- ✓ TONOMETRÍA ARTERIAL

HALLAZGOS

1. UNA BAJA SO_2 DIURNA CORRELACIONÓ CON UN ELEVADO HTC EN H Y M.
2. UNA BAJA SO_2 DIURNA CORRELACIONÓ SOLO EN H CON ALTOS NIVELES DE MAL CRÓNICO DE MONTAÑA (CMS), MEDIDOS CON LA ESCALA QINGHAI.
3. LAS M POSTMENOPÁUSICAS PRESENTARON MENOR HVR Y SO_2 QUE LAS MUJERES PREMENOPAUSICAS.
4. PET_{CO_2} UN MARCADOR DE LA VENTILACIÓN BASAL ALVEOLAR, CORRELACIONÓ CON HTC Y CMS EN H, PERO NO EN MUJERES.
5. H Y M MOSTRARON UNA MENOR MEDIA Y MÁXIMA SO_2 DURMIENDO QUE DESPIERTO.
6. H Y M CON MAYOR HTC MOSTRARON MENOR MEDIA Y MÁXIMA SO_2 DURANTE LA NOCHE Y UN MAYOR TIEMPO DURMIENDO CON $SO_2 < 80$ %.
7. PARTICIPANTES CON MENOR SO_2 DURMIENDO TUVIERON MAYOR CMS.
8. LOS PARÁMETROS VENTILATORIOS QUIMIOREFLEJOS NO PREDIJERON HTC.
9. H CON MAYOR HVR_s MANTUVIERON UNA MEDIA DIURNA SO_2 MÁS ELEVADA.
10. UNA HCVR ELEVADA SE ASOCIÓ CON UN AUMENTO DE SO_2 EN H Y M.
11. H CON MENOR HTC TUVIERON UNA MAYOR RFC A LA HIPOXIA AGUDA.
12. H CON MAYOR HTC TUVIERON MUY BAJA O NINGUNA RFC A LA HIPOXIA.
13. LA RFC A LA HIPOXIA DISMINUYÓ SIGNIFICATIVAMENTE CON LA EDAD EN M.
14. LA RFC A LA HIPOXIA FUE MENOR EN MUJERES POSTMENOPÁUSICAS.
15. NO SE ENCONTRÓ RELACIÓN ENTRE RFC CON CO_2 , HTC O SO_2 EN H O M.

*HVR Y HCVR CALCULADAS COMO EL CAMBIO EN VENTILACIÓN POR DESCENSO EN SO_2

**HCVR CALCULADA COMO EL CAMBIO EN VENTILACIÓN POR INCREMENTO EN mmHg PET_{CO_2}

***LA RESPUESTA DE LA FRECUENCIA CARDÍACA (RFC) CALCULADA COMO EL CAMBIO EN FC POR DESCENSO EN SpO_2



2.2.6 Metabolismo, estrategias nutricionales y de hidratación durante estancias en altitud

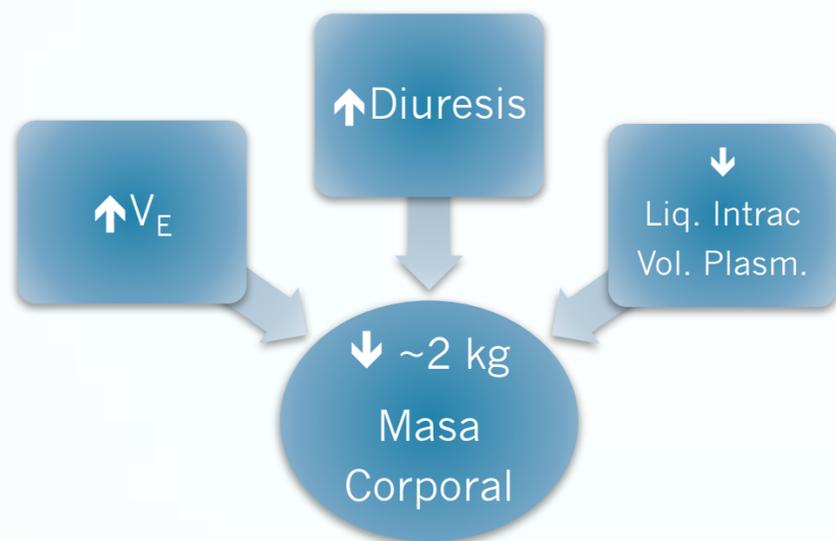


Figura 4. Efectos de la pérdida de agua en altitud sobre la masa corporal.

Fuente. Hoyt et al., 1992; Milledge., 1992; Butterfield et al., 1992; Butterfield, 1996.

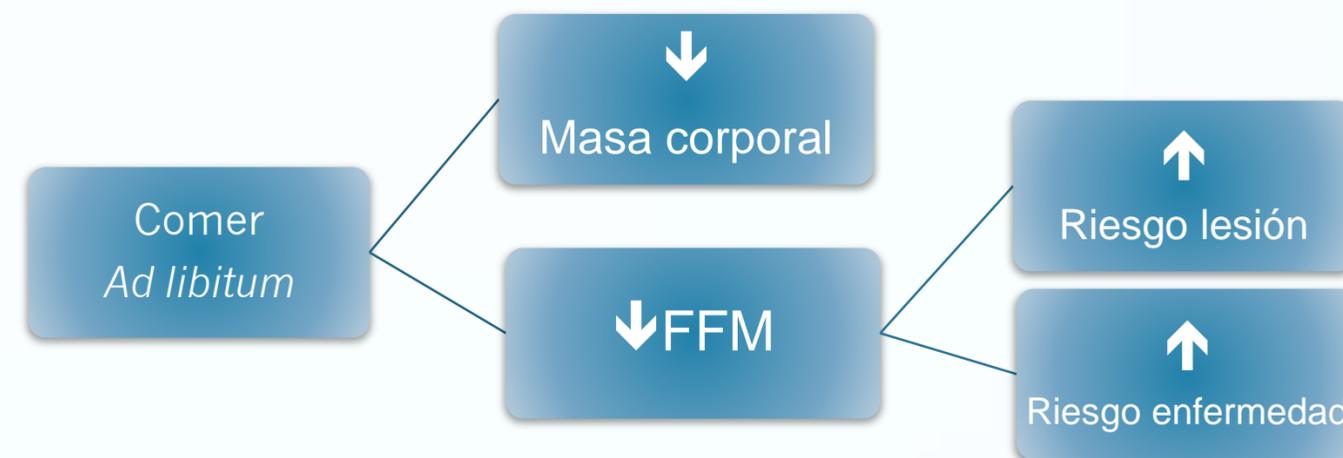


Figura 5. Consecuencia de comer *ad libitum* en altitud.

Fuente. Surks et al., 1966; Boyer & Blume, 1984; Hoppeler et al., 1990; Murdoch, 1995; Sergi et al., 2010.

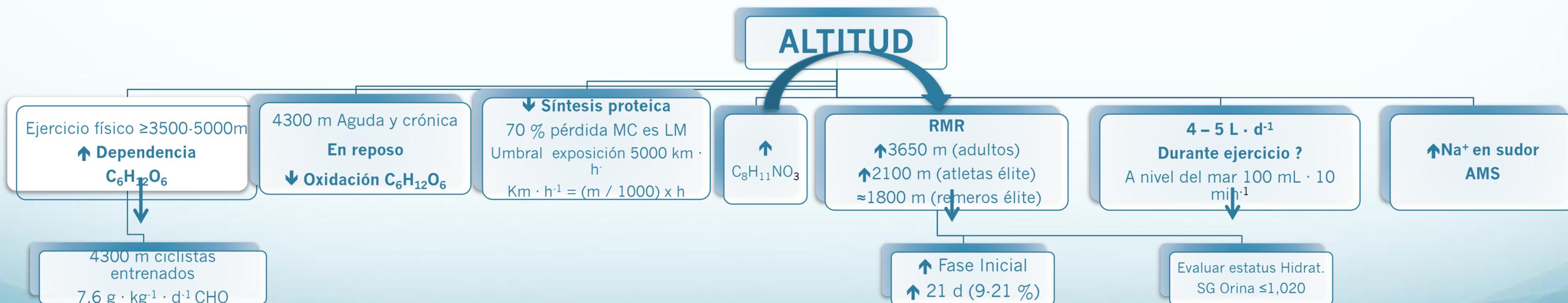


Figura 6. Efectos de la altitud a nivel metabólico y recomendaciones para optimizar el estatus hídrico en altitud.

Fuente. Grover, 1963; Stock et al., 1978; Hoppeler et al., 1990; Brooks et al., 1991; MacDougald et al., 1991; Milledge, 1992; Butterfield et al., 1992;; Roberts et al., 1996-A; Roberts et al., 1996-B; Dennis et al., 1997; Calbet, 2003; Sheffield-Moore et al., 2004; Wilber, 2004; Fulco et al., 2005; Stover et al., 2006; Garvican Lewis et al., 2016; Woods et al., 2016; D'Hulst & Deldicque, 2017; Woods et al., 2017; Young et al., 2018.

2.2.7 Efecto de la altitud sobre los estados de ánimo y RPE



✓ RPE? (Young et al, 1982)

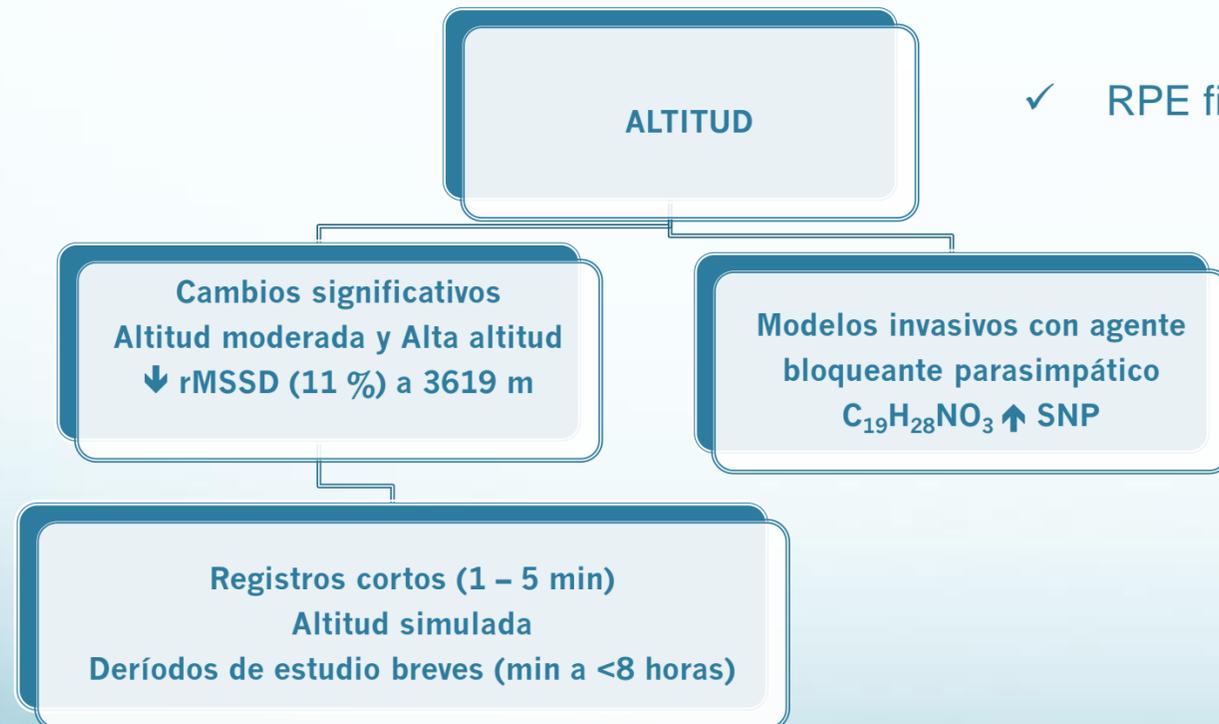


Tabla 5. Versión original de la Escala Borg 1 – 10.

Value	Description
0	Nothing at all
0.5	Very, very weak (just noticeable)
1	Very weak
2	Weak (light)
3	Moderate
4	Somewhat strong
5	Strong (heavy)
6	
7	Very strong
8	
9	
10	Very, very strong (almost max)

Fuente. (Borg, 1982)

2.2.8 Efecto de la altitud sobre la variabilidad de la frecuencia cardíaca



✓ RPE final del día previo tendrá un efecto sobre VFC cuando se entrena en altitud (Boos et al., 2018).



Figura 8. Efecto de la altitud sobre la variabilidad de la frecuencia cardíaca y la actividad autónoma vagal.

Fuente. Boushel et al., 2001; Huang et al., 2010; Vigo et al., 2010; Prabhakaran & Tripathi, 2011; Karinen et al., 2012; Mairer et al., 2013; Zhang et al., 2014; Boos et al., 2017-A, Boos et al., 2017-B, Mellor et al., 2017; Sutherland et al., 2017.

EVALUACIÓN MAL AGUDO DE MONTAÑA (AMS)

MAL AGUDO DE MONTAÑA (MAM)
SCORE DE "LAKE LOUISE"
(INTERNATIONAL HYPOXIA SYMPOSIUM. 1991.
CHATEAU LAKE LOUISE, CANADA)

SINTOMAS	PUNTAJE
CUESTIONARIO DE AUTOEVALUACION PARA MAM	
CEFALEA	0 AUSENTE 1 LEVE 2 MODERADA 3 SEVERA
SINTOMAS GASTROINTESTINALES	0 BUEN APETITO 1 POCO APETITO O NAUSEAS 2 NAUSEAS MODERADAS O VOMITOS 3 NAUSEAS O VOMITOS SEVEROS O INCAPACITANTES
FATIGA Y/O DEBILIDAD	0 AUSENCIA DE CANSANCIO 1 FATIGA O DEBILIDAD LEVE 2 FATIGA O DEBILIDAD MODERADA 3 FATIGA O DEBILIDAD SEVERA O INCAPACITANTE
VERTIGO / MAREOS	0 AUSENTES 1 VERTIGO LEVE 2 VERTIGO MODERADO 3 VERTIGO SEVERO INCAPACITANTE
ALTERACIONES DEL SUEÑO	0 DUERME COMO HABITUALMENTE 1 NO DUERME COMO HABITUALMENTE 2 SE DESPIERTA MUCHAS VECES, SUEÑO NOCTURNO ESCASO 3 NO PUEDE DORMIR
PUNTAJE OBTENIDO=	



- ✓ 3 PUNTUACIÓN MÍNIMA
- ✓ 3 A 4 (LEVE)
- ✓ 5 O MÁS MODERADO A ELEVADO



INFLUENCIA DE LA HIPOBARIA SOBRE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA (HRV) EN HIPOXIA Y NORMOXIA

HIPOXIA / NORMOXIA MEDIOAMBIENTAL

1. HIPOXIA NORMOBÁRICA (NH) = ($\downarrow P_{iO_2}^{**}$)
2. HIPOXIA HIPOBÁRICA (HH) = ($\downarrow P_B^{**}$)
3. NORMOXIA HIPOBÁRICA (NH) = ($\downarrow P_B \uparrow P_{iO_2}^{***}$)
4. NORMOXIA NORMOBÁRICA (NN) = ($P_B \sim 700 \text{ mmHg}$, $P_{iO_2} = 20,9 \%$)

* Fracción inspirada de oxígeno; ** Presión barométrica; *** Pilotos de avión

MUESTRA DE ESTUDIO

n = 15 pilotos ~25 años



"Comparamos los efectos sobre la HRV de estas condiciones"

1. NN ($P_B = 726 \pm 5 \text{ mmHg}$; $P_{iO_2} \approx 20,9 \%$)
2. NH ($P_B = 725 \pm 4 \text{ mmHg}$; $P_{iO_2} \approx 11 \%$)
3. HH (3000 m y 5000 m altitud terrestre)
4. HN ($P_B = 380 \pm 6 \text{ mmHg}$; $P_{iO_2} \approx 40 \%$)

DISEÑO EXPERIMENTAL EN CÁMARA HIPOBÁRICA

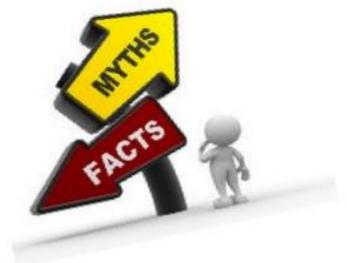


5 Min aclimatación + 6 Min Medición sentado HRV (Análisis 4 min finales)

HALLAZGOS

VARIABLE	NN	HN	NH	HH3000m	HH5500m
FRECUENCIA CARDÍACA			↑↑	↑	↑↑↑↑
rMSSD			↓↓	↓	↓↓
HF					↓
LF/HF		↓			↑↑
TOTAL POWER (LF + HF)			↓↓	↓	↓↓
SO ₂			↓↓	↓	↓

↑↓ en referencia a NN; ↑↓ en referencia a HN; ↑↓ en referencia a NH; ↑↓ en referencia a HH 3000m



- LOS AUTORES OBSERVARON UNA RELACIÓN POTENCIAL ENTRE HRV Y SO₂ EN LOS PRIMEROS 10 MIN DE EXPOSICIÓN HIPÓXICA (EXPOSICIÓN AGUDA)
- LA HIPOBARIA PER SE, NO PROVOCA CAMBIO SUSTANCIAL ALGUNO EN LA HRV, SIN EMBARGO, LA HIPOXIA DESENCADENA UNA SUPRESIÓN DE MARCADORES VAGALES DE LA HRV

CREADO POR SANTIAGO SANZ

Fisiólogo del Ejercicio del Comité Paralímpico Español



Aebi MR, Bourdillon N, Bron D, and Millet GP. Minimal influence of hypobaría on heart rate variability in hypoxia and normoxia. *Frontiers in Physiology*. (2020). Doi: <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.01072>



PARTICIPANTES



2 HOMBRES Y 2 MUJERES (TRIATLETAS DE ÉLITE)
N = 7 RESPUESTAS INDIVIDUALES A ESTANCIAS EN ALTITUD
NO SE INCLUYEN DATOS DE UN TRIATLETA EN UNA ESTANCIA

VARIABLES MEDIDAS

- ✓ FRECUENCIA CARDÍACA (FC) Y HRV MEDIDAS AL LEVANTARSE, TENDIDO SUPINO Y EN AYUNAS
- ✓ rMSSD VARIABLE PRINCIPAL A ANALIZAR, LA CUAL, SE MANTIENE SUPRIMIDA EN ALTITUD
- ✓ COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) DE LA rMSSD, CALCULADO COMO $CV = (MEDIA/DE) \times 100$. SI INCREMENTA SE CONSIDERA UN MARCADOR DE LA PERTURBACIÓN HOMEOSTÁTICA DEL CONTROL CARDÍACO VAGAL
- ✓ DISTANCIA EN RODAJES EN CARRERA, MONITORIZADA CON GPS
- ✓ POTENCIÓMETROS PARA LOS RODAJES EN BICICLETA
- ✓ **COCIENTE VELOCIDAD/FC (VE/FC) COMO MARCADOR DE ADAPTACIÓN A LA ALTITUD (MENOR DURANTE LA ACLIMATACIÓN, POR INCREMENTO DE LA FC)**
- ✓ MÍNIMO CAMBIO DETECTABLE (SWC) DE VE/FC, CALCULADO COMO EL 30 % DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR (DE) VE/FC PARA DETERMINAR QUE TRIATLETA ES RESPONDER (R) O NON-RESPONDER (NR) A LA ALTITUD
- ✓ LOS INVESTIGADORES COMPARARON DATOS DE LAS DOS PREVIAS A ALTITUD, CON 10 PRIMEROS DÍAS EN ALTITUD Y ÚLTIMA SEMANA

ESCENARIO EN ALTITUD



- ✓ ELEVACIÓN = 1655 m (NAMIBIA)
- ✓ 2 CONCENTRACIONES DE 23 DÍAS
- ✓ ENERO 2019 Y ENERO 2020
- ✓ LIVE HIGH - TRAIN HIGH

RESULTADOS

- ✓ LA FC DE REPOSO FUE SIGNIFICATIVAMENTE MÁS ALTA EN LA 1ª SEMANA EN ALTITUD EN NR COMPARADO A R (+4,6 VS. +0,5 LATIDOS · MIN⁻¹, p = 0,023)
- ✓ CV rMSSD AUMENTÓ MÁS EN NR (+10 %) COMPARADO A NR (-3 %) EN ALTITUD (p = 0,015)
- ✓ NR rMSSD DISMINUYÓ EN LA 1ª SEMANA EN ALTITUD (-10 ms). SIN EMBARGO, FUE 6 ms MAYOR EN R, DE CUALQUIER FORMA NO SE OBSERVARON DIFERENCIAS ENTRE GRUPOS (p = 0,036)
- ✓ **VE/FC FUE SIGNIFICATIVAMENTE MAYOR DURANTE LA ÚLTIMA SEMANA EN ALTITUD, COMPARADO A LA PRIMERA SEMANA EN R, NO SE OBSERVARON DIFERENCIAS EN NR.**



HALLAZGOS

1. MENOR INCREMENTO DE LA FC DE REPOSO EN R QUE NR CUANDO SE VIAJA DE NIVEL DEL MAR A ALTITUD EN TRIATLETAS DE ÉLITE.
2. NR MOSTRÓ UNA MAYOR REDUCCIÓN DE LA rMSSD Y UN MAYOR INCREMENTO DEL CV rMSSD EN ALTITUD, A DIFERENCIA DE R.
3. CV rMSSD FUE MÁS SENSIBLE QUE rMSSD.



MODELOS DE ENTRENAMIENTO A 3900 M DE ALTITUDE Y RESPUESTA FISIOLÓGICA Y DE RENDIMIENTO EN UN MARATONIANO EN SILLA DE RUEDAS DE ÉLITE

PARTICIPANTE

- ✓ EDAD = 36 AÑOS, ALTURA = 1,76 m
- ✓ MASA CORPORAL = 50,0 ± 0,81 Kg
- ✓ POTENCIA GENERADA EN VT2 = 62 W
- ✓ VO_{2MAX} = 52 ml · kg⁻¹ · min⁻¹
- ✓ VO_2 RELATIVO EN VT2 = 45 ml · kg⁻¹ · min⁻¹
- ✓ VO_2 % EN VT2 = 87 % VO_{2MAX}
- ✓ FRECUENCIA CARDÍACA VT2 = 166 PP · min⁻¹
- ✓ 4^a MEJOR MARCA MARATÓN EN CLASE T52 (TETRAPRESIA) (1h:42min:05s)



ESCENARIO EN ALTITUD



- ✓ ELEVACIÓN DE RESIDENCIA = 3860 m (PUNO, PERÚ)
- ✓ ELEVACIÓN DE ENTRENAMIENTO = 3860 - 4090 m
- ✓ LIVE HIGH - TRAIN HIGH (LHTH)
- ✓ 2 ESTANCIAS DE 35-DÍAS EN 2 AÑOS CONSECUTIVOS
- ✓ OBJETIVO CONCENTRACIONES: ENTRENAMIENTO DE BASE PARA LA MARATONES DE BOSTON (10 SEMANAS TRAS REGRESAR DE ALTITUD)
- ✓ ENERO - FEBRERO 2015; INFLEXIBLE-BLOQUES (IP)
- ✓ ENERO - FEBRERO 2016; FLEXIBLE-GUIADO POR HRV (FP)

CUANTIFICACIÓN DEL ENTRENAMIENTO Y EXPOSICIÓN A ALTITUD DE LAS CINCO SEMANAS PREVIAS AL ESTUDIO

TEMPORADA	2010	2011	2012	2013	2014
VOLUMEN (km)	7124	8150	8600	8410	9173
SESIONES	410	456	451	440	510

TEMPORADA	2010	2011	2012	2013	2014	TOTAL
ALTITUD TERRESTRE (DÍAS)	78	82	101	79	62	402
HIPOXIA NORMOBARICA (HORAS/DÍA)						
ELEVACIÓN SIMULADA = ~2900 A ~4700 m	1846/77	602/25	1064/44	198/8	702/29	4412/183
FiO ₂ (%) = 0.146 TO 0.117						

TABLA 1. VOLUMEN DE ENTRENAMIENTO Y NÚMERO DE SESIONES DE ENTRENAMIENTO EN LAS 5 TEMPORADAS PREVIAS AL ESTUDIO.

TABLA 2. EXPOSICIÓN A ALTITUDE MODERADA (1655-2926 m) E HIPOXIA NORMOBÁRICA EN LAS 5 TEMPORADAS PREVIAS AL ESTUDIO.

QUÉ SE PUBLICÓ Y QUÉ NO FUE PUBLICADO EN EL JOURNAL OF STRENGTH AND CONDITIONING RESEARCH

PUBLICADO

NO PUBLICADO

7 SEMANAS (9 SI SI INCLUYEN LOS TEST PREVIOS Y AL REGRESAR DE ALTITUD)

8 SEMANAS LIVE HIGH - TRAIN LOW EN ESPAÑA Y SNELLVILLE (EEUU), TRAS LOS TESTS DE RENDIMIENTO AL REGRESAR A NIVEL DEL MAR. DUERME ~13 HORAS · DÍA⁻¹ A ~4200 m ALTITUD SIMULADA (HIGHER PEAK MAG-10), Y ENTRENA A NIVEL DE MAR Y 320 m DE ELEVACIÓN



PREVIO ALTITUD VIAJE ESPAÑA -PERÚ 5 SEMANAS EN PUNO A ~4000 m VIAJE REGRESO ESPAÑA POST-ALTITUD VIAJE ESPAÑA-ATLANTA ESTANCIA EN SNELLVILLE, GA, EEUU 1^o 2015 1^o 2016



CREADO POR SANTIAGO SANZ
Fisiólogo del Ejercicio del Comité Paralímpico Español



Sanz-Quinto S, López-Grueso R, Brizuela G, Flatt AA, and Moya-Ramón M. Influence of training models at 3,900-M on physiological response and performance of a professional wheelchair athlete: a case study. *Journal of Strength and Conditioning Research.* (2019);33(6):1714-1722.

DISEÑO EXPERIMENTAL PROGRAMA INFLEXIBLE (IP) Y FLEXIBLE (FP)

TEST INCREMENTAL



3000 M PISTA CUBIERA



SEMANA PREVIA A NIVEL DEL MAR (B_N)



SEMANA ACLIMATACIÓN ALTITUD (B_H)



4 SEMANAS DE ENTRENAMIENTO (W₁ W₂ W₃ W₄)



11 Y 12 DÍAS POST TRÁS ALTITUD



MISMO ENTRENAMIENTO EN SEMANAS B_N, B_H Y POST-ALTITUD (POST)

- ✓ LUNES Y MARTES: DESCANSO
- ✓ X A V AM: 20 km <VT1 PM: 16 km <VT1
- ✓ S 20 km <VT1

(VIAJE ESPAÑA-PERÚ LLEGANDO LA MAÑANA DEL DOMINGO EN B_N. DESCANSO EN B_H Y POST)

- ✓ DOMINGOS DESCANSO

ESTIMACIÓN DEL VALOR REFERENCIAL DE LA HRV (RV)

- ✓ EN FP SE CALCULÓ EL RV, PARA REALIZAR SESIONES DE ALTA DEMANDA FISIOLÓGICA DE W₁ A W₄
- ✓ $RV_{rMSSD} = MEDIA\ rMSSD\ EN\ B_H - 1 \times DE\ (VESTERINEN\ ET\ AL.\ 2016)$

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) DE rMSSD

$$rMSSD_{CV} = (DE/MEDIA) \times 100 \text{ (FLATT \& ESCO, 2016)}$$

SI SE ALCANZABA EL RV EN FP

- ✓ SESIÓN A AM: 8 KM <VT1 + 1 x (20 x 400 m VT2), RECUPERACIÓN: 75 s. SESIÓN INTERVÁLICA REALIZADA A 4090 m DE ELEVACIÓN; PM: DESCANSO
- ✓ SESIÓN B: AM: 2 HORAS A VT1 EN RANGO DE ELEVACIÓN (3860 - 4090 m); PM: DESCANSO
- ✓ SESIÓN C: AM: 8 KM <VT1 + 1 x (6 x 2000 m VT2), RECUPERACIÓN: 120 s. SESIÓN INTERVÁLICA REALIZADA A 4090 m ELEVACIÓN; PM: DESCANSO

SI NO SE ALCANZABA EL RV EN FP

- ✓ AM: 20 KM <VT1; PM: 16 KM <VT1

¿QUÉ CONVERGE EN IP Y FP?

- ✓ L y J: AM SESIÓN FUERZA MÁXIMA (4 x 8 REPS 80 % 1 RM)
- ✓ L y J: PM 12 km <VT1
- ✓ DOMINGOS: DESCANSO

MODELO DE BLOQUES EN IP

- ✓ M AM: SESIÓN A
- ✓ M PM: 16 km <VT1
- ✓ X y S AM: SESIÓN B
- ✓ X y S PM: 12 km <VT1
- ✓ V AM: SESIÓN C
- ✓ V PM: 12 km <VT1



L y M TEST DÍAS DE RENDIMIENTO VUELO

OTRAS VARIABLES MEDIDAS

- SATURACIÓN DE OXÍGENO ARTERIAL (SO₂) AL LEVANTARSE
- EN FP, PRESIÓN ARTERIAL SISTÓLICA (SP) Y DIASTÓLICA (BP) AL LEVANTARSE
- POTENCIA GENERADA EN TEST INCREMENTAL EN ERGÓMETRO MONITORIZADO
- 3000 M PISTA CUBIERTA
- COMPARACIÓN DE REPETICIONES DE 2000 M EN VT2, EN NORMOXIA VS. HIPOXIA



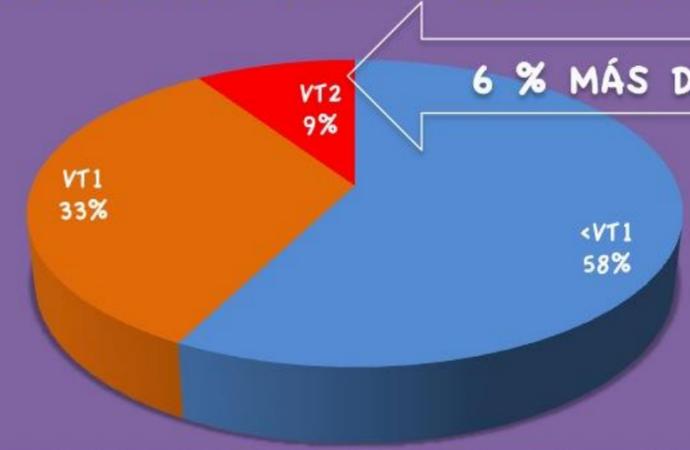


	IP	FP	
VOLUMEN (km)	806	538,3	Δ % (-33,2)
Km · SEMANA ⁻¹ IP	201,5		
Km · SEMANA ⁻¹ FP		134,6	Δ % (-33,2)
Km · W _{1,2,3,4} IP			
Km · W _{1,2,3,4} FP			
NÚMERO SESIONES	44	33	Δ % (-25)
SESIONES · SEMANA ⁻¹ IP	11		
SESIONES · SEMANA ⁻¹ FP		8,25	Δ % (-25)
SESIONES EN VT1	8	4	Δ % (-50)
SESIONES EN VT2	4	8	
VOLUMEN (km) <VT1	464	339,5	Δ % (-26,8)
VOLUMEN (km) VT1	266	118,8	Δ % (-55,3)
VOLUMEN (km) VT2	76	80	Δ % (+5)

	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄
	214,8	204,8	192,8	193,8
	146,7	135,6	140,6	116,8
	Δ % (-31,7)	Δ % (-33,8)	Δ % (-27,1)	Δ % (-39,7)

DISTRIBUCIÓN VOLUMEN ENTRENAMIENTO IP

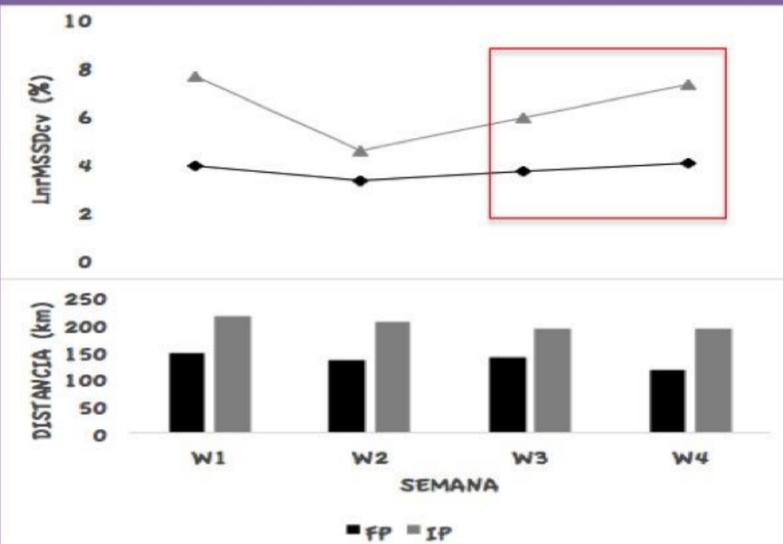
DISTRIBUCIÓN VOLUMEN ENTRENAMIENTO FP



6 % MÁS DE VOLUMEN EN VT2 EN FP

HALLAZGOS Y CONCLUSIONES

- ✓ NUESTRO PARTICIPANTE RESIDIÓ MÁS DE UN AÑO EN ALTITUD MODERADA, EN LOS 5 AÑOS PREVIOS AL ESTUDIO Y SE EXPUSO DURANTE MEDIO AÑO A ALTA-ALTITUD Y ALTITUD MODERADA SIMULADA, USANDO GENERADORES DE HIPOXIA NORMOBARICA EN ESPAÑA Y ATLANTA, LUGAR EN EL QUE RESIDÍA 4-5 MESES POR TEMPORADA. A 4090 m DE ELEVACIÓN, LAS REPETICIONES DE 2000 M EN VT2 FUERON SOLO UN 3 % MÁS LENTAS QUE A NIVEL DEL MAR. BUSKIRK ET AL., (1967) REPORTARON TIEMPOS 20-24 % MÁS LENTOS EN REPETICIONES DE 1 Y 2 MILLAS EN ATLETAS A 4000 m DE ALTITUD.
- ✓ IP Y FP MEJORARON EL RENDIMIENTO TRAS REGRESAR A NIVEL DEL MAR, COMPARADO AL RENDIMIENTO PREVIO A ALTITUD. CABE DESTACAR QUE LA MEJORA FUE MAYOR EN FP: TEST 3000 m (-1,5 VS. -3,4 %) Y POTENCIA GENERADA (+6,5 VS. +13,7 %).
- ✓ SO₂ % FUE RESTABLECIDA ANTES EN FP Y ↑ DESDE B_H A W₄ (88,3 A 92,6 %), MIENTRAS EN IP ↓ DE W₃ A W₄ (86,29 A 92,8).
- ✓ rMSSD_{CV} ↑ DE W₃ A W₄ EN IP, INDICANDO UNA MAYOR PERTURBACIÓN HOMEOSTÁTICA DEL CONTROL AUTONÓMICO CARDÍACO VAGAL AL FINALIZAR LA CONCENTRACIÓN.
- ✓ rMSSD_{CV} ↑ LIGERAMENTE DE W₂ A W₃ EN FP (3,3 A 3,7 %), PERO ↑ SIGNIFICATIVAMENTE EN IP DE W₂ A W₄ (4,6 A 5,9; 5,9 A 7,3 %). LA SP ↑ DE B_N A B_H (-111 A 125 mmHg), ALCANZANDO SU MÁXIMO EN W₂ (132.4), SEMANA CON MÁS SESIONES DE MAYOR INTENSIDAD (2 x A + 1 x C)



3. EJEMPLO INTERVENCIÓN NUTRICIONAL EN ALTITUD

3.1 Objetivo de estudio

- ✓ Examinar los efectos de una intervención nutricional sobre la masa corporal a nivel del mar y altitud en FP.

3.2 Material y Métodos

- ✓ **Asesoramiento por nutricionista y PhD. en CCAFD**
- ✓ **Pesar alimentos antes de cocinar y los sobrantes tras comer.**
- ✓ **Los domingos comió en restaurantes (en 4 ocasiones), enviando fotografías de la comida para su posterior análisis energético y de macro-micro nutrientes (Martin et al., 2012).**
- ✓ **Cocinero** compraba y cocinaba, en función de un programa nutricional. Los pesajes y cocinado eran supervisados por el participante.
- ✓ **Participante preparaba todas las soluciones a ingerir durante y después de cada entrenamiento.**
- ✓ A nivel del mar el participante cocinaba en casa.
- ✓ **Masa corporal medida tras levantarse, en ayunas y desnudo báscula digital** (Tanita BC -601®, Tanita Corporation, Tokio, Japón).
- ✓ **El participante completó un diario nutricional**, con un registro de comidas (Heikura et al., 2018) (**desayuno, almuerzo, cena, dos pequeños snacks** y todas las ingestas durante y posteriores al entrenamiento).

Sanz-Quinto et al. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* (2019) 16:51
<https://doi.org/10.1186/s12970-019-0321-8>

Journal of the International Society of Sports Nutrition

CASE REPORT **Open Access**

Nutritional strategies in an elite wheelchair marathoner at 3900 m altitude: a case report

Santiago Sanz-Quinto¹, Manuel Moya-Ramón^{1,2}, Gabriel Brizuela³, Ian Rice⁴, Tomás Urbán¹ and Raúl López-Gruoso^{1*}

Check for updates



- ✓ La energía total (kcal), carbohidratos, proteínas y grasas ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ de masa corporal) se calculó usando la base de datos de composición nutricional del Ministerio Español de Ciencia e Innovación (BEDCA).



26/01 (Décimo sexto día puno)
Desayuno 3g té canela 12g té azúcar 80g cereales tipo 1 200g leche soja
Entreno 1 1250ml agua con 80g isolin isotonic Isogel carbo
Post Entreno 1 500ml agua con carbojet Isogel recovery
Almuerzo 180g pasta 136g ternera 22g aceite 4g queso parmesano
Cena 180g arroz 50g jurel 10g aceite olive 186g yogur
Post cena 30g Micellar casein Amix

27/01 (Décimo séptimo día puno)
Desayuno 3g té canela 12g té azúcar 80g cereales tipo 3 200g leche soja
Entreno 1 1250ml agua con 80g isolin isotonic
Post Entreno 1 500ml agua con carbojet Isogel recovery
Almuerzo 180g pasta 10g aceite 8g queso parmesano 146g hamburguesa
Cena 160g arroz 112g tortilla francesa 14g aceite 94g yogur

Figura 9 . Diario nutricional de nuestro participante.

DIA		17-Feb										
		Desayuno						Durante 20kmReg	Almuerzo			Merienda
Unidad	Valor	Te	Azúcar	Leche Soja	Cereales IV	in Molde Blan	Mermelada	Isolin Isotonic	Espaguetis	tún en consen	Aceite oliva	Manzana
(Ingesta real -gramos-)		3	14	200	80	46	20	60	180	160	8	200
Na (mg)		0	0	6	111,2	281,98	2	96	450	512	0	4
Agua			0	175,8	7,28	16,97	7,38	0	17,1	98,24	0	171,4
CHO		0	14	14	52,8	21,02	5,4	56,4	127,62	0	0	24
Prot.		2,5	0	6,4	5,04	3,36	0,18	0	22,5	39,68	0	0,6
Lípidos		0	0	3,68	12,8	1,70	0,02	0	2,61	19,36	8	0
Kcal		0	79,96	100	352,8	114,54	22,4	228	635,4	332,8	70,72	100

Figura 11. Hoja de cálculos de macro, micronutrientes, agua y energía.

Información de composición (por 100 g de porción comestible)			
Componente	Valor	Unidad	Fuente
Proximales			
alcohol (etanol)	0	g	282
energía, total	852 (205)	kJ (kcal)	236
grasa, total (lípidos totales)	12.1	g	282
proteína, total	23.81	g	282
agua (humedad)	61.4	g	282
Hidratos de Carbono			
fibra, dietética total	0	g	282
carbohidratos	0	g	282
Grasas			
ácido graso 22:6 n-3 (ácido docosahexaenóico)	-	-	-
ácidos grasos, monoinsaturados totales	3.6	g	282
ácidos grasos, poliinsaturados totales	5.5	g	282
ácidos grasos saturados totales	1.8	g	282
ácido graso 12:0 (láurico)	-	-	-
ácido graso 14:0 (ácido mirístico)	-	-	-
ácido graso 16:0 (ácido palmítico)	-	-	-
ácido graso 18:0 (ácido esteárico)	-	-	-
ácido graso 18:1 n-9 cis (ácido oléico)	-	-	-
colesterol	39.8	mg	282

Figura 10. Información nutricional atún en aceite vegetal mostrada en BEDCA.

Fuente. <https://www.bedca.net/bdpub/index.php>

- ✓ La ingesta diaria energética ↑ ~20 % en semana aclimatación (B_H) para evitar pérdidas masa corporal asociada a un ↑ RMR reportado a 2100 m (Woods et al., 2016) y 3650 m (Stock et al., 1978).
- ✓ Comidas principales diseñadas en función del tipo de entrenamiento.
- ✓ Dos snacks ricos en carbohidratos (CHO) para cubrir requerimientos energéticos diarios (Burke et al., 1995).
- ✓ 2,4 g · kg⁻¹ de masa corporal de proteínas diarias para evitar pérdidas masa muscular (Morton et al., 2015).
- ✓ En almuerzo y cena 1 g · kg⁻¹ masa corporal de proteínas, pues las sesiones A, B, C eran por las mañanas y era objetivo nutricional tras estas la reparación de tejido muscular (Morton et al., 2015).
- ✓ 1 g · kg⁻¹ masa corporal de lípidos diariamente a nivel del mar y altitud, pues adipocitos ↑ su sensibilidad a la estimulación hormonal tras el entrenamiento, ↑ movilización ácidos grasos (Bjorntorp, 1991).

Tabla 6. Menús diseñados para cada tipo de sesión.

	Macronutrients (g · kg ⁻¹)	20 km AM 16 km PM	16 km AM Gym PM	Session A 20 x 400 m AM Off PM	Session B 30 km AM Off PM	Session C 4 x 2000 m AM Off PM	Day Off
Breakfast (7:00)	CHO Prot Fat	1.6 0.3 0.2	1.9 0.3 0.1	1.5 0.3 0.1	1.9 0.3 0.1	1.9 0.3 0.1	1.8 0.3 0.2
AM Session (9:30)	Intakes: During Post		750 ml		1250 ml 400 ml		
Lunch (1:30)	CHO Prot Fat	2.4 1.2 0.4	2.9 0.2 0.3	2.5 1.0 0.4	2.5 1.0 0.6	2.5 1.0 0.4	2.4 0.7 0.8
PM Session (5:30)	Intakes: During Post		750 ml				
Dinner (8:30)	CHO Prot Fat	2.4 0.8 0.5	2.6 1.1 0.5	2.7 0.9 0.3	2.6 0.9 0.3	2.2 0.9 0.5	2.8 1.4 0.9
Bed Time (10:45)							

Isolin Isotonic
 Carbojet Gain
 Isogel Carbo Snack (70 ml)
 Isogel Recovery (70 ml)

Whey Fusion
 Micellar Casein
 Tri-Fit Bar (30 g)

Figura 12. Figura original publicada en nuestro artículo de *J Int Soc Sports Nutr*, dónde se muestra la temporalización nutricional en altitud.

Session	Breakfast	Lunch	Dinner	Energy Intake (kcal)	CHO Prot Fat (g)
A	62 g cereals, 204 g soy milk, 26 g white bread, 18 g jam, 3 g black tea in ~ 200 ml water, 12 g sugar	180 g (dry) spaghetti, ~ 150 g alpaca, 8 g olive oil	180 g (dry) steamed rice, 180 g emperor fish, 10 g olive oil	2393	383 111 49
B	62 g cereals, 204 g soy milk, 3 g black tea in ~ 200 ml water, 12 g sugar	180 g (dry) spaghetti, ~ 130 g alpaca, 8 g olive oil	180 g (dry) steamed rice, 180 g emperor fish, 10 g olive oil, 8 g parmesan cheese	2357	353 116 52
C	80 g cereals, 200 g soy milk, 3 g black tea in ~ 200 ml water, 12 g sugar	180 g (dry) spaghetti, 140 g beef, 10 g olive oil, 14 g parmesan cheese	180 g (dry) spaghetti, 125 g tuna, 12 g olive oil, 10 g parmesan cheese, 180 g fat free yoghurt	2424	365 119 42
D	80 g cereals, 200 g soy milk, 130 g coffee, 25 g fat free milk, 14 g sugar	180 g (dry) spaghetti, ~ 150 g alpaca, 8 g olive oil, 8 g parmesan cheese	140 g (dry) rice, 120 g omelette, 170 g tuna canned	2639	348 135 75
E	80 g cereals, 204 g soy milk, 3 g black tea in ~ 200 ml water, 12 g sugar	160 g (dry) rice, ~ 160 g chicken breast, 14 g olive oil, 1 kiwi	180 g (dry) spaghetti, 135 g tuna, 20 g parmesan cheese, 6 g olive oil	2351	374 114 36
F	80 g cereals, 204 g soy milk, 3 g black tea in ~	180 g (dry) spaghetti, ~ 160 g chicken breast, 14	170 g alpaca, 275 g sweet potato	2091	282 143

D: 20 km <VT1 AM + 16 km <VT1 PM; E: 16 km <VT1 AM + sesión de fuerza PM; F: 20 km <VT1 AM; G: Día de descanso.

- ✓ Para evitar pérdidas masa muscular (Bigard et al., 1993) y ↑ la resíntesis protéica muscular (Norton et al., 2012) 2,5 g de leucina, 1,5 g isoleucina y 1,5 g valina (BCAA Elite Rate, AMIX), inmediatamente tras acabar el entrenamiento.
- ✓ Antes de acostarse 30 g de caseína (Micellar Casein, AMIX) (1,7 g CHO, 24 g proteínas y 0,6 g lípidos) (Snijders et al., 2015).
- ✓ Todos estos suplementos respetan la normativa de la Agencia Mundial Antidopaje (AMA-WADA).



3.3 Estadística

- ✓ Test de normalidad Kolmogorov-Smirnov
- ✓ Todos los resultados se expresan como media \pm DS.
- ✓ ANOVA a masa corporal, ingesta diaria CHO, proteínas y lípidos, incluyendo el factor TIEMPO y niveles B_N , B_H , W_1 , W_2 , W_3 , W_4 y Post
- ✓ Cálculo (d) asociado al cambio en masa corporal, con sus intervalos de confianza (CL) al 95 % (Cumming & Finch, 2001), siendo interpretado como (trivial $<0,19$; pequeño 0,2-0,49; mediano 0,5-0,79; grande $\geq 0,8$) (Cohen, 1992).
- ✓ La significación estadística se fijó en $\alpha = 0.05$.



3.4 Resultados y discusión

- ✓ **↓** masa corporal (~2 kg) al llegar a altitud (Kayser et al., 1992), explicada por:
 - a) Disminución Vol. plasmático al llegar a altitud (Siebenmann et al., 2017-A)
 - b) Pérdida mayor de H₂O por mayor diuresis (~500 mL · d⁻¹) (Butterfield, 1996)
 - c) Incremento V_E (Butterfield et al., 1992).
- ✓ En Post regresa a valores previos a altitud.
- ✓ **↑** masa corporal en W₄ se explica por **↓** ~16 % volumen entrenamiento y menos sesiones A, B, C (#2 en W₁, #3 en W₂, #2 en W₃ y #1 en W₄).



- ✓ Como curiosidad en B_N y B_H mismo entrenamiento, pero B_H 502 kcal · d⁻¹, 2 g · kg⁻¹ · d⁻¹ CHO y 1 g · kg⁻¹ · d⁻¹ proteínas.

Tabla 7. Masa corporal, ingesta energética y de macronutrientes a nivel del mar y altitud.

Fase	Masa corporal (kg)	Ingesta energética (kcal)	CHO (g · kg ⁻¹)	Proteínas (g · kg ⁻¹)	Lípidos (g · kg ⁻¹)
B _N	52,6 ± 0,4	2397 ± 242	7,1 ± 1,2 ^{jk}	1,9 ± 0,2 ^{hi}	1,0 ± 0,2
	(52,25 ; 53,04)	(2173 ; 2621)	(5,97 ; 8,19)	(1,74 ; 2,11)	(0,82 ; 1,14)
B _H	50,7 ± 0,5 ^g	2899 ± 670 ^a	8,1 ± 2,2 ⁱ	2,9 ± 0,5	1,4 ± 0,5
	(50,23 ; 51,17)	(2280 ; 3518)	(6,04 ; 10,11)	(2,46 ; 3,38)	(0,92 ; 1,89)
W ₁	50,6 ± 0,2 ^g	3037 ± 490 ^a	9,6 ± 2,1	2,7 ± 0,5	1,2 ± 0,4
	(50,39 ; 50,78)	(2584 ; 3490)	(7,68 ; 11,55)	(2,18 ; 3,17)	(0,81 ; 1,49)
W ₂	50,8 ± 0,4 ^g	3116 ± 170 ^a	9,9 ± 1,2	2,6 ± 0,4 ^g	1,1 ± 0,5
	(50,45 ; 51,09)	(2959 ; 3273)	(8,79 ; 11,09)	(2,17 ; 2,99)	(0,65 ; 1,60)
W ₃	50,9 ± 0,3 ^g	3101 ± 385 ^a	9,6 ± 1,2	2,7 ± 0,5 ^g	1,2 ± 0,5
	(50,68 ; 51,15)	(2744 ; 3457)	(8,53 ; 10,73)	(2,25 ; 3,22)	(0,75 ; 1,64)
W ₄	51,2 ± 0,3 ^{ghi}	2786 ± 375	8,6 ± 1,3	2,5 ± 0,3 ^g	1,1 ± 0,5
	(50,93 ; 51,47)	(2439 ; 3133)	(7,39 ; 9,73)	(2,21 ; 2,77)	(0,57 ; 1,56)
Post	52,1 ± 0,5 ^{ghijkl}	2411 ± 137 ^{bcde}	6,3 ± 0,8 ^{ijkl}	1,9 ± 0,3 ^{hijkl}	1,3 ± 0,3
	(51,54 ; 52,66)	(2241 ; 2580)	(5,41 ; 7,27)	(1,55 ; 2,31)	(0,94 ; 1,69)

Diferencias con B_N: ^a P < 0,01; * P < 0,001; Diferencias con B_H: ^b P < 0,01; ^h P < 0,001; Diferencias con W₁: ^c P < 0,01; ⁱ P < 0,001; Diferencias con W₂: ^d P < 0,01; ^j P < 0,001; Diferencias con W₃: ^e P < 0,01; ^k P < 0,001; Diferencias con W₄: ^f P < 0,01; ^l P < 0,001.

- ✓ En Bh dos sesiones al día (36 km <VT1) y en semanas $W_{1.4}$ cuando se hacía una sesión A, B, C no se entrenaba por la tarde, por ello no hay diferencias en la energía ingerida entre estos períodos.
- ✓ Se consiguió garantizar un mínimo de $2,4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ de proteína para evitar pérdidas de masa muscular (Morton et al., 2015), aunque la dosis de hipoxia (Garvican-Lewis et al., 2016) de esta estancia fue de $3300 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ y el umbral estimado donde comienza la pérdida de masa muscular es $5000 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (D'Hulst & Deldicque, 2017).

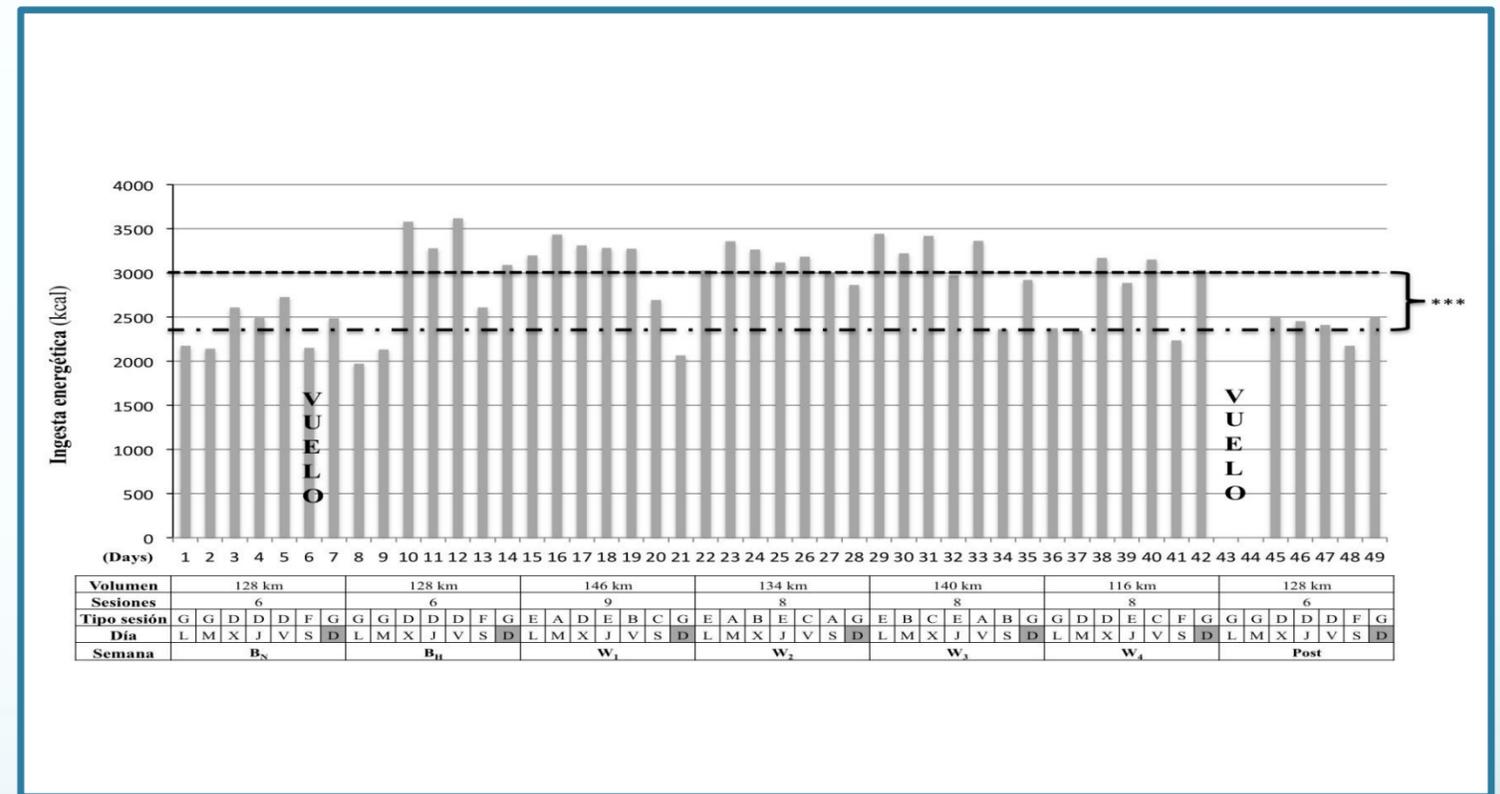


Figura 13 Programa de entrenamiento e ingesta energética en altitud y nivel del mar.

La línea de guiones representa la ingesta energética media en altitud (3017 kcal); La línea irregular representa la media de ingesta energética en SL (2423 kcal); Diferencias con la media de la ingesta energética en altitud:

*** $P < 0,001$.

3.5 Conclusiones

CONCLUSIONES

El programa nutricional ayudó a mantener masa corporal en altitud, a pesar de:

- a) Una ↓ de ~2 % de masa corporal en la aclimatación, regresando a valores previos a altitud al regresar a nivel del mar.
- b) suponemos, un ↑ en la RMR por una respuesta simpática ↑ en altitud.

No encontramos en la literatura, programas nutricionales llevados a cabo en altitud tan detallados, por lo que hemos seguido recomendaciones de estudios en atletismo y deportes de resistencia de larga duración en altitud moderada y nivel del mar.



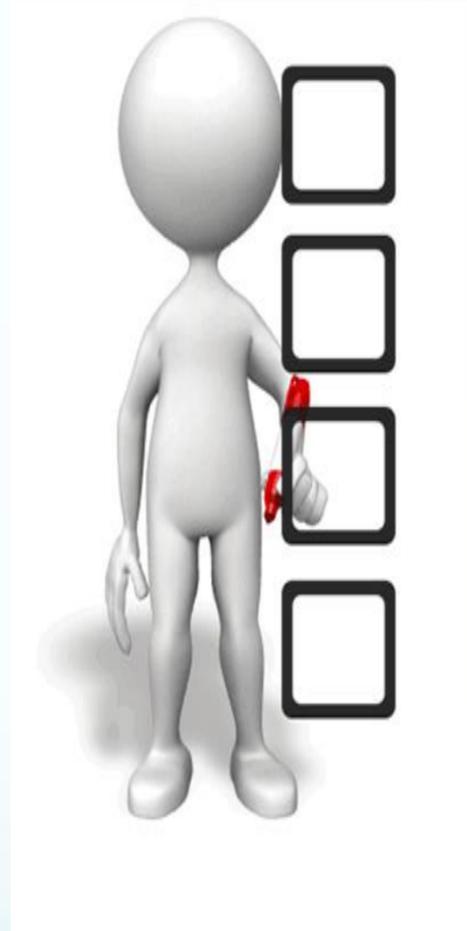
Hipótesis #14 #15 #16

HIPÓTESIS

A pesar de incrementar la ingesta energética diaria en altitud la masa corporal disminuirá (2-5 %).

La mayor magnitud de cambio en la masa corporal acontecerá durante la aclimatación.

Al regresar a nivel del mar la masa corporal volverá a valores previos a la concentración.



3.6 Limitaciones

1. Ausencia de registros cineantropométricos (pliegues grasos + contornos musculares) para descartar pérdidas masa muscular y masa grasa, reportado en adultos comiendo *ad libitum* en altitud (Surks et al., 1966; Consolazio et al., 1968; Boyer & Blume, 1984; Kayser et al., 1992).
2. No se midió la RMR (Woods et al., 2016).
3. El uso en 4 ocasiones de fotografías para analizar la composición nutricional de las comidas en restaurantes (Heikura et al., 2018).



3.7 Aplicaciones prácticas

- ✓ Nuestro manuscrito ayudará a entender los requerimientos nutricionales en altitud, de atletas en silla de ruedas, cuyas estrategias nutricionales podrían diferir de atletas a pie (no oscila el centro de masas, por lo que $<$ peristaltismo y $<$ GI).

3.8 Futuras líneas de investigación

- ✓ Proponemos la replica de nuestro programa nutricional con una muestra de atletas en silla de ruedas mayor ($n \geq 8$) que permita generalizar con los resultados obtenidos.



ESTRATEGIAS NUTRICIONALES MARATONIANO EN SILLA DE RUEDAS DURANTE UNA CONCENTRACIÓN A 3900-M DE ALTITUD

CRONOLOGÍA DEL ESTUDIO

TEST INCREMENTAL

3000 M PISTA CUBIERTA

SEMANA PREVIA A NIVEL DEL MAR (B_N)

SEMANA ACLIMATACIÓN ALTITUD (B_H)

4 SEMANAS ENTRENAMIENTO ESPEÍFICO (W₁ W₂ W₃ W₄)

POST 11 Y 12 DÍAS TRAS ALTITUD



11 DÍAS PREVIOS ALTITUD 10 DÍAS PREVIOS ALTITUD

PARA MINIMIZAR EFECTOS DE JET LAG Y ALTITUD, MISMAS SESIONES DE INTENSIDAD (<VT1) EN B_N B_H Y POST

PRESCRIPCIÓN ENTRENAMIENTO POR HRV

L y M DÍAS DE RENDIMIENTO VUELO TEST

OBJETIVOS Y CARACTERÍSTICAS DEL PROGRAMA NUTRICIONAL

1. INTENTA MANTENER LA MASA CORPORAL (BM) EN ALTITUD.
2. MINIMIZAR DÉFICITS DE RENDIMIENTO EN ALTITUD COMPARADOS A NORMOXIA.
3. FACILITAR LA RECUPERACIÓN INTRA-SESIÓN (Ej. RESTABLECIMIENTO GLUCÓGENO MUSCULAR).
4. MANTENER LA CALIDAD DE SESIONES ALTA DEMANDA FISIOLÓGICA EN ALTITUD.
5. LA INGESYA ENERGÉTICA DIARIA ↑ ~20 % DE NIVEL DEL MAR A ALTITUD, PARA EVITAR ↓ DE BM POR ↑ TASA METABÓLICA BASAL.
6. UN MENÚ ESPECÍFICO PARA CADA TIPO DE ENTRENAMIENTO (7 MENÚS).
7. ALCANZAR MÍNIMO 8 g · kg⁻¹ (BM) DE CARBOHIDRATOS (CHO), 2,4 g · kg⁻¹ (BM) DE PROTEINA Y 1 g · kg⁻¹ (BM) DE LÍPIDOS EN ALTITUD.
8. EN RODAJES/INTERVALS LA INGESTA DE CHO FUE 0,5 A 1 g · kg⁻¹ (BM).
9. PARA ACELERAR ~25 % LA RESÍNTESIS DE GLUCÓGENO MUSCULAR, COINGESTA DE 0,5 g · kg⁻¹ (BM) CHO + 30 g PROTEINA DE SUERO.
10. 6 SEMANAS ANTES Y DURANTE LA ESTANCIA EN ALTITUD, INGESTA DIARIA DE 105 mg FeSO₄ PARA MANTENER RESERVAS DE HIERRO, LIGADAS A ERITROPOYESIS.

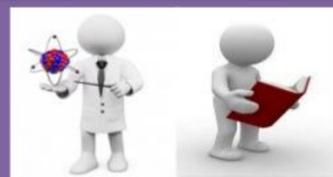
¿CÓMO SE EVITÓ LA PÉRDIDA DE MASA MUSCULAR?



¡EL PROGRAMA NUTRICIONAL AYUDÓ A MANTENER BM, MINIMIZÓ LA PERTURBACIÓN DEL RENDIMIENTO EN ALTITUD Y FACILITÓ LA RECUPERACIÓN!

CREADO POR SANTIAGO SANZ

Fisiólogo del Ejercicio del Comité Paralímpico Español



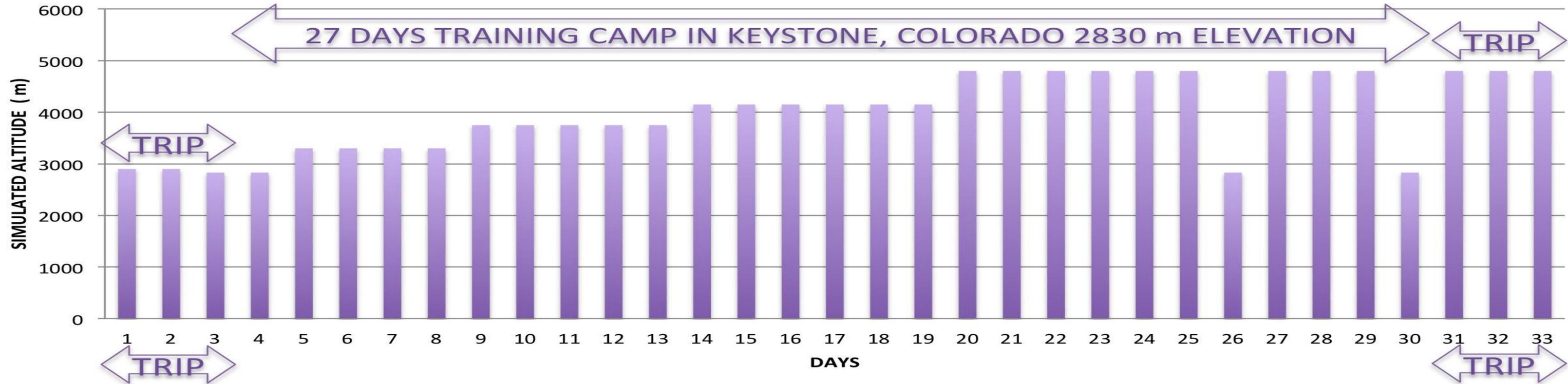
Sanz-Quinto S, Moya-Ramón M, Brizuela G, Rice I, Urbán T, and, López-Grueso R. Nutritional strategies in an elite wheelchair marathoner at 3900 m altitude: a case report. *Journal of the International Society of Sports Nutrition.* (2019);16:51. Doi: 10.1186/s12970-019-0321-8

SUMMARY

The Altitude Collection

4. EJEMPLO CONCENTRACIÓN COLORADO A 2830 m + IMPLEMENTACIÓN HIPOXIA NORMOBÁRICA

SLEEPING ALTITUDE MAY 31ST TO JULY 2ND 2011 ATLANTA-KEYSTONE



TRIP TO COLORADO (1500 MILES BY CAR)

TRIP BY CAR DAY 1 SNELLVILLE (GEORGIA)-METROPOLIS (ILLINOIS). SLEEP WITH HIGHER-PEAK MAG-10

TRIP BY CAR DAY 2 METROPOLIS (ILLINOIS)-HAYS (KANSAS) SLEEP WITH HIGHER-PEAK MAG-10

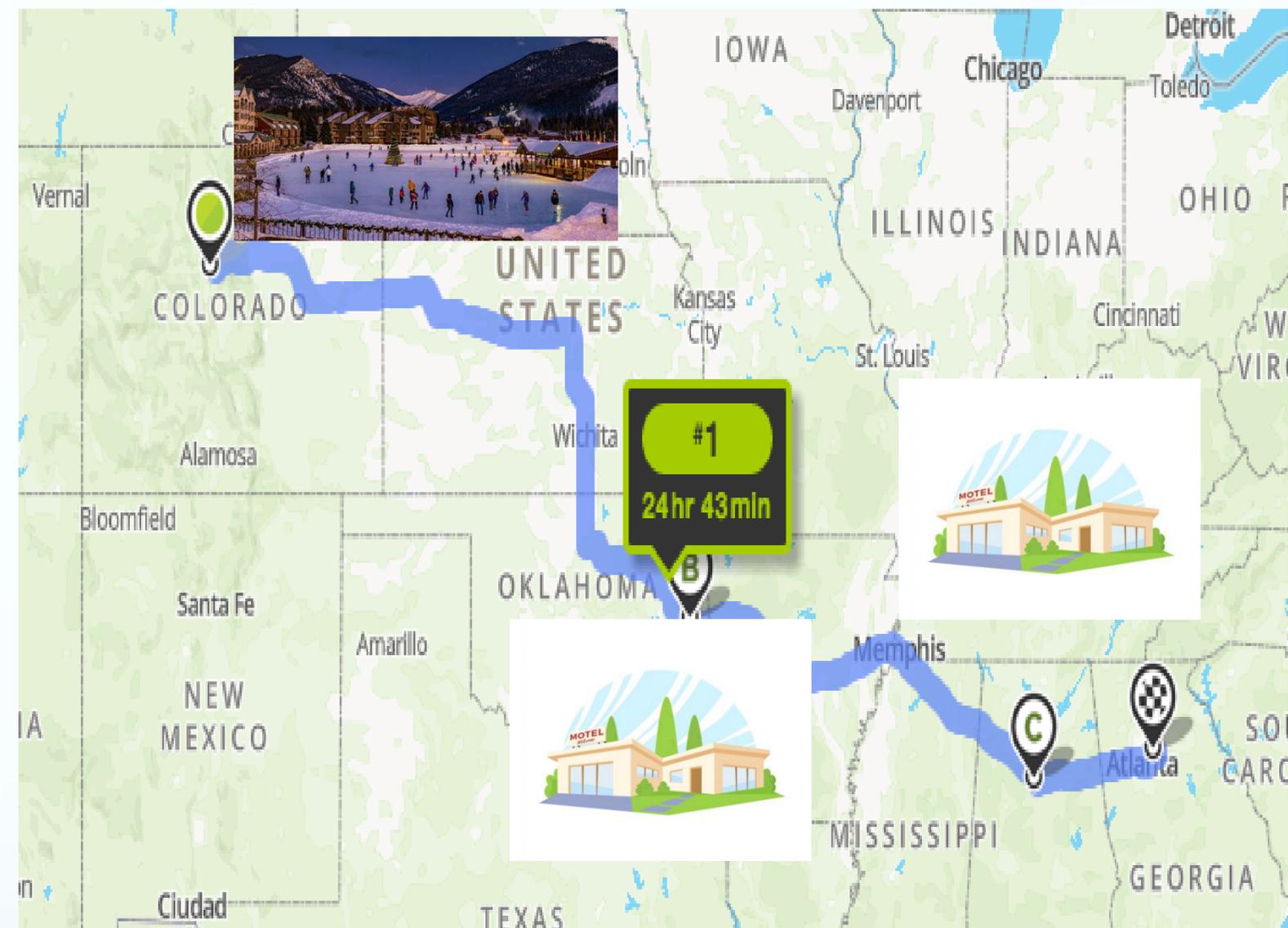
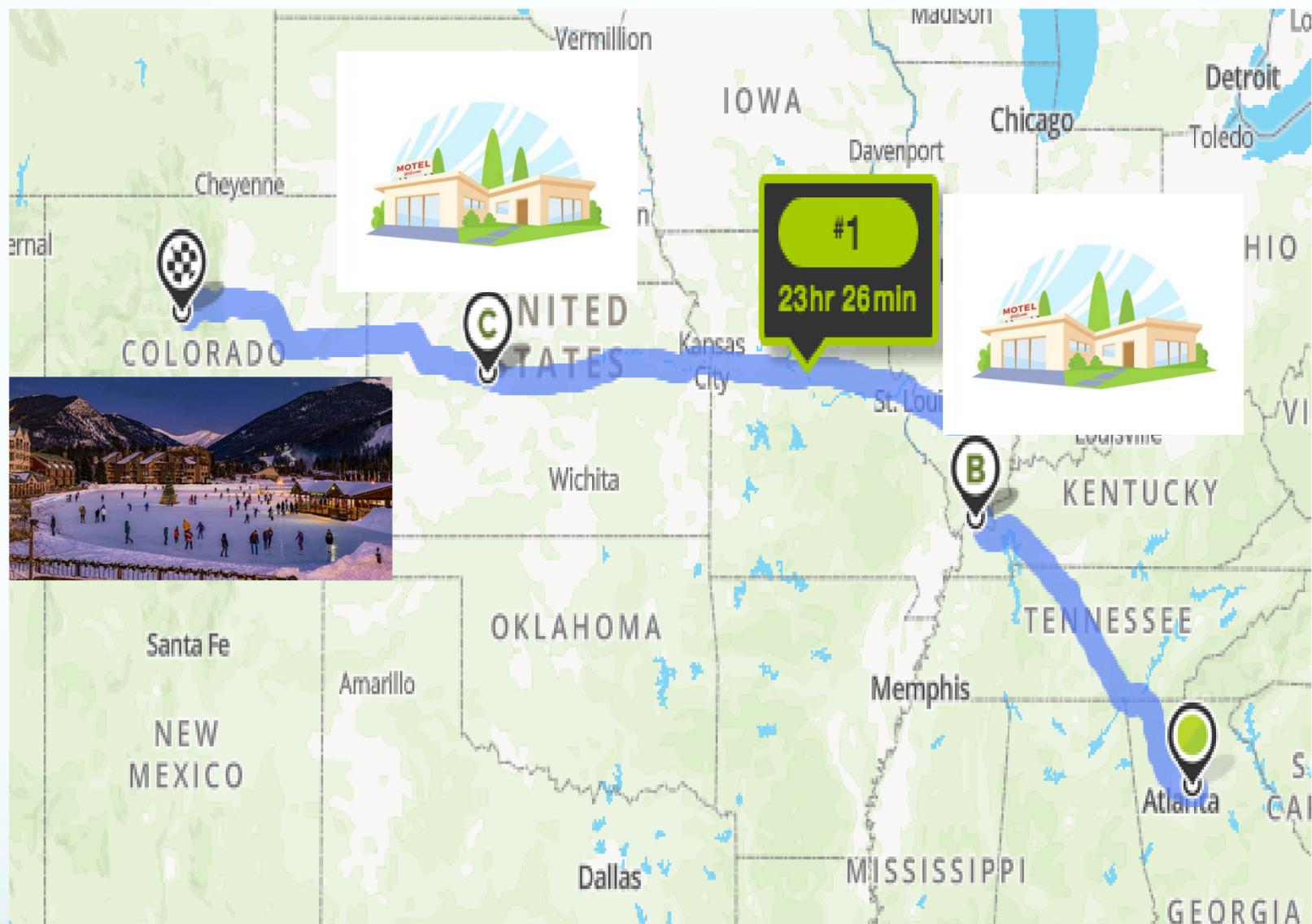
TRIP BY CAR DAY 3 HAYS (KANSAS)-KEYSTONE SLEEP WITHOUT NORMOXIC GENERATOR

TRIP BACK TO GEORGIA (1500 MILES BY CAR)

TRIP BY CAR DAY 31 KEYSTONE (COLORADO)-SALLISHAW (OKLAHOMA)- SLEEP WITH HIGHER-PEAK MAG-10

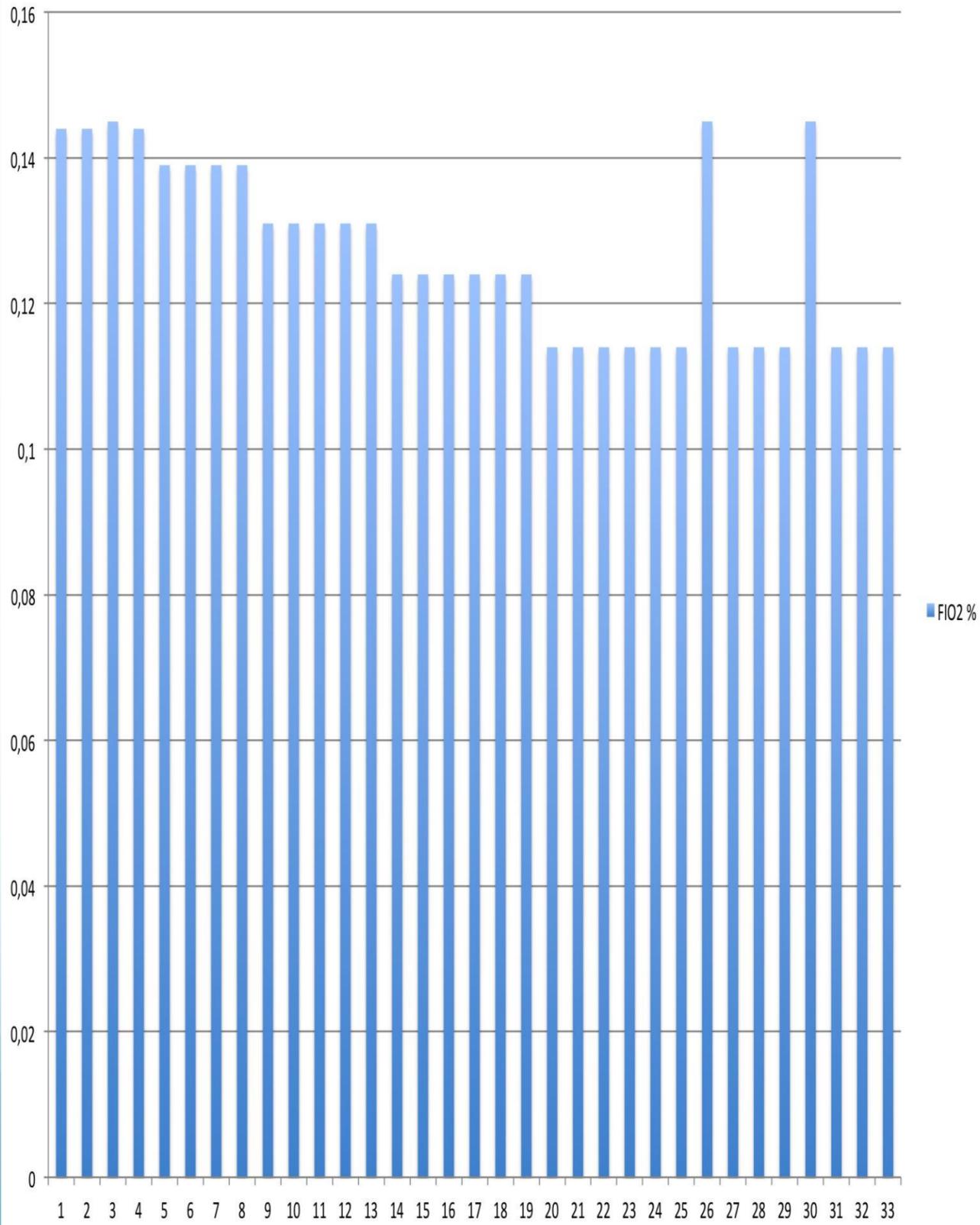
TRIP BY CAR DAY 32 SALLISHAW (OKLAHOMA)-BIRMINGHAM (ALABAMA) SLEEP WITH HIGHER-PEAK MAG-10

TRIP BY CAR DAY 33 BIRMINGHAM (ALABAMA)-SNELLVILLE (GEORGIA) SLEEP WITH HIGHER-PEAK MAG-10

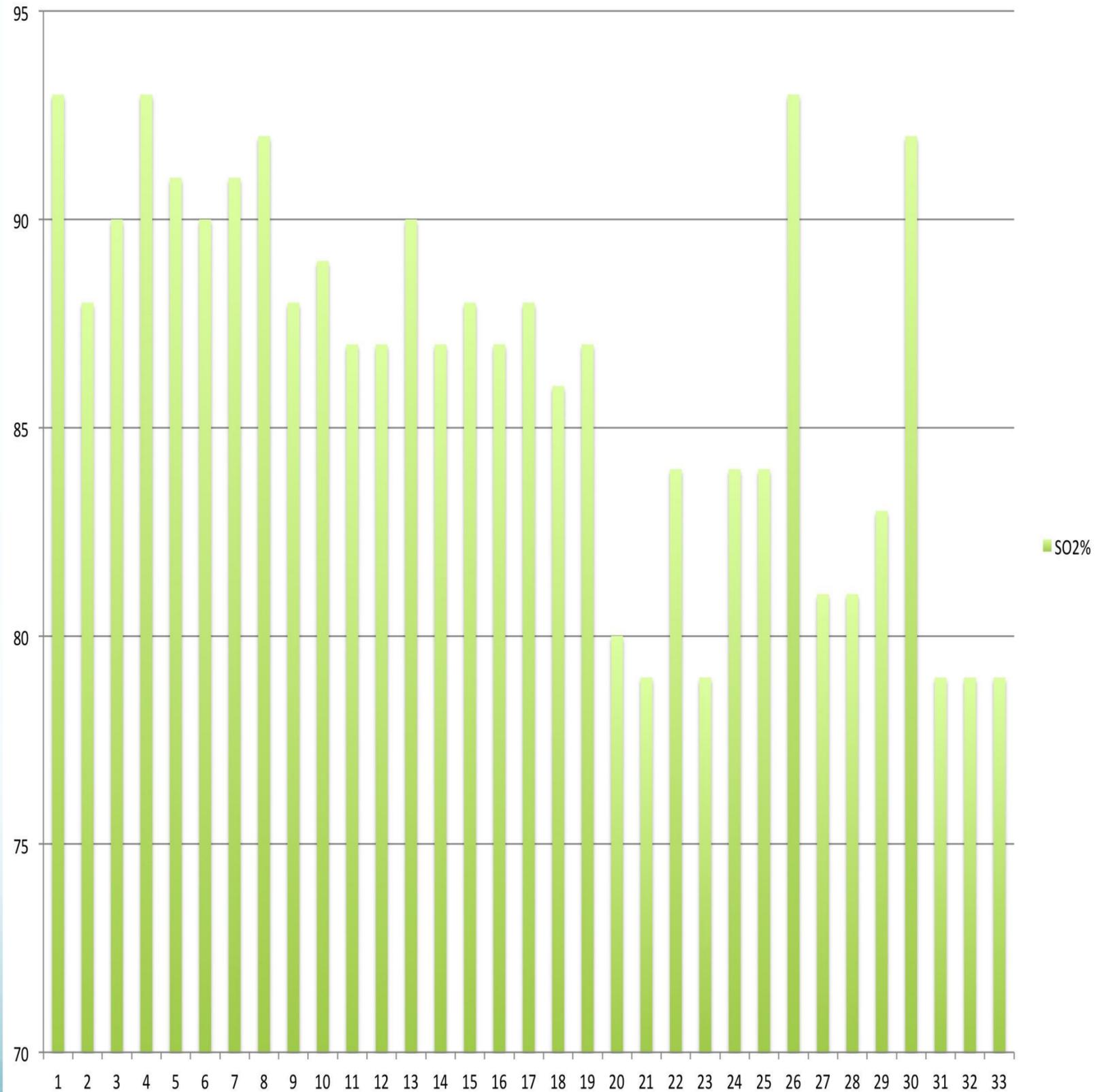


VIAJE DE GEORGIA A COLORADO PRE-POST ESTANCIA 27 DÍAS EN COLORADO

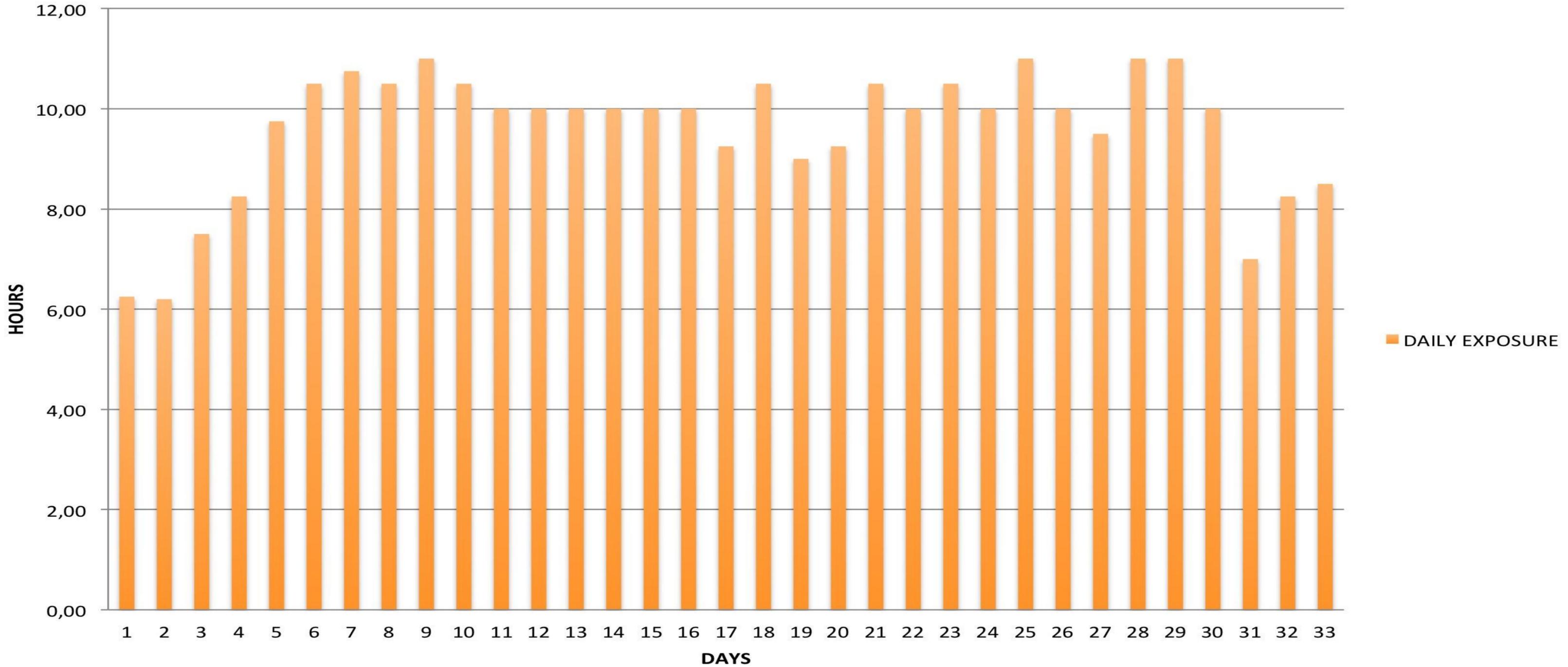
OXYGEN FRACTION INSPIRED (FIO2 %)



SO2%

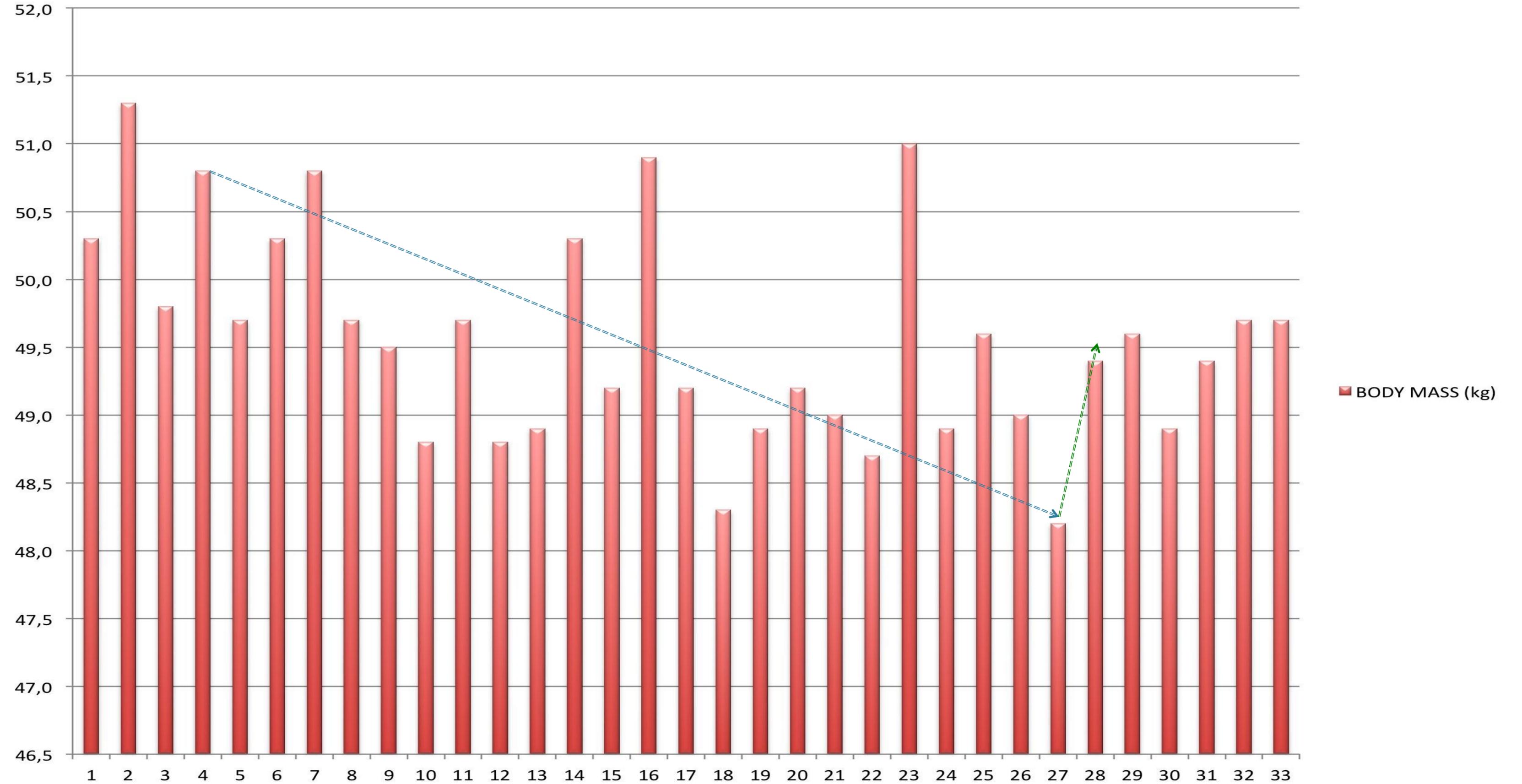


DAILY EXPOSURE SIMULATED ALTITUDE



DAYS 3Rd , 4Th , 26Th AND 30Th REFERRED TO SLEEPING AT NATURAL HYPOBARIC HYPOXIA

BODY MASS (kg)



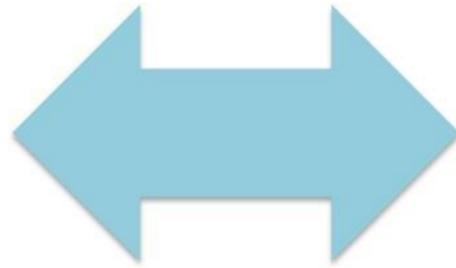
EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN ALTITUD SIMULADA



N = 16
Grupo normoxia (NOR)



N = 16
Grupo hipoxia (HYP)



- ✓ Ambos grupos se ejercitan 3 veces / semana durante 7 semanas
- ✓ lunes, miércoles y viernes
- ✓ HYP se ejercita con una $FiO_2 = 13\%$ (4300 m altitud simulada)
- ✓ Press banca, curl bíceps, press francés, remo Pendlay y ½ sentadilla



HALLAZGOS

-7 días	7 semanas de entrenamiento		3 semanas sin entrenar (Rest)
Estimar 1RM	Duración media sesión 60 ± 5 min (Exposición HYP = 21 horas)		Estimar 1RM
Cineantropometría	Sesiones 1 – 7 (3 x hasta fallo al 65 % 1 RM) Rec. 90s Sesiones 8 – 14 (3 x hasta fallo al 75 % 1 RM) Rec. 90s Sesiones 15 – 21 (3 x hasta fallo al 80 % 1 RM) Rec. 90s		Cineantropometría
Hemoglobina (Hb) Hematocrito (Hct)	NOR 54863 repeticiones	HYP 52895 repeticiones	Hb y Hct

	HYP	NOR
% Masa muscular	↑↑↑	↑
% Masa grasa	↓↓↓↓	↑
Contorno proximal brazo	↑	↑
Contorno medial muslo	↑	↑
Contorno medial pantorrilla	↑	↑
Hb	×	×
Hct	↑(Rest)	↓(Rest)



- ✓ Las diferencias observadas en Hct podrían ser consecuencia de valores hemoconcentrados
- ✓ La masa muscular disminuyó menos en HYP tras Rest
- ✓ No hubieron diferencias entre los niveles de fuerza entre grupos
- ✓ HYP mejoró notoriamente su masa muscular y composición corporal



¡Está claro que estos resultados no aportan argumentos conviccentes sobre el entrenamiento de fuerza bajo hipoxia normobárica!

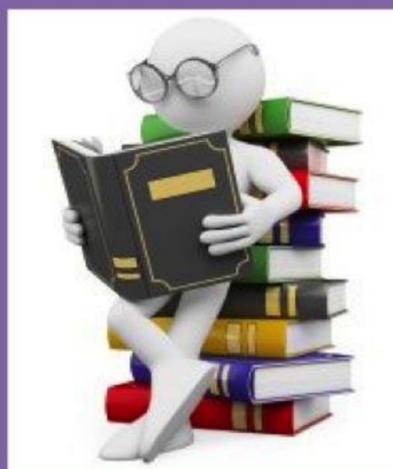


SPRINTS REPETIDOS EN HIPOXIA EN UN CICLISTA DE RUTA PROFESIONAL

¿PORQUÉ USAR SPRINTS REPETIDOS EN HIPOXIA (RSH)?

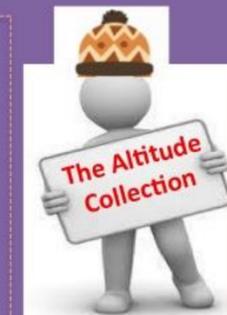


- ❑ ESTRÉS HIPÓXICO ADICIONAL
- ❑ PROMUEVE ADAPTACIONES PERIFÉRICAS
- ❑ MÁXIMO RECLUTAMIENTO DE FIBRAS RÁPIDAS CON UNA EXTRACCIÓN SUPERIOR DE O₂ (↑HHb)
- ❑ GANANCIA ~2 % ADICIONAL PARA SPRINTS REPETIDOS COMPARADO A RS EN NORMOXIA (RSN)



PARTICIPANTE

- ✓ EDAD = 27 AÑOS
- ✓ MASA CORPORAL = 69 kg
- ✓ ALTURA = 1.79 m
- ✓ 7 AÑOS PROFESIONAL
- ✓ TEMPORADA PREVIA A ESTUDIO: 18,8 h DE ENTRENAMIENTO SEMANAL, >22000 km, >9000 km EN >60 DÍAS DE COMPETICIÓN



DISEÑO DEL ESTUDIO

BLOQUE DE 10 DÍAS RSH

1 SEMANA ANTES

(FiO₂ = ~14 %; PRESIÓN BAROMÉTRICA = 96,4 ± 1,4 mmHg; ALTITUD SIMULADA = 3300 ± 61 m)

RSH 1

RSH 2

RSH 3

RSH 4

RSH 5

L

M

X

J

V

S

D

L

M

X

J

V

S

D



SPRINT 6 s

POTENCIA REFERENCIA

- ✓ SESIONES DE 50 MIN RSH SEGUIDAS DE RODAJE (<VT1) DE 90 MIN
- ✓ SESIONES RSH: 12 MIN A 200 W + SPRINT 6 s + 4 x (7 x 6 s RECUPERACIÓN = 14 s)
- ✓ RECUPERACIÓN SERIES 1 A 2 Y 3 A 4 = 4 min 54 s A 200 W.
- ✓ RECUPERACIÓN SERIES 2 A 3 = 9 min 54 s CON NUEVO SPRINT 6 s

HALLAZGOS

1. ÁCIDO LÁCTICO ↑ HASTA UN 13 %
↑ CONTRIBUCIÓN GLUCÓLISIS ANAERÓBICA
 2. 6 % ↑ DEL TRABAJO TOTAL EN RSH 5 (354 W) vs. (334 W) EN RSH 1
 3. 11 % ↑ DE LA POTENCIA PICO A LOS 5-s EN RSH 5 (961 W) vs. (867 W) RSH 1
 4. ↑ EFICIENCIA, PUES LA FC MEDIA FUE LA MISMA (146 · MIN⁻¹) EN RSH 1 Y RSH 5
 5. 1,5 % ↑ SO₂ DURANTE EL CALENTAMIENTO EN RSH 5 (85 %) vs. (83,5 %) RSH 1
- ¡RSH PRESENTA RESULTADOS POSITIVOS EN LAS RESPUESTAS FISIOLÓGICAS Y DE RENDIMIENTO EN UN CICLISTA PROFESIONAL!**



CREADO POR SANTIAGO SANZ

fisiólogo del Ejercicio del Comité Paralímpico Español



Faiss R, and Billaut F. Repeated sprint training in hypoxia: case report of performance benefits in a professional cyclist. *Frontiers in Sports and Active Living*. (2020). Doi: 10.3389/fspor.2020.00035

EFFECTIVIDAD DEL TEST DE EJERCICIO EN HIPOXIA COMO PREDICTOR DE RENDIMIENTO EN ALTITUD MODERADA



ENTRENAMIENTO DESDE TEST 1 A TEST 3

- ✓ 11 ± 1 sesiones de nado semanales
- ✓ 74 ± 9 km semanales
- ✓ 3 ± 1 sesiones de fuerza semanales



12 días en Font-Romeu, Francia (1850 m)

18 Nadadores de la selección francesa

- ✓ Test de Richalet → protocolo de 4min de descanso en normoxia + 4 min en hipoxia ($FiO_2 = 0,115 \%$) + alternar 4 min ejercicio* hipoxia + 4 min ejercicio en cicloergómetro en normoxia + 4 min ejercicio en hipoxia ajustando la potencia generada a la FC mantenida durante los 4 min de ejercicio en hipoxia.
- ✓ Se miden FC (FC_{test}), respuesta ventilatoria (HV_{test}) y SO_2 (SO_{2test})
- * Potencia al ~30 % VO_{2max} en normoxia



ACTIVIDAD	TEST DE RICHALET	TEST 1 100 o 200 m	TEST 2 100 o 200 m	TEST 3 100 o 200 m
TIMING	SEMANA PREVIA ALTITUD	3 d ANTES DE ALTITUD	8º DÍA EN ALTITUD	3 d TRAS ALTITUD



- ✓ Se mide la SO_2 recién levantado en bipedestación con un pulsioxímetro
- ✓ Cuestionario Lake Louise (mal agudo montaña)
- ✓ Cuestionario GSQS (calidad sueño), ambos durante desayuno
- ✓ RPE con escala Borg 6-20 tras cada entrenamiento
- ✓ Cálculo del índice de riesgo de enfermar en altitud ($SHAI_{score}$) computando en una fórmula los factores (edad, género, historial de migrañas, entrenamiento de resistencia, FC_{test} , HV_{test} y SO_{2test}) (Richalet et al., 2012, 2015).

2 Grupos

$SHAI_{score} < 3$

$SHAI_{score} \geq 3$

RESULTADOS

- ✓ $SHAI_{score} < 3$ ↓ rendimiento en Test 2 $0,98 \pm 1 \%$ vs. $2,67 \pm 1,59 \%$ en $SHAI_{score} \geq 3$
- ✓ A nivel del mar en Test 3 valores similares $0,17 \pm 0,18 \%$ a Test 1 y sin diferencias entre grupos
- ✓ $SHAI_{score}$ y SO_{2test} parámetros que más correlacionaron ($r \geq 0,54$) con ↓ rendimiento en altitud
- ✓ FC_{test} y HV_{test} mostraron correlaciones negativas bajas
- ✓ $SHAI_{score}$ no correlaciona con Lake Louise ni GSQS



¡A CONSIDERAR POR ENTRENADORES!

- ✓ El test de Richalet es sensible al rendimiento de nadadores en altitud moderada y puede detectar a aquellos que encontrarán dificultades en tal escenario.

CREADO POR SANTIAGO SANZ

Fisiólogo del ejercicio del Comité Paralímpico Español



Pla R, Brocherie F, Le Garrec S, & Richalet JP. Effectiveness of the hypoxic exercise test to predict altitude illness and performance at moderate altitude in high-level swimmers. *Physiological reports*. (2020). 8(8).

¡LLEVE A CASA!

- El rango óptimo de altitud es de 2500-3000m
- Las estancias deben prolongarse 28-35d
- Cada 100h de exposición el incremento de Hb_{total} es de $\sim 1.1\%$
- Valores mínimos de ferritina de $20 \text{ ng} \cdot \text{dL}^{-1}$ en mujeres y $30 \text{ ng} \cdot \text{dL}^{-1}$ en hombres.
- Garantizar las reservas de depósitos de hierro (no hierro sérico) con $\sim 100\text{mg}$ de sulfato ferroso al día
- Por alteración de la dinámica cerebrovascular no es recomendable entrenar los primeros días a $> 3500\text{m}$ altitud
- Parece que la oxidación de glucógeno endógena está comprometida en altitud durante el ejercicio, por lo que el aporte post-entreno de carbohidratos es muy importante ($1\text{g} \cdot \text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$)
- Una programación nutricional específica a cada una de las sesiones de entrenamiento es imprescindible para preservar la pérdida de masa corporal en altitud, especialmente masa muscular.
- Garantizar $2.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ de proteína y $\sim 8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ de CHO y ... $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ de lípidos diariamente en altitud
- RSH como herramienta para mejorar la glucólisis anaeróbica.
- Test de Richales o test de So_a a VO_{2MAX} en tapiz rodante antes de estancia como predictores de aclimatación (Chapman et al., 1998)

SUMMARY



¡MUCHAS GRACIAS POR TU ATENCIÓN!



fisiologia@paralimpicos.es