

Training at altitude

Which is the altitudinal threshold?

Edgar Cristancho
Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias
Departamento de Biología

TEMARIO

- Antecedentes
- El método de determinación de Hbt
- El umbral eritropoyético
- Sujetos de estudio
- Resultados e interpretación
mujeres
hombres
- Conclusiones

ANTECEDENTES

Valores de Hct y [Hb] en personas de diferente altitud

	Hct (%)	[Hb] g·dl ⁻¹
2600m	42.9 ± 0.6	14.3 ± 0.2
960m	39.8 ± 0.6	13.1 ± 0.1
35m	37.6 ± 0.6	12.9 ± 0.2

Tabla 1. Valores promedio ± error estándar de hematocrito (Hct) y concentración de hemoglobina [Hb] en mujeres habitantes de diferente altura. Fuente: Cristancho 2004.

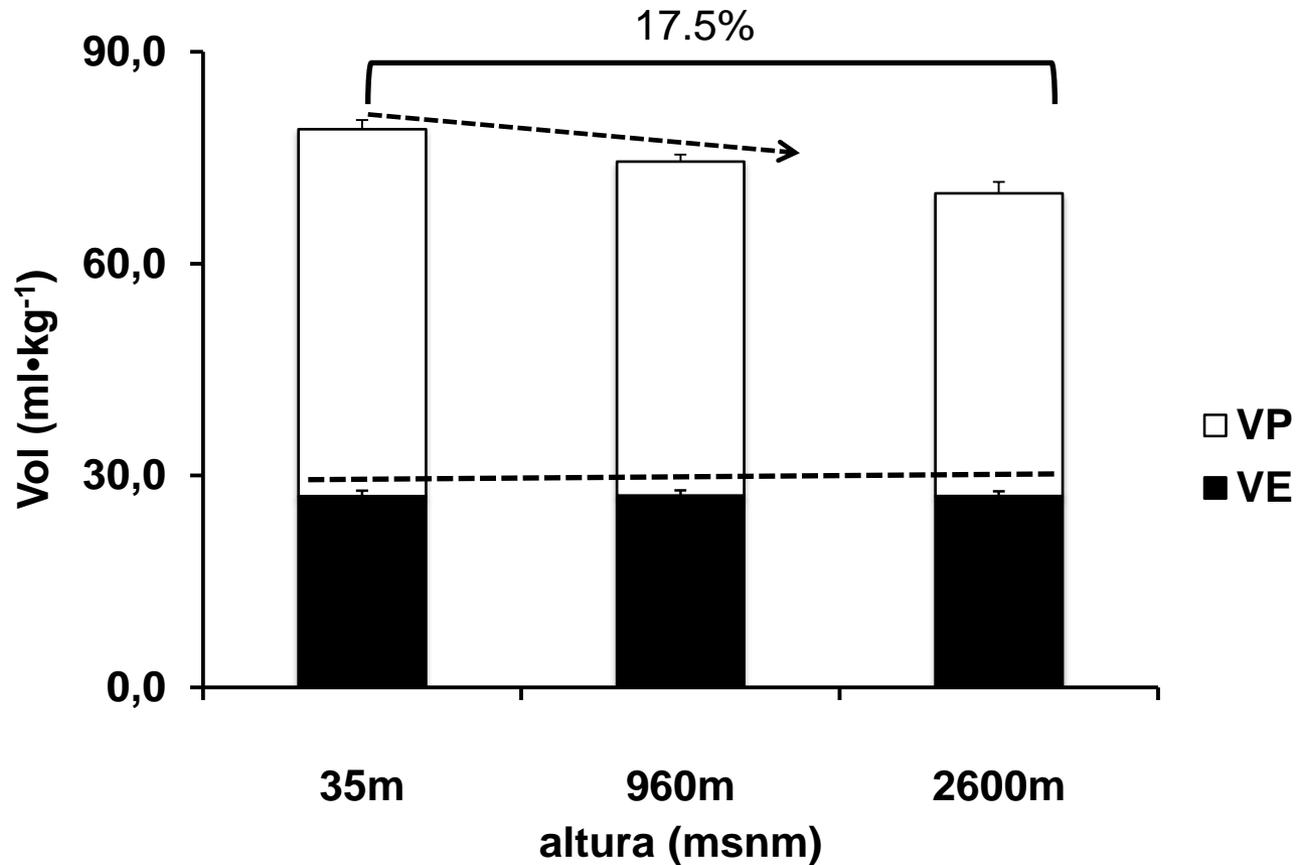


Fig. 1. Promedio \pm error estándar de volumen de eritrocitos (columnas negras), volumen de plasma (columnas blancas) y volumen de sangre (columnas blancas + columnas negras) en mujeres de distinto origen altitudinal.

Concentración [Hb] y masa total de hemoglobina (Hb_{tot}) en mujeres entrenadas y no entrenadas de diferente altura.

		n	[Hb] g·dl ⁻¹	Hb _t g·kg ⁻¹	
UT	2600	15	14.3 ± 0.2	9.5 ± 0.3	} 9.7%
	960	14	13.1 ± 0.1	8.9 ± 0.2	
	35	19	12.9 ± 0.2 ^a	9.1 ± 0.2	
ET	2600	15	13.8 ± 0.2	11.6 ± 0.3 ^{bb}	} 9.4%
	960	5	12.9 ± 0.2	10.8 ± 0.1 ^b	
	35	16	12.5 ± 0.2	11.6 ± 0.3 ^{bb}	

Promedios ± error estándar de determinaciones en mujeres no entrenadas (UT) y entrenadas en disciplinas de resistencia (ET). Efecto de altura respecto 2600 con $p < 0.05^a$; efecto de ejercicio respecto al grupo UT con $p < 0.05^b$ y con $p < 0.01^{bb}$. (Böning et al. 2004).

Valores hematológicos en hombres de distinto origen altitudinal

	n	Hct (%)	[Hb] g·dl ⁻¹	Hb _t g·kg ⁻¹
2600m	14	51.9 ± 0.5	17.4 ± 0.2	13.1 ± 0.4 (10.7%)
35m	15	45.9 ± 0.7 ^{aa}	15.3 ± 0.2 ^{aa}	11.7 ± 0.2 ^{aa}

Valores promedio ± EE de valores hematológicos en 21 hombres. Efecto de altura con $p < 0.01^{aa}$. (Böning et al, 2001).

Consumo máximo de oxígeno (VO_{2max})

		VO_{2max} (35 m) ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	VO_{2max} (2600 m) ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹
UT	35m	37.8 ± 0.7	*33.3 ± 0.6
	2600m	- - -	27.1 ± 1.0 ^{aa}
ET	35m	54.6 ± 1.3	*44.6 ± 1.0 ^{bb}
	2600m	- - -	44.1 ± 0.9 ^{bb}

Valor promedio ± SE. El VO_{2max} de las mujeres del nivel del mar (35m) fue corregido a 2600m*. Efecto de altura con $p < 0.01$ o menor ^{aa} y efecto de entrenamiento con $p < 0.01$ o menor ^{bb}. *Fulco et al. 2000.

Masa total de hemoglobina en mujeres de distinto origen altitudinal.

	n	Hb _{tot} g·kg ⁻¹	
35m	27	9.9 ± 0.1 ^{aa}	} 4.8%
2600m	35	10.4 ± 0.2	

Promedios ± error estándar de Hb_{tot} en mujeres después de la corrección del nivel de entrenamiento. Efecto de altura con $p < 0.01$ ^{aa} (*Fuente: Cristancho. 2004*).

**EL METODO DE DETERMINACION DE
LA MASA TOTAL DE HEMOGLOBINA**

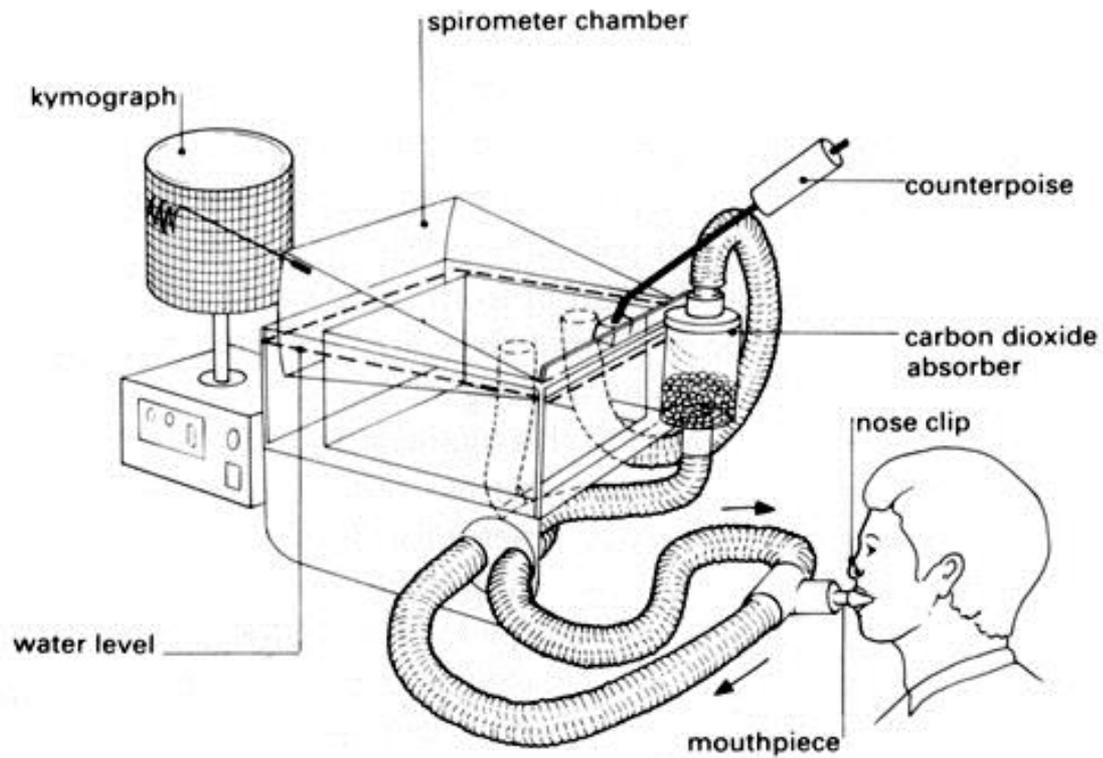


Fig. 2. Respirómetro de campana utilizado en la re-inhalación de CO.

Desventajas:

Volumen muy grande del sistema

→ prolongación del tiempo.

difusión y equilibrio del gas

→ incomodidad para la persona

→ transporte.

→ sangre venosa (uso de un cateter)

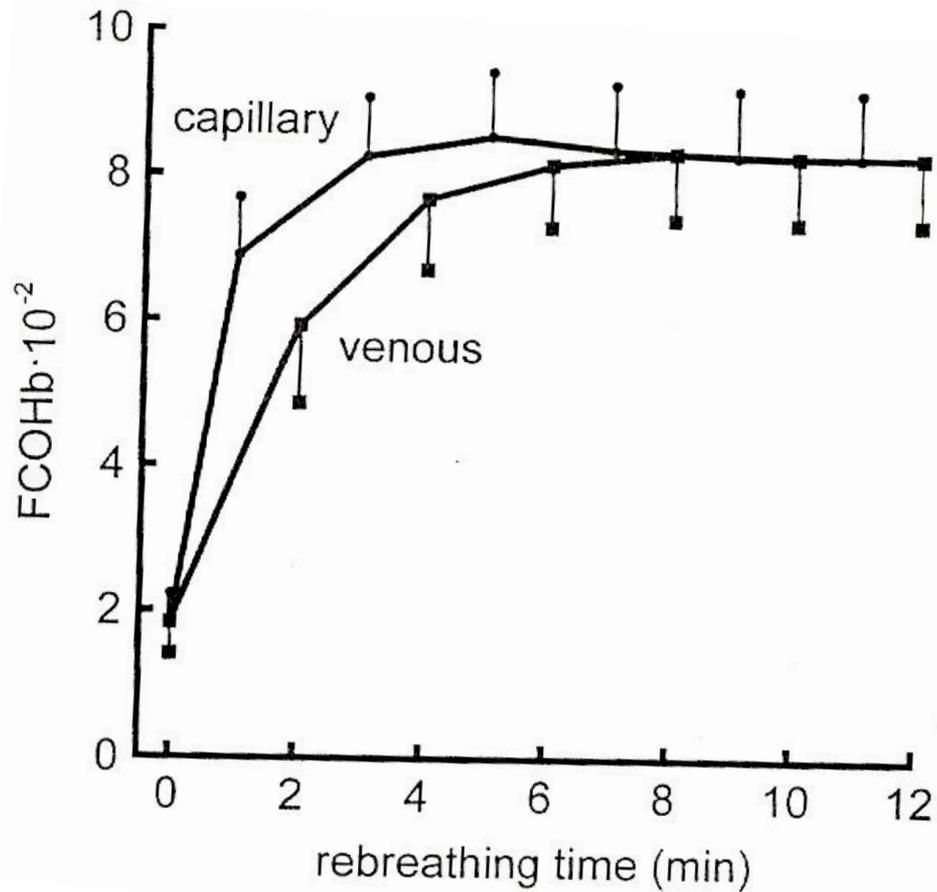
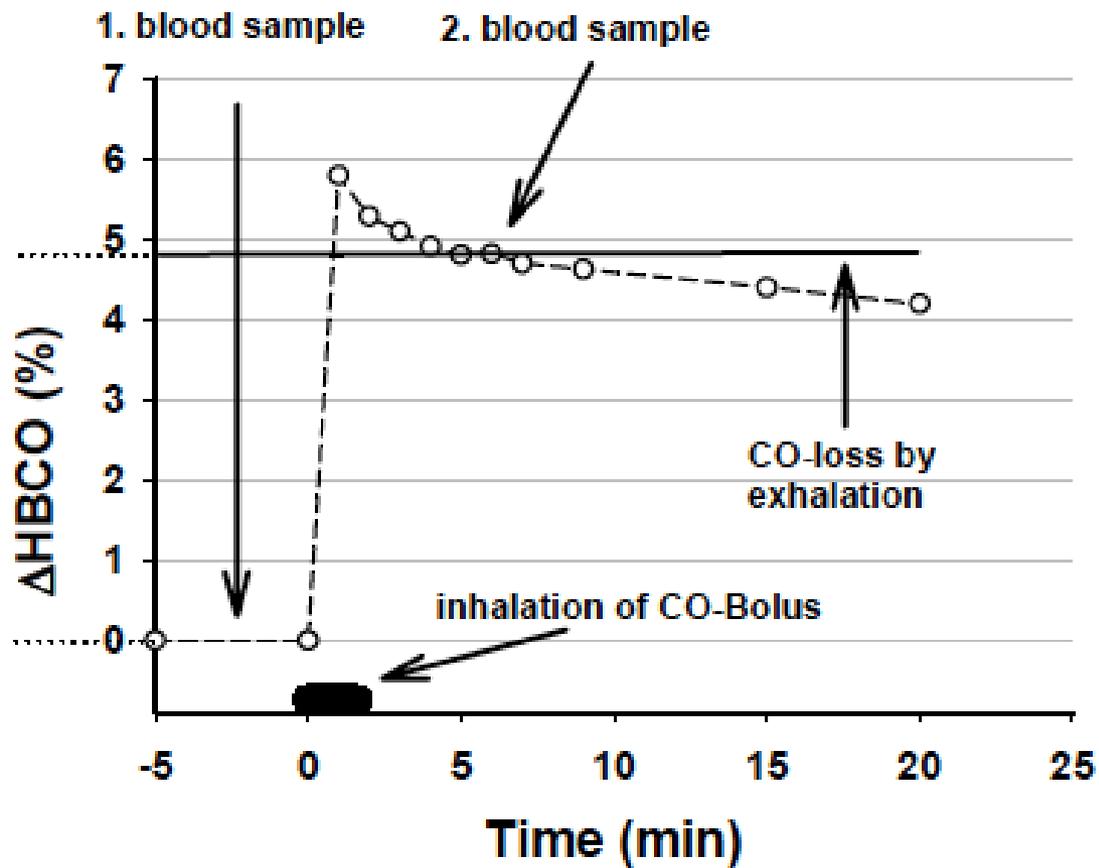


Fig. 3. Transcurso del tiempo en la acumulación de COHb En sangre venosa y arterial. **Fuente: Hütler et al 2000.**

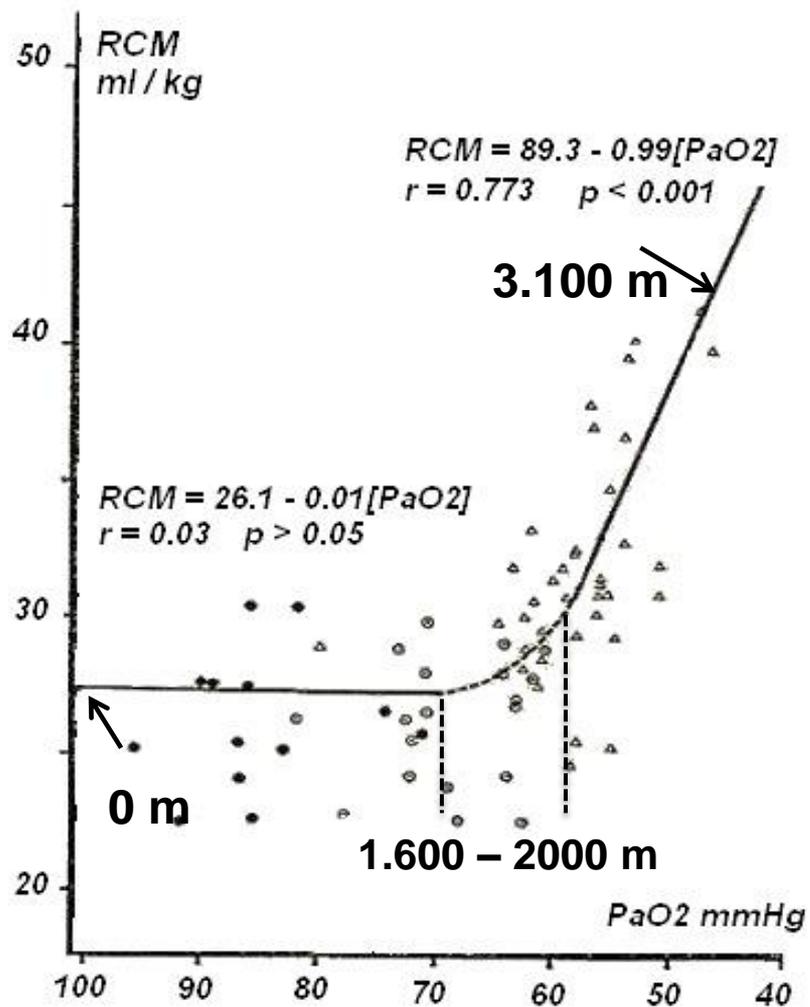


Método de re-inhalación de CO, de acuerdo a Schmidt & Prommer. WADA Symposium 2009





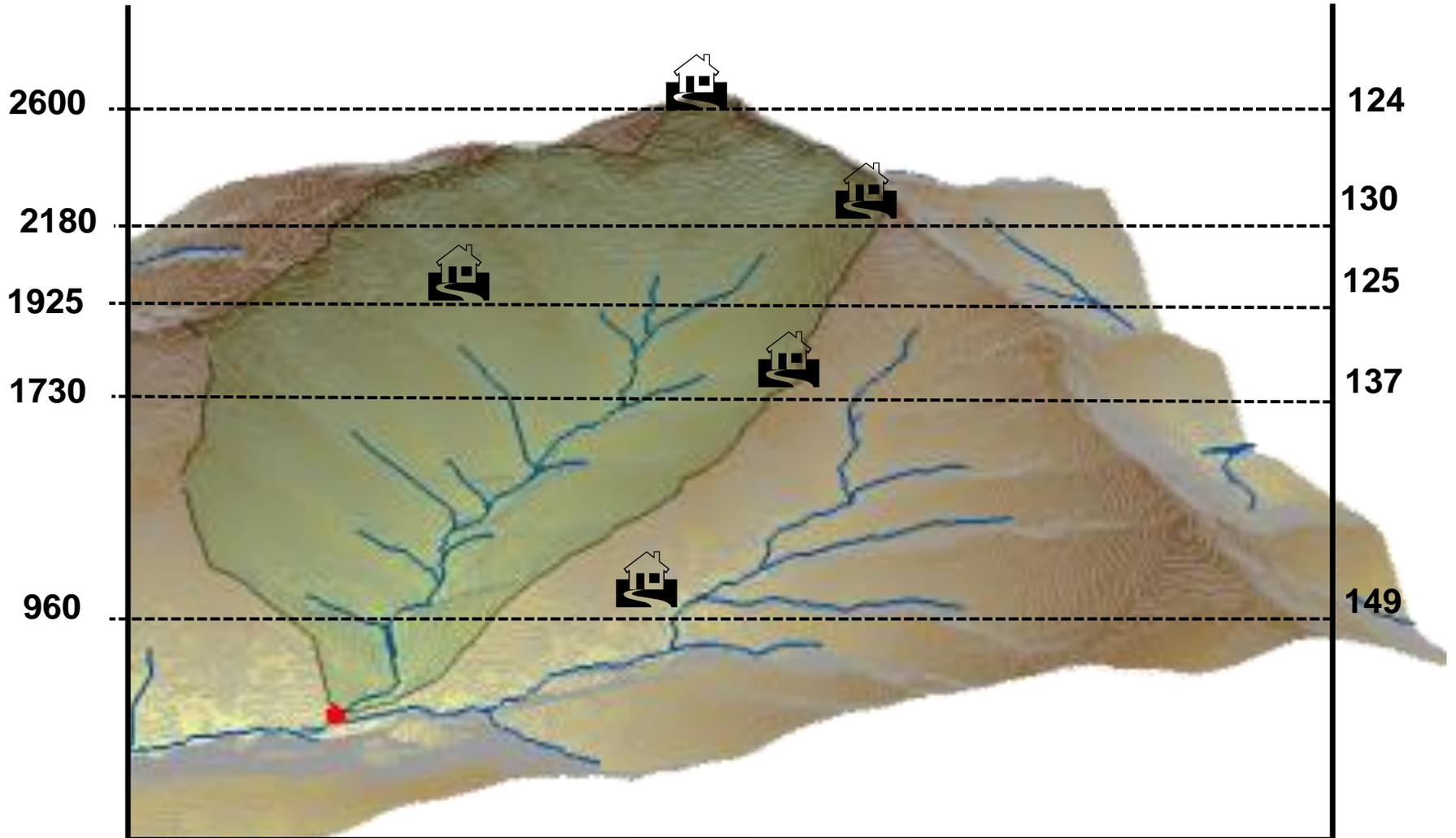
El umbral eritropoyético



Volumen de glóbulos rojos en dependencia de la presión arterial de oxígeno. (Weil et al 1968).

Altura (m)

PO₂ (mmHg)



Alturas y sus correspondientes valores de presión parcial de oxígeno

S U J E T O S D E L E S T U D I O

- Voluntarias (os)
- 18 – 30 años
- Sedentarios sanos (libres de enfermedades cardiovasculares renales, sanguíneas, etc.).
- $IMC \leq 30$
- Mínimo de residencia en el lugar 3 años

R E S U L T A D O S E I N T E R P R E T A C I O N

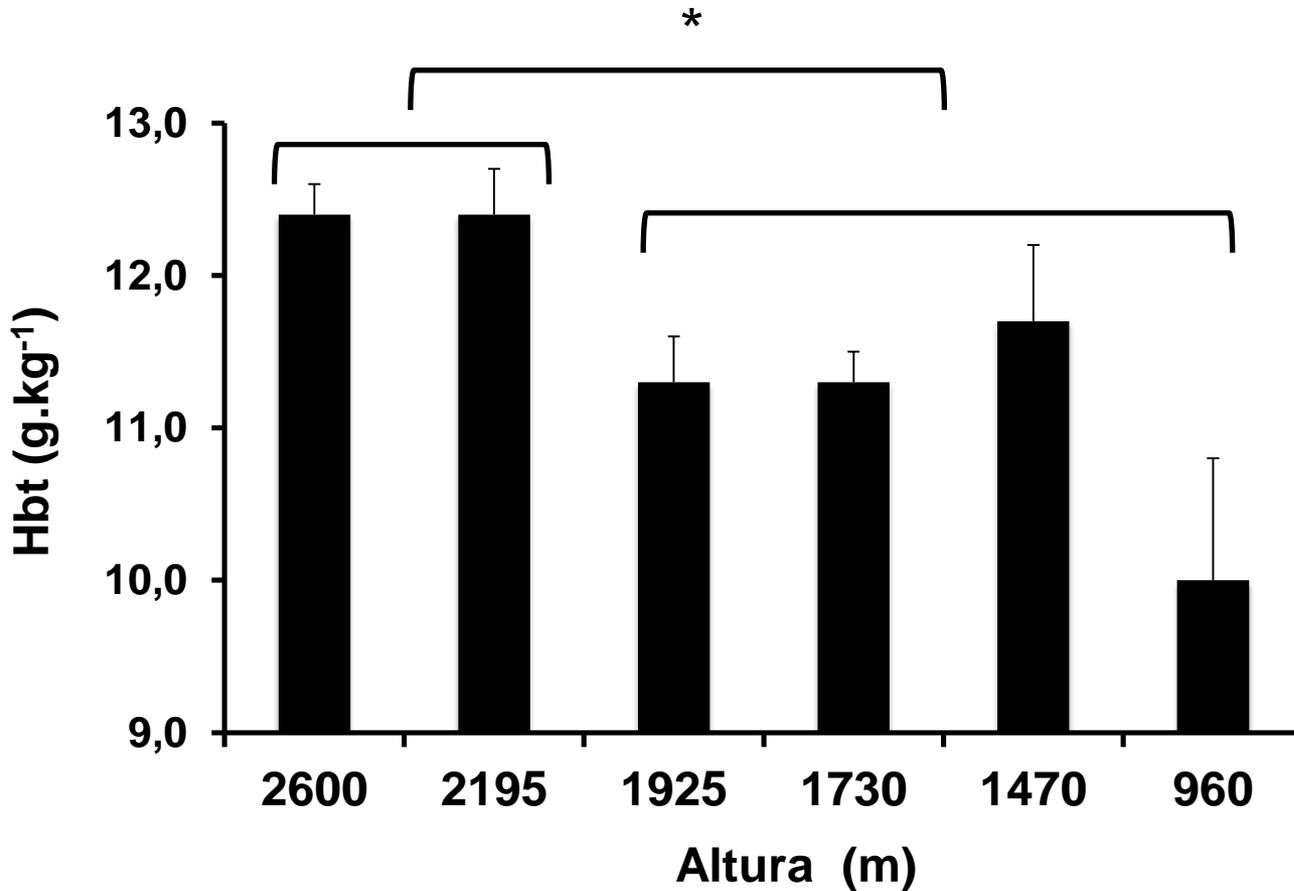
Resultados en mujeres

Altura (m)	n	Edad (años)	Peso (Kg)	Talla (m)	IMC kg·m ⁻²
2600	47	23.2 ± 0.5	55.6±1.1	158.2±0.8	22.2±0.4
2180	18	19.8 ± 0.9	57.4±1.9	156.6±1.2	23.4±0.8
1925	21	18.9 ± 0.2	51.4±1.6	157.6±1.5	20.8±0.7
1730	23	22.7 ± 0.7	52.6±1.5	157.4±1.0	21.3±0.6
1470	10	20.7 ± 1.5	58.6±3.4	158.3±1.7	22.6±0.6
960	13	23.3 ± 1.2	58.9±1.4	161.4±1.2	23.3±1.0

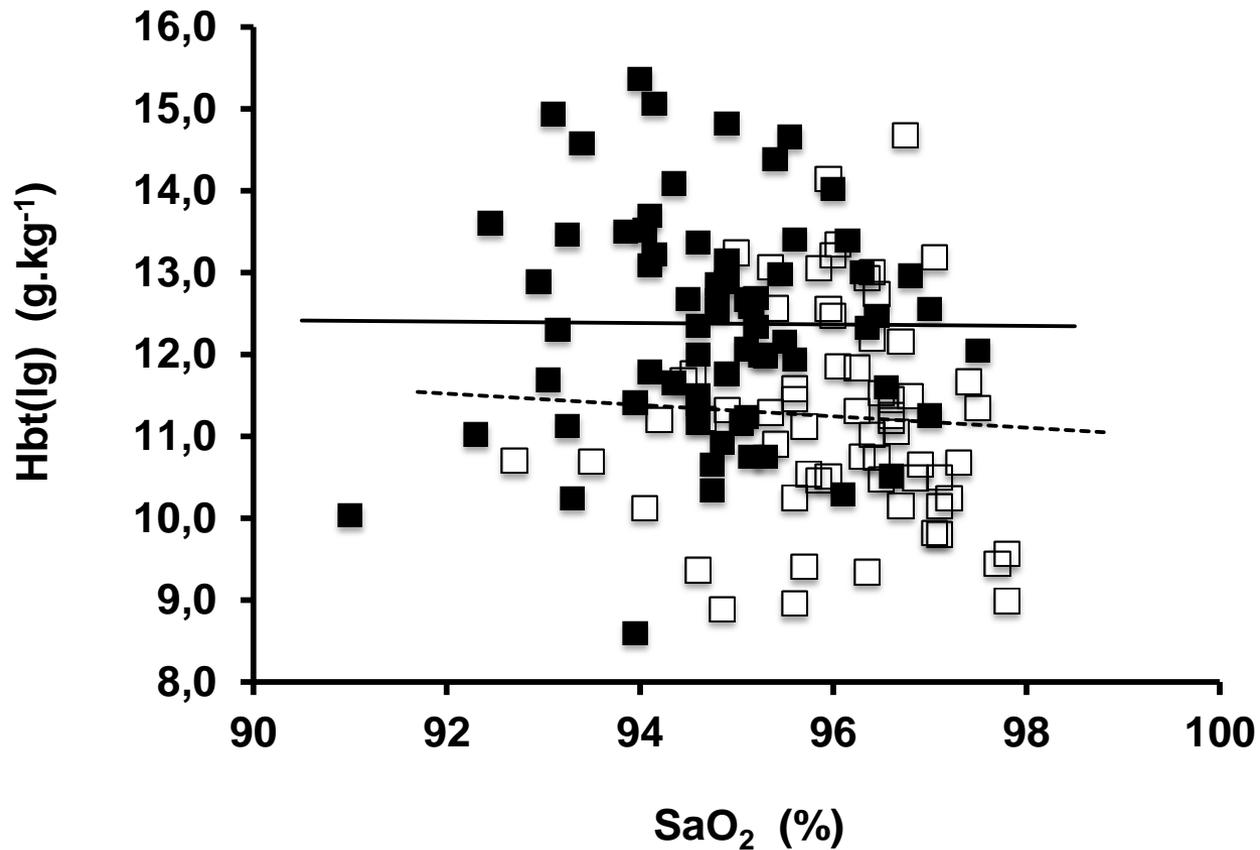
Promedios ± error estándar de valores antropométricos en mujeres habitantes de diferentes alturas

Altura (m)	SO ₂ (%)	Hct (%)	[Hb] (g·dl ⁻¹)	Hbt (g·kg ⁻¹)	Hblg (g·kg ⁻¹)
2600	94.6±0.2	43.2±0.4	14.9±0.2	9.4±0.2	12.4±0.2
2180	95.3±0.3	41.8±0.5*	13.8±0.1*	9.1±0.2	12.4±0.3
1925	94.5±0.3	44.6±0.6	15.2±0.2	9.0±0.3	11.3±0.3*
1730	96.1±0.2*	40.6±0.6*	14.9±0.2	8.9±0.2	11.3±0.2*
1470	95.6±0.3	43.1±0.5	14.7±0.3	8.8±0.4	11.7±0.5*
960	96.1±0.4*	41.4±0.7*	14.2±0.3	8.6±0.3*	10.0±0.8*

Promedios ± error estándar de valores hematológicos en mujeres habitantes de diferentes alturas. Diferencias respecto a 2600m con p <0.05.



Promedios \pm error estándar de masa total de hemoglobina calculada con peso corporal libre de grasa en mujeres con diferente origen altitudinal. (*) Diferencia estadística de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.



Líneas de tendencia para la masa total de hemoglobina en mujeres por debajo del umbral (línea interrumpida, símbolos vacíos) y por encima del umbral (línea continua, símbolos rellenos).

TABLE I
Sea Level Normal Residents

Subject	Age	Height	Weight	BV	RCM	PV	SaO ₂	PaO ₂	pH	Paco ₂	Hct
	<i>yr</i>	<i>cm</i>	<i>kg</i>	<i>liters</i>	<i>liters</i>	<i>liters</i>	<i>%</i>	<i>mm Hg</i>		<i>mm Hg</i>	<i>%</i>
B. A.	47	178	81.8	4.88	2.10	2.78	95.5	71.0	7.43	37.0	43.0
L. G.	55	163	74.3	4.65	1.98	2.67	96.2	74.5	7.45	36.0	42.5
R. E.	27	174	69.8	4.20	2.02	2.18	96.1	80.0	7.42	40.0	48.0
W. B.	36	170	72.1	4.70	2.19	2.51	96.0	82.0	7.40	40.0	46.6

TABLE II
1600 m Normal Residents

Subject	Age	Height	Weight	BV	RCM	PV	SaO ₂	PaO ₂	pH	Paco ₂	Hct
	<i>yr</i>	<i>cm</i>	<i>kg</i>	<i>liters</i>	<i>liters</i>	<i>liters</i>	<i>%</i>	<i>mm Hg</i>		<i>mm Hg</i>	<i>%</i>
G. M.	42	166	62.7	3.80	1.81	2.00	91.5	60.8	7.41	34.2	47.5
J. R.	36	174	71.9	4.62	2.00	2.62	92.5	61.8	7.44	32.8	43.3
E. P.	51	182	87.3	4.40	1.96	2.44	92.5	62.5	7.43	36.3	44.5
J. M.	38	183	91.8	5.00	2.48	2.53	93.2	63.2	7.43	31.0	49.5

TABLE III
3100 m Normal Residents

Subject	Age	Height	Weight	BV	RCM	PV	SaO ₂	PaO ₂	pH	Paco ₂	Hct
	<i>yr</i>	<i>cm</i>	<i>kg</i>	<i>liters</i>	<i>liters</i>	<i>liters</i>	<i>%</i>	<i>mm Hg</i>		<i>mm Hg</i>	<i>%</i>
E. K.	61	173	58.9	4.48	2.35	2.13	83.5	46.4	7.46	34.4	52.5
R. K.	34	172	66.4	4.82	2.75	2.07	83.4	47.5	7.43	34.0	57.0
E. K.	34	175	83.2	5.98	2.66	3.32	85.9	51.0	7.43	33.7	44.5
H. S.	63	170	83.4	5.73	2.58	3.15	85.3	51.1	7.44	32.3	43.0
J. F.	37	177	76.4	5.19	3.08	2.11	87.1	53.2	7.43	27.0	59.5
M. C.	44	179	64.5	5.48	2.52	2.96	86.8	53.8	7.41	41.0	46.0
L. K.	29	160	55.5	3.72	1.82	1.90	88.2	54.0	7.46	34.0	49.0

Resultados en hombres

Altura (m)	n	Edad (años)	Peso (kg)	Talla (m)	IMC $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$
2600	55	23.2 \pm 0.5	63.7 \pm 1.1	170.9 \pm 0.7	21.8 \pm 0.4
2180	12	20.1 \pm 1.5	62.7 \pm 2.8	169.1 \pm 1.1	21.9 \pm 2.5
1925	15	20.2 \pm 0.8	58.6 \pm 1.6	168.0 \pm 1.7	20.7 \pm 0.2
1730	24	21.5 \pm 0.7	66.7 \pm 1.6	172.1 \pm 0.6	22.4 \pm 0.8
960	18	23.3 \pm 0.9	69.1 \pm 1.2	173.7 \pm 0.4	22.9 \pm 0.6

Promedios \pm error estándar de valores antropométricos en hombres habitantes de diferentes alturas

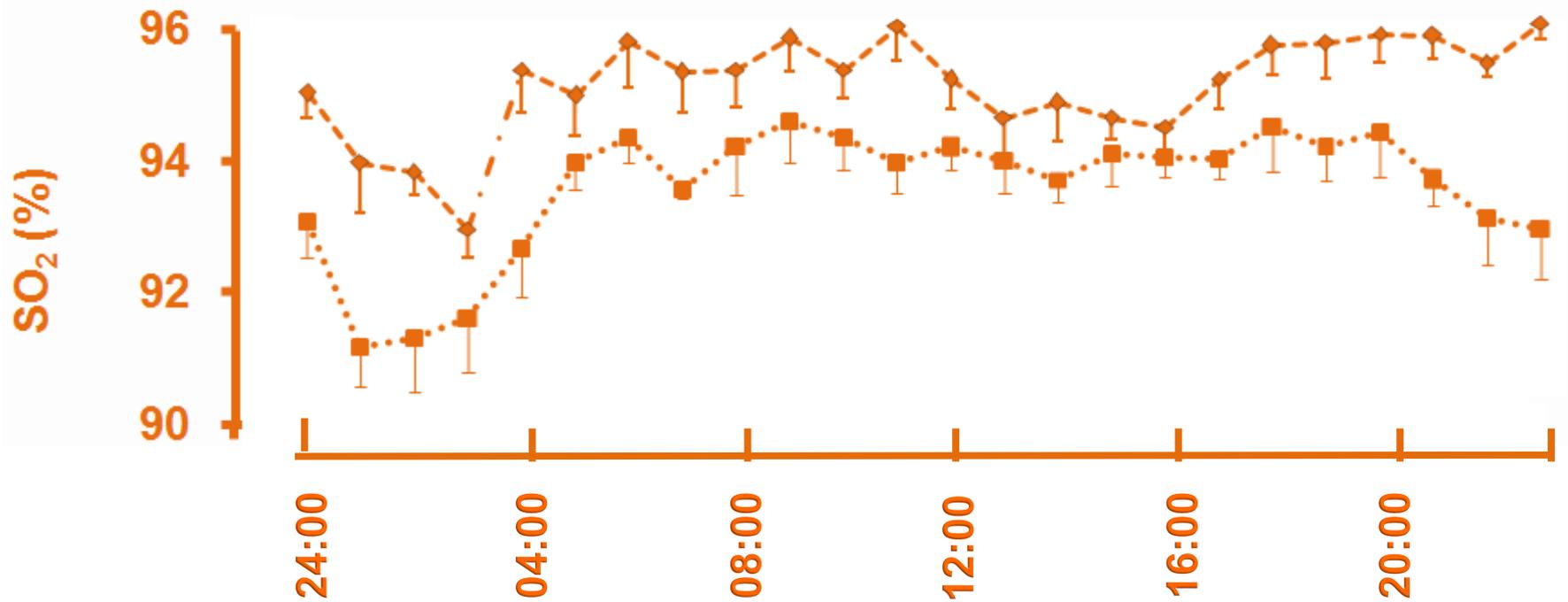
Altura (m)	SO ₂ (%)	Hct (%)	[Hb] (g·dl ⁻¹)	Hbt (g·kg ⁻¹)	Hbt(lg) (g·kg ⁻¹)
2600	93.2±0.2	49.2±0.4	17.1±0.1	12.6±0.2	14.5±0.2
2180	95.2±1.0	46.0±1.7*	15.4±0.9*	12.8±0.3	14.7±0.3
1925	95.0±0.3	49.7±0.5	17.5±0.2	12.9±0.3	14.4±0.2
1730	95.8±0.1	45.9±0.5*	15.2±0.3*	11.8±0.5*	13.6±0.4
960	94.8±0.1	45.8±0.4*	16.1±0.4	11.6±0.3*	13.8±0.4

Promedios ± error estándar de valores hematológicos en hombres habitantes de diferentes alturas. (*) Diferencia estadística respecto de 2600 con p <0.05

Resultados en hombres

Altura (m)	n	Edad (años)	Peso (kg)	Talla (m)	IMC $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$
2600	55	23.2±0.5	63.7±1.1	170.9±0.7	21.8±0.4
2180	12	20.1±1.5	62.7±2.8	169.1±1.1	21.9±2.5
1925	15	20.2±0.8	58.6±1.6	168.0±1.7	20.7±0.2
1730	24	21.5±0.7	66.7±1.6	172.1±0.6	22.4±0.8
1470	9	18.8 ± 0.1	59.4±0.5	169.2±0.5	20.8±0.3
960	18	23.3 ± 0.9	69.1±1.2	173.7±0.4	22.9±0.6

Promedios \pm error estándar de valores antropométricos en hombres habitantes de diferentes alturas



Perfil en 24 hr de la saturación arterial en hombres (rectángulos y mujeres (rombos) habitantes de 2600m.

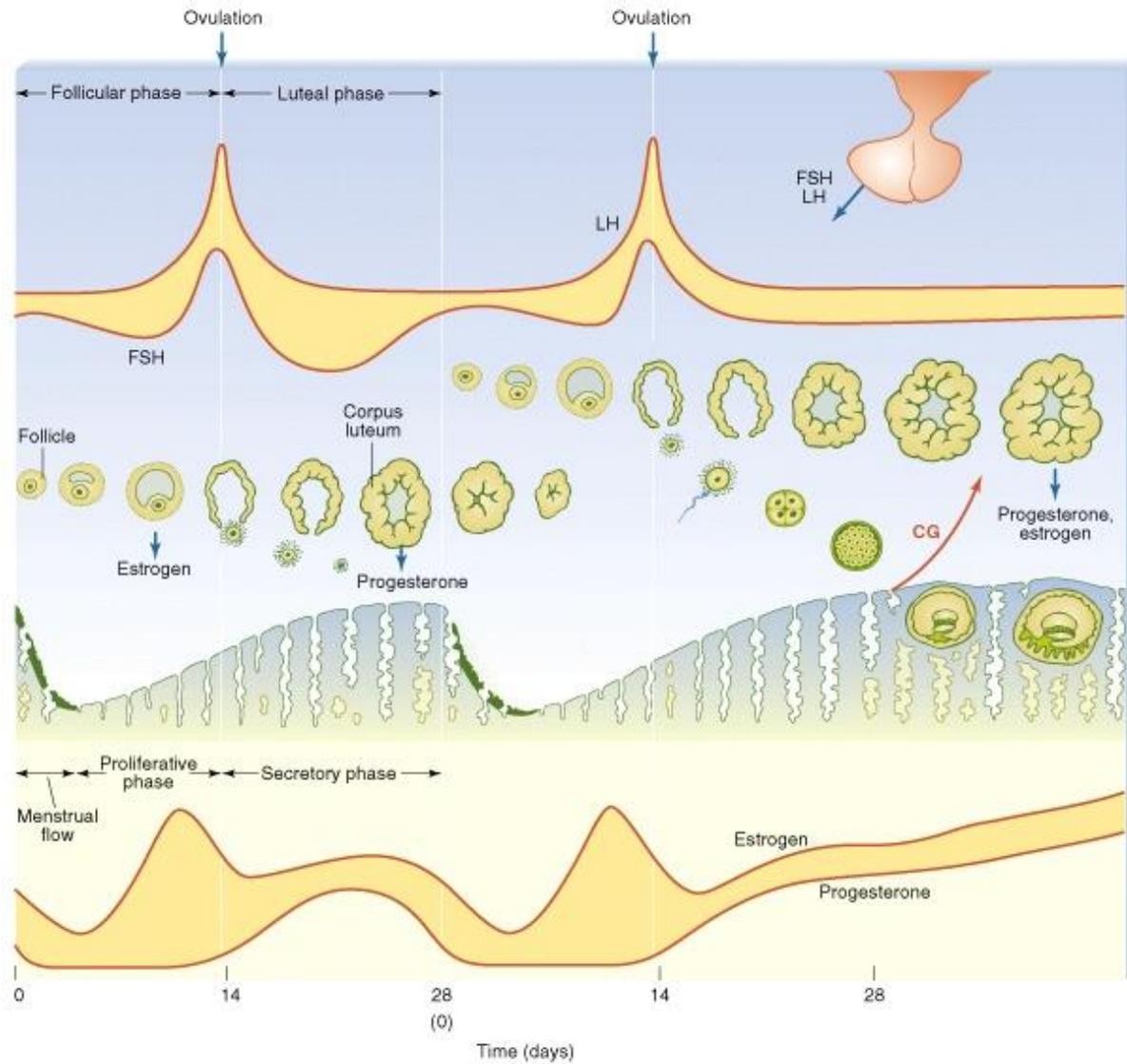


Fig. 11. Niveles hormonales de estrógenos y progesterona durante el ciclo menstrual. Fuente: Eckert, 2005

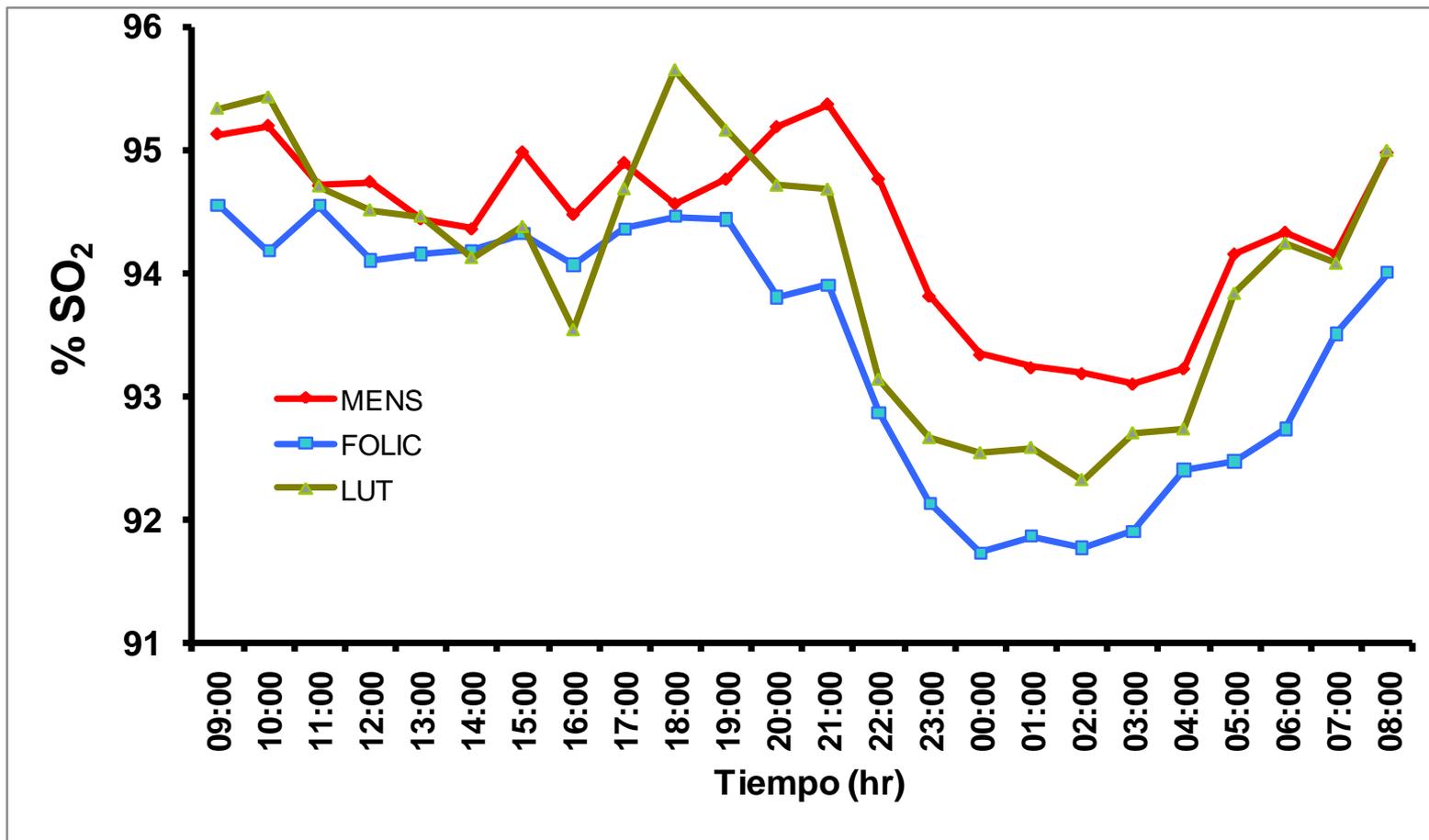
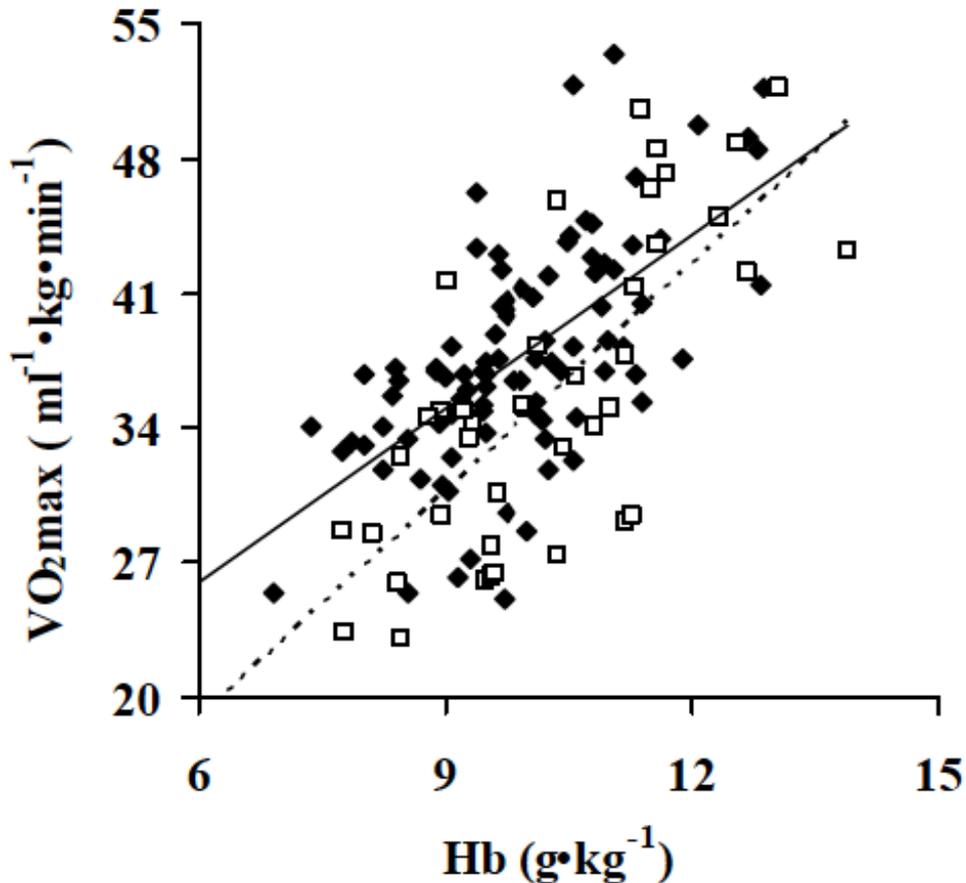


Fig. 12. Niveles de saturación arterial (SO₂) en las 3 fases del ciclo menstrual. (*datos no publicados, Cristancho et al.*)

Correlación de VO_{2max} con la Hb_t en mujeres del nivel del mar y de la altura



	VO_{2max} $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$	Hb_t $g \cdot kg^{-1}$
35m	44.6	11.6
2600m	44.1	11.6

Nivel del mar (35m: $VO_{2max} = 2.96Hb + 8.0$, $r = 0.63$, $p < 0.001$, símbolos llenos. (2600m): $VO_{2max} = 3.93Hb - 4.6$, $r = 0.73$, $p < 0.001$, símbolos vacíos). (Cristancho, 2004)

Conclusiones

1. Mujeres parecen presentar un umbral para la estimulación de Hbt en 2195m, el cual tiene dependencia de la composición corporal.
2. Determinación de VO_2max y corrección de Hbt por esta cantidad podría llevar a ubicar el umbral de Hbt en hombres a 1925m (??).



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Centro de Servicios Biomédicos

