

Extracto acuoso de *Lepidium meyenii* Walp (maca) y su papel como adaptógeno, en un modelo animal de resistencia física

Aqueous *Lepidium meyenii* Walp (maca) extract and its role as an adaptogen, in an endurance animal model

Silvia Suárez¹, Raquel Oré¹, Inés Arnao¹, Luis Rojas², Juan Trabucco³

¹ Centro de Investigación de Bioquímica y Nutrición, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

² Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

³ Unidad de Postgrado, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

Resumen

Introducción: El *Lepidium meyenii* Walp (maca) es una raíz andina del Perú, utilizada como alimento por su valor nutricional y propiedades etnomedicinales; es parte de la medicina tradicional. **Objetivos:** Evaluar el papel de adaptógeno del extracto acuoso de maca amarilla sobre las enzimas del tejido muscular en un modelo animal de resistencia física y estrés oxidativo. **Diseño:** Experimental. **Institución:** Centro de Investigación de Bioquímica y Nutrición, Facultad de Medicina, UNMSM, Lima, Perú. **Material biológico:** Extracto acuoso de la maca amarilla y ratas macho recién destetados. **Intervenciones:** Administración del extracto acuoso de la maca amarilla en ratas macho recién destetados, distribuidos en cuatro grupos: (I), de control, (II) 0,4 mg de maca/g de peso (III) 0,8 mg de maca/g de peso y (IV), 1,2 mg de maca/g de peso. El extracto acuoso fue administrado por cánula orogástrica. Se realizó un control de los pesos. Se aplicó la prueba de nado forzado después de 30 días de tratamiento. Los animales fueron sacrificados y se preparó homogenizado de músculo al 10%. **Principales medidas de resultados:** Actividad de las enzimas superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y lactato deshidrogenasa (LDH); y, como indicador de proceso oxidativo, se midió la peroxidación lipídica (TBARS). **Resultados:** El rendimiento en la prueba de resistencia fue la siguiente: (I) 7,09 min; (II) 11,25 min; (III) 11,27 min; (IV) 12,71 min, respectivamente. Las actividades enzimáticas de los grupos I, II, III y IV fueron: SOD (U/mL) 36,6, 18,2, 17,2 y 18,2; CAT (U/L) 18,6, 16,5, 13,4 y 10,3; y LDH (U/mL) 11,6, 6,5, 6,0 y 5,8. TBARS (umol/g tejido): 5,82, 7,15, 4,11 y 4,06. **Conclusiones:** La administración del extracto acuoso de maca amarilla favorece la respuesta del organismo a una situación estresante y físicamente extenuante, lo que correspondería al papel de un adaptógeno. **Palabras clave:** *Lepidium*; extractos vegetales; activación enzimática; resistencia física; estrés oxidativo; peroxidación de lípido.

Abstract

Introduction: *Lepidium meyenii* Walp (maca) is a Peruvian Andean root used as food due to its nutritional value and ethnomedical properties, being part of traditional medicine. **Objectives:** To determine yellow maca aqueous extract adaptogen role on muscle tissue enzymes in an endurance and oxidative stress animal model. **Design:** Experimental. **Setting:** Biochemistry and Nutrition Research Center, Faculty of Medicine, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Peru. **Biological material:** Yellow maca aqueous extract and newly weaned male rats. **Interventions:** Administration of yellow maca aqueous extract in newly weaned male rats divided into four groups: (I) control, (II) 0,4 mg maca/g weight, (III) 0,8 mg maca/g, and (IV) 1,2 mg maca/g. The aqueous extract was administered by orogastric cannula. Weights were controlled. Swimming test was applied after 30 days of treatment. The animals were sacrificed and 10% homogenized muscle was prepared. **Main outcome measures:** Superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and lactate dehydrogenase (LDH) enzymes activity; lipid peroxidation (TBARS) was measured as an indicator of the oxidative process. **Results:** The endurance test performance was respectively: (I) 7,09 min; (II) 11,25 min; (III) 11,27 min; (IV) 12,71 min. Groups I, II, III and IV respective enzymatic activities were: SOD (U/mL) 36,6, 18,2, 17,2 and 18,2; CAT (U/L) 18,6, 16,5, 13,4 and 10,3; and LDH (U/mL) 11,6, 6,5, 6,0 and 5,8. TBARS (umol/g tissue): 5,82, 7,15, 4,11 and 4,06. **Conclusions:** Yellow maca aqueous extract administration helped body response facing a physically exhausting stressful situation, most probably corresponding to an adaptogen role.

Key words: *Lepidium*; plant extracts; enzyme activation; physical endurance; oxidative stress; lipid peroxidation.

INTRODUCCIÓN

Lepidium meyenii Walp, conocida en quechua como maca, maka, maino, ayak chichira, ayak willku, en español como maca, en inglés como maca, *Peruvian ginseng*, crece principalmente en la zona central del Perú, a una altura de 3 500 a 4 500 msnm. Se le describe como una planta arbustiva bianual. La parte comestible es el hipocótilo (parte subterránea); pertenece a la familia *Brassicaceae* ⁽¹⁾.

No es conocido el origen de esta planta. Pero, cerca de Cerro de Pasco ya se cultivaba hace dos mil años. La maca

ha sido encontrada en muchos sitios arqueológicos preincaicos. En sus crónicas, el padre Cobo cuenta que “la maca crece en los sitios más agrestes y fríos de la puna, donde no hay posibilidades de cultivar ninguna otra planta alimenticia”. Tiene diversos usos, además del alimentario; los pobladores andinos desde la antigüedad la utilizaban, entre otros, para mejorar sus capacidades físicas y mentales.

La maca se consume de diversas formas. En la zona andina es común la maca asada, conocida como huatia. Una decocción de la maca se prepara hirvién-

dola en agua por varias horas (en razón a la altitud). Las raíces secas de maca también se las mezcla comúnmente con leche para formar una mazamorra suave. También, se las mezcla con frecuencia con otros alimentos, granos o con patatas, o se deseca y tritura en forma de harina, para hornearla. La cerveza suave que se hace con la maca fermentada es conocida como chicha de maca. Además, es utilizada para preparar productos de repostería.

La maca ha sido tradicionalmente empleada como afrodisíaco y para incremen-

tar la fertilidad. Entre otras propiedades medicinales atribuidas, se la emplea para reducción de los efectos del estrés y la fatiga; aún cuando los mecanismos no han sido dilucidados, se ha propuesto que la maca es un adaptógeno, aumenta la energía, la resistencia y reduce el estrés ⁽²⁻⁴⁾.

Su contenido de metabolitos secundarios cuenta con principios activos, como el derivado bencilado 1,2-dihidro-N-hidroxipiridina, llamado macaridina; las macamidas N-bencil-5-oxo-6E,8E octadecadienamida, N-bencil-hexadecanamida, ácido acético, ácido 5-oxo-6E,8E-octadecadienoico y los glucoenolatos ⁽⁵⁾.

Un estudio realizado por Ronceros y col muestra que, con la administración de maca fresca micropulverizada en dosis de 1 500 mg por día, se consiguió incrementar el rendimiento físico en la muestra estudiada en 10,3%, a pesar de tratarse de deportistas en constante actividad física, entrenados para la competencia de alto nivel ⁽⁶⁾.

La realización de un ejercicio físico demanda un gran consumo de oxígeno, aunque en algunos períodos puede realizarse en anaerobiosis. En los procesos aeróbicos, el flujo de electrones en la cadena respiratoria provoca la formación de radicales libres; el primero en formarse el anión superóxido. Para dismutar este radical libre, la célula dispone de la superóxido dismutasa (SOD); esta reacción produce peróxido de hidrógeno, molécula que debe reducirse hasta formar agua; este proceso puede ser catalizado por la enzima catalasa (CAT). A nivel citosólico, cuando se produce un ejercicio físico intenso y de corto tiempo, la glicólisis genera ácido láctico, mediante la actividad del lactato deshidrogenasa (LDH) sobre el piruvato. El estudio que presentamos es un modelo de ejercicio físico extenuante donde se espera que las actividades de las enzimas que actúan sobre el metabolismo aerobio de defensa antioxidante (SOD y CAT) puedan ser los blancos para los efectos del extracto de maca amarilla.

No hay estudios bioquímicos publicados que incluyan los cambios enzimáticos en organismos que reciben maca en modelos de ejercicio físico. Por lo que nuestro aporte es importante para

entender los mecanismos involucrados en los efectos de la maca.

MÉTODOS

Se utilizó ratas macho Sprague-Dawley recién destetadas, distribuidos en cuatro grupos. A los grupos de tratamiento (n=8) se les administró extracto acuoso de maca amarilla (0,4 mg, 0,8 mg y 1,2 mg/g de peso corporal), vía orogástrica, durante 30 días. El grupo control (n=6) recibió agua en las mismas condiciones. Las ratas fueron colocadas en un ambiente de humedad y temperatura controlada, con periodos de luz de 12 horas. El agua y los alimentos fueron dispuestos *ad libitum*. Se realizó un control de los pesos.

El extracto consistió en el filtrado de la cocción de maca preparada en medio acuoso, en proporción 1:5, durante media hora.

Después del período de tratamiento, se les sometió a la prueba de nado forzado, según Matsumoto, con algunas modificaciones ⁽⁷⁾. Se realizó en una tina de acero inoxidable de 73 cm de diámetro llenado con agua de grifería, a una profundidad de 30 cm. La temperatura del agua se mantuvo a $26 \pm 1^\circ\text{C}$. Se registró el tiempo de resistencia de cada animal. El grupo control no recibió tratamiento alguno y fue sometido a los mismos ensayos.

Los animales fueron sacrificados dentro de los 5 minutos post ejercicio, considerando los aspectos éticos. El tejido se mantuvo a 4°C durante todo el procesamiento, incluyendo los ensayos bioquímicos.

Se tomó muestras de músculo de la pata posterior derecha. Se preparó un homogenizado al 10%, en buffer fosfato 0,05 M pH 7,4. Se centrifugó a 2 500 rpm, durante 5 minutos, y se trabajó con el sobrenadante. Las actividades enzimáticas que se midió fueron superóxido dismutasa (SOD) -según Marklund y Marklund ⁽⁸⁾-, lactato deshidrogenasa (LDH) -según Gay, Comb y Bowers, con algunas modificaciones ⁽⁹⁾- y catalasa, según Aebi ⁽¹⁰⁾. Los niveles de malondialdehído -especies reactivas al ácido tiobarbitúrico (MDA-TBARS)- fueron cuantificados según Buege y Aust ⁽¹¹⁾.

Los resultados fueron analizados empleando la prueba t-student; las diferencias han sido consideradas significativas cuando $p < 0,05$.

RESULTADOS

Los parámetros físicos estudiados fueron la variación de peso y el rendimiento físico. Se muestra los resultados en las figuras 1 y 2. Se observa que no hay diferencia significativa entre los tratamientos con el extracto de maca a las dosis administradas.

En el estudio del marcador bioquímico de peroxidación lipídica medido como MDA-TBARS, se observa que a la dosis de 0,4 mg de extracto/g de peso no hay diferencia significativa con el grupo control; sin embargo, a las dosis de 0,8 y 1,2 mg de extracto/g de peso corporal, la diferencia significativa se presenta tanto con el grupo control como el tratamiento con el extracto de 0,4 mg/g de peso (figura 3).

La figura 4 muestra las actividades de las enzimas SOD, LDH y catalasa, donde se aprecia que las dosis de tratamiento con maca no tienen diferencias para las dos primeras enzimas, pero la actividad de catalasa es modificada a mayores dosis.

DISCUSIÓN

La realización de un ejercicio físico demanda la participación de los músculos, principal componente motor en el que la energía química se transforma en energía mecánica, que se observa como movimiento. La base fisiológica es la contracción del músculo. Este proceso demanda un gran consumo de oxígeno, aunque en algunos períodos puede realizarse en anaerobiosis. Es sabido que el consumo de oxígeno está relacionado con la generación de radicales libres, debido a que el oxígeno que llega a los tejidos se reduce, en un pequeño porcentaje, de manera univalente ⁽¹²⁾.

Uno de los fines del consumo de la maca, según lo conocido desde la época colonial, ha sido por sus efectos benéficos en el rendimiento físico. El consumo de este producto vegetal no se ha relaciona-

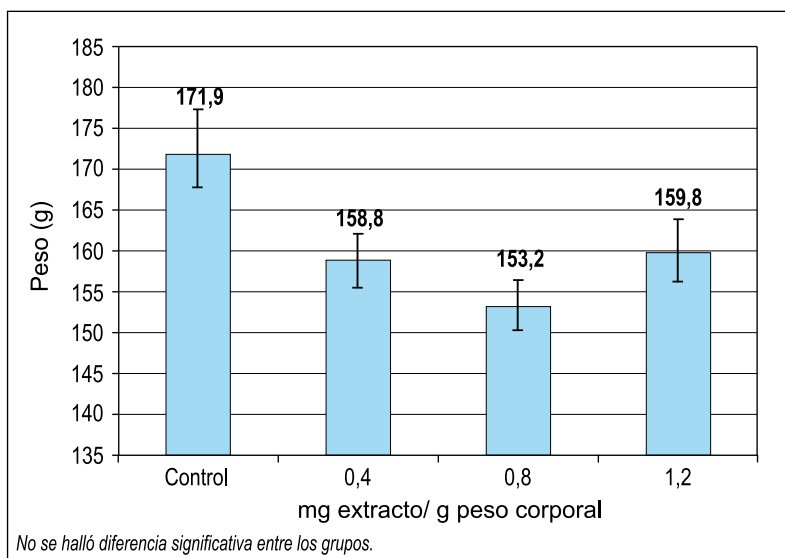


Figura 1. Variación de peso en 30 días de administración de extracto de maca amarilla en ratas recién destetadas.

do con el aumento o disminución de peso; tampoco existen estudios al respecto. No siendo el objetivo del presente los efectos de la maca sobre la ganancia de peso, es interesante observar que la variación de peso de los animales alimentados con maca exhibió una variación de peso menor que el grupo control. Debe agregarse además que durante los 30 días del tratamiento se observó que los animales de los grupos tratados desarrollaban una intensa actividad física, lo que podría

explicar los resultados de la figura 1. Sin embargo, la otra propuesta es que el consumo de maca no produce aumento de peso. Serán necesarios más estudios.

En cuanto al rendimiento físico a este modelo de nado forzado, se observó una clara diferencia significativa entre el grupo control y los grupos en tratamiento (figura 2), siendo mayor el rendimiento con el consumo de maca. Lo cual corrobora lo que ancestralmente se conoce y que también fue hallado por

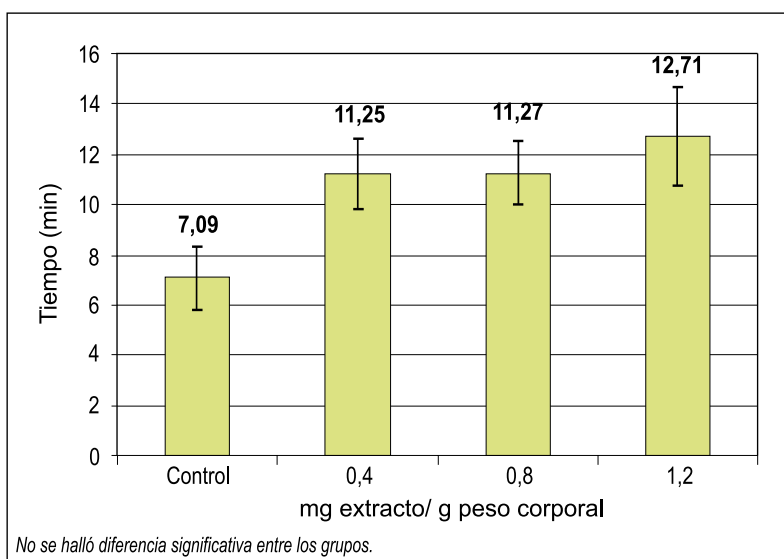


Figura 2. Rendimiento físico de ratas recién destetadas, alimentadas con extracto de maca amarilla.

Roncero y colaboradores en un estudio en personas con excelente preparación física. Ellos hallaron una tendencia a mejorar el rendimiento físico después de la administración de maca, en la forma de cápsula ⁽⁶⁾.

Un ejercicio extenuante como el modelo debe cambiar el metabolismo energético. En estas condiciones, el agotamiento de glucógeno es acelerado, lo que conduce a una utilización rápida de la vía citosólica para producir ácido láctico, que servirá como fuente gluconeogénica e iniciar el ciclo de Cori. Como el tejido muscular tiene diversos tipos de fibra, las fibras de tipo I, que utilizan de manera eficiente la vía aeróbica, debe activar la vía oxidativa mitocondrial, lo que teóricamente produciría paralelamente más metabolitos reactivos del oxígeno ^(13,14).

El consumo de maca, como se observa de los resultados en la figura 4, cambia esta típica respuesta bioquímica. Al analizar las actividades de las enzimas oxidorreductasas se observa que, en el caso del lactato deshidrogenasa, este aumenta significativamente en el grupo control, ya que la disponibilidad muscular de oxígeno no puede aumentar inmediatamente ⁽¹³⁾.

La actividad de esta enzima produce el ácido láctico, que además de ser un subproducto de la glicólisis anaerobia también es combustible para el ejercicio. En el modelo experimental desarrollado, es evidente que se exige intensa actividad física que agota la reserva de glucógeno muscular, además de conducir a una glicólisis anaeróbica. Esta actividad incrementada es significativa para el grupo control; sin embargo, ello no ocurre en los grupos tratados con maca, donde la actividad es menor en los tres grupos. Es probable que el consumo de maca favorezca la utilización de ácidos grasos más que la utilización de carbohidratos.

En el caso de las enzimas antioxidantes SOD y catalasa puede observarse este mismo comportamiento de manera significativa; el incremento es para el grupo control. La SOD es la enzima cuya actividad debe incrementarse en caso de un mayor consumo de oxígeno, como el caso del modelo empleado ⁽¹⁵⁾. La catalasa es la enzima que reduce el producto de la SOD,

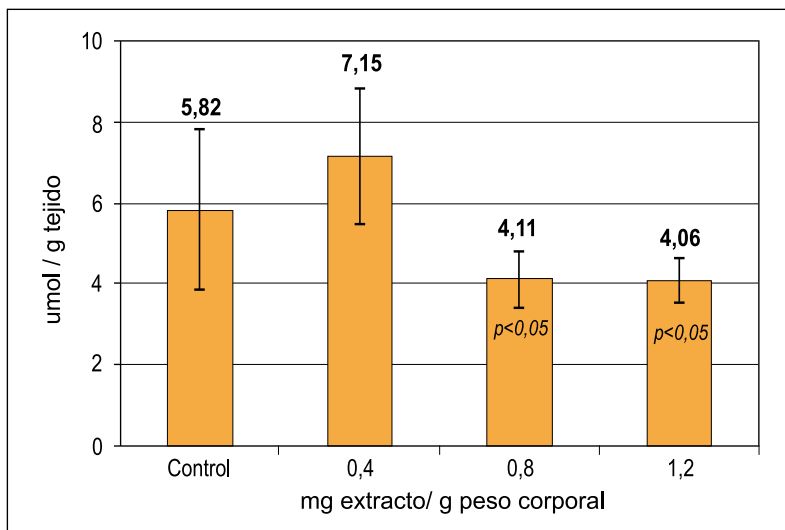


Figura 3. Niveles de TBARS-MDA después de ejercicio extenuante en ratas tratadas con extracto de maca amarilla.

es decir, el peróxido de hidrógeno hasta agua. Se espera que una mayor actividad de SOD debiera ir acompañada de una mayor actividad de catalasa; luego, si no se observa un aumento de la actividad de la SOD, tampoco se observa aumento de la catalasa ⁽¹⁶⁾.

El indicador prooxidante informado como MDA-TBARS muestra una disminución en los grupos tratados con 0,8 y 1,2 mg de extracto; significaría que el efecto protector se produce en estas

dosis por los metabolitos secundarios del extracto de maca.

Otro aspecto destacable es que, aún cuando la variación de peso y el rendimiento físico en los grupos son independientes de la dosis empleadas, el efecto protector del extracto de maca a nivel de TBARS y sobre la actividad de la catalasa se observa a partir de la dosis de 0,8 mg extracto / g peso.

Reuniendo estos resultados, proponemos la siguiente explicación: el extracto

de maca contiene metabolitos que participan en favorecer una respuesta más eficiente al ejercicio extenuante, como el nado forzado; permiten la disipación de los radicales libres generados a nivel de cadena respiratoria por el incremento del consumo de oxígeno, coadyuvando a la actividad de la SOD y catalasa y evitando una mayor peroxidación lipídica. Por otro lado, una menor actividad del lactato deshidrogenasa reforzaría la propuesta de una mayor eficiencia en el metabolismo aeróbico, un incremento del umbral anaeróbico, probablemente una mayor utilización de ácidos grasos como fuente de energía, ahorrándole al tejido muscular la producción de ácido láctico; con lo expuesto, puede ser considerado como un adaptógeno, teniendo en cuenta que este concepto está referido a sustancias naturales que se encuentran solamente en algunas plantas y que ayudan al organismo a alcanzar un rendimiento óptimo mental, físico y de trabajo.

Actualmente, los estudios en maca constituyen parte de la revaloración de productos peruanos andinos, con el fin de proveer de respaldo científico al conocimiento ancestral que se aplica de manera empírica. Los resultados del presente estudio contribuyen a explicar en parte los probables mecanismos bioquímicos en los que participan los metabolitos secundarios del extracto de la maca amarilla, puesto que concluimos que el extracto favorece la respuesta del organismo a una situación estresante y físicamente extenuante.

Financiamiento: Fondo Educativo de Desarrollo Universitario 2008.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gonzales GF. Biological effect of *Lepidium meyenii*, Maca, a plant from the highlands of Perú. En: Singh VK, Bardwaj R, Govil JN, Sharma RK (Eds). Recent progress in medical plants. Natural Products. Houston: Studium Press LLC; 2006. p. 217-42.
- Castaño M. Maca (*Lepidium peruvianum* Chacon): composición química y propiedades farmacológicas. Clin Cancer Res. 2006;12(5):1447-53.
- Ganzer M, Zhao J, Muhammad I, Khan IA. Chemical profiling and standardization of *Lepidium meyenii* (maca) by reversed phase high performance

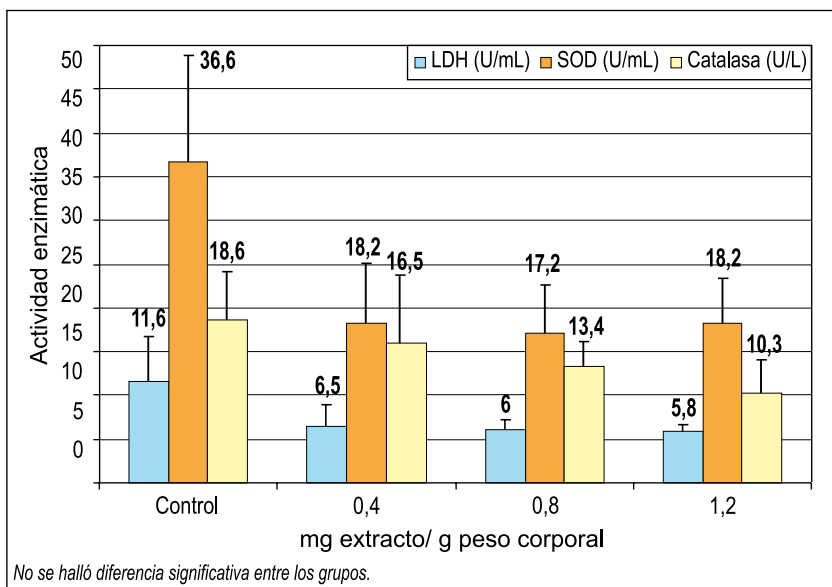


Figura 4. Actividad enzimática en músculo de ratas recién destetadas sometidas a ejercicio extenuante después de un tratamiento con extracto de maca amarilla.

- liquid chromatography. Chem Pharmaceut Bull. 2002;50(7):988-91.
4. Gonzales GF. Maca, de la tradición a la ciencia. Lima: CONCYTEC/Universidad Peruana Cayetano Heredia; 2006.
 5. Muhamma I, Zhao J, Dunbar C, Khan IA. Constituents of *Lepidium meyenii* "maca". Phytochemistry. 2002;59:105-10.
 6. Ronceros G, Ramos W, Garmendia F, Arroyo J y Gutiérrez J. Eficacia de la maca fresca (*Lepidium meyenii* walp) en el incremento del rendimiento físico de deportistas en altura. An Fac med. 2005;66(4):269-73.
 7. Matsumoto K, Ishihara K, Tanaka K, Inoue K, Fushiki T. An adjustable-current swimming pool for the evaluation of endurance capacity of mice. J Appl Physiol. 1996;81:1843-9.
 8. Marklund S, Marklund G. Involvement of the superoxide anion radical in the autoxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase. Biochemistry. 1974;47:469-74.
 9. Gay RJ, McComb RB, Bowers GN. Optimum reaction conditions for human lactate dehydrogenase isoenzymes as they affect total lactate dehydrogenase activity. Clin Chem. 1968;14:740-53.
 10. Aebi H. Catalase in vitro. Methods Enzymol. 1984;105:121-6.
 11. Buege JA, Aust SD. Microsomal lipid peroxidation. Methods Enzymol. 1978;52:302-10.
 12. Olcina GJ, Muñoz D, Ávila PA, Timón R, Maynar J, Maynar M. Intensidad del ejercicio como factor generador de estrés oxidativo. Revista Española e Iberoamericana de Medicina de la Educación Física y el Deporte. 2003;12:145-50.
 13. Kumar V, Abbas A, Fausto N. Robbins & Cotran. Patología Estructural y Funcional. 7º ed. Madrid: Elsevier; 2005.
 14. Galiano D, Gutiérrez JA, Wildeboer P. Umbral anaeróbico en nadadores de alto nivel: comparación de los resultados con los métodos metabólico y ventilatorio. Apuntes Medicina de l'Esport. 1986;23:225-31.
 15. Vento M, Sastre J, Asensi MA, Viña J. Room-air resuscitation causes less damage to heart and kidney than 100% oxygen. Am J Respir Crit Care Med. 2005;172:1393-8.
 16. Guo DM, Thomas PD, Lopaschuk, GD, Poznansky MJ. Superoxide dismutase (SOD)-catalase conjugates. JBC. 1993;268:416-20.
- Manuscrito recibido el 3 de agosto de 2009 y aceptado para publicación el 4 de setiembre de 2009.*
- Correspondencia*
 Dra. Silvia Suárez Cunza
 Centro de Investigación en Bioquímica y Nutrición
 Facultad de Medicina, UNMSM
 Av. Grau 750. Lima 1, Perú
 Correo-e: ssuarezc@unmsm.edu.pe