

Química y Farmacología de *Lepidium meyenii* Walp ("Maca")

Olga Lock y Rosario Rojas

Departamento de Ciencias, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima 32, Perú

INTRODUCCIÓN

La maca es una planta herbácea bienial cuya parte subterránea (hipocótilo) es comestible y se aprecia mucho por su valor nutritivo¹. De acuerdo a los cronistas de los siglos XVI y XVII las tropas incas eran alimentadas con raciones de maca pues se atribuía a esta planta la capacidad de dar vitalidad y fortaleza a los combatientes. También se refieren a su utilización por el hombre andino en sus ritos mágico-religiosos, así como su uso como tributo en la época colonial y como alimento de animales para mejorar su capacidad de reproducción, entre otros usos^{2,3}.

La maca crece exclusivamente en la Meseta del Bombón y sus inmediaciones (Departamento de Junín y Pasco) entre los 3800 y 4500 msnm¹. Maca es el nombre común para la especie *Lepidium meyenii* Walp (Familia Brassicaceae) utilizándose a la fecha esta denominación de manera indistinta con la de *Lepidium peruvianum* Chacon².

El término *Lepidium* viene del griego LEPIDION que significa pequeña escama, en alusión a su fruto de forma plana, y el término «maca» viene de dos voces de la lengua chibcha, en la que **ma** tiene significado de origen (de la altura) y **ca** de excelso, alto, de comida buena que fortalece².

Otros nombres comunes para la maca son: maca-maca, maino, ayok, chichira, ayakwillcu; también se le conoce como ginseng peruano por las propiedades atribuidas comparables al ginseng⁴.

A pesar del amplio uso de la maca durante el incanato y la colonia, esta planta fue marginada por muchos años. Es en la década de los 90 en la que se empieza a revalorar su uso, a realizarse mayores investigaciones científicas, y a lograrse una comercialización que traspasa las fronteras de nuestro país.

La presente publicación pretende resumir los estudios químicos y farmacológicos reportados a la fecha en las revistas científicas sobre la maca, esperando así brindar un aporte para su mejor conocimiento y aprovechamiento.

Constituyentes químicos

Al referirnos a los constituyentes químicos tenemos que hacer mención de dos grupos de sustancias: los metabolitos primarios y los metabolitos secundarios. Los primeros son sustancias universalmente distribuidas que participan en la actividad celular de todo ser viviente. Pertenecen a este grupo los carbohidratos, los lípidos y las proteínas, principalmente.

Los metabolitos secundarios o productos naturales son sustancias de estructura química relativamente compleja y de distribución más restringida. Aunque para muchos de ellos no se conoce exactamente una función metabólica, se asume que son sintetizados por las plantas como mecanismos de defensa contra el ataque de insectos, hongos, animales e incluso de otras plantas. Para la maca hasta el momento se han descrito como metabolitos secundarios a los glucosinolatos, principalmente, así como flavonoides, esteroides, bencil alcaloides y un aceite esencial.

a) Metabolitos secundarios

Los glucosinolatos son componentes característicos de las Brassicaceas, que sufren hidrólisis enzimática en los tejidos dañados liberando los isotiocianatos (Figura 1). Los últimos son los responsables de la pungencia y del sabor peculiar de las crucíferas.

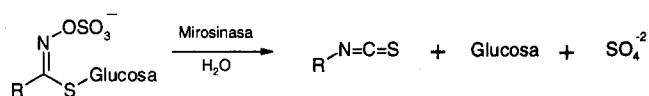
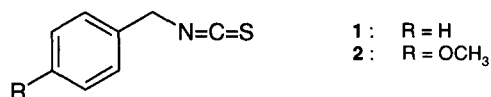


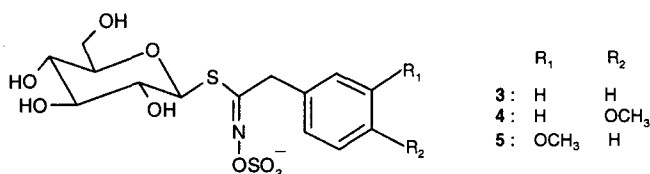
Figura 1. Hidrólisis enzimática de glucosinolatos

A inicios de los años 80, se reporta la presencia de glucosinolatos aromáticos, detectados por HPLC bajo la forma de isotiocianatos de bencilo (1) y de *p*-metoxibencilo (2), el primero en mayor concentración. Las muestras utilizadas fueron hipocótilos secos, colectados en el Departamento de Junín en 1973⁵.



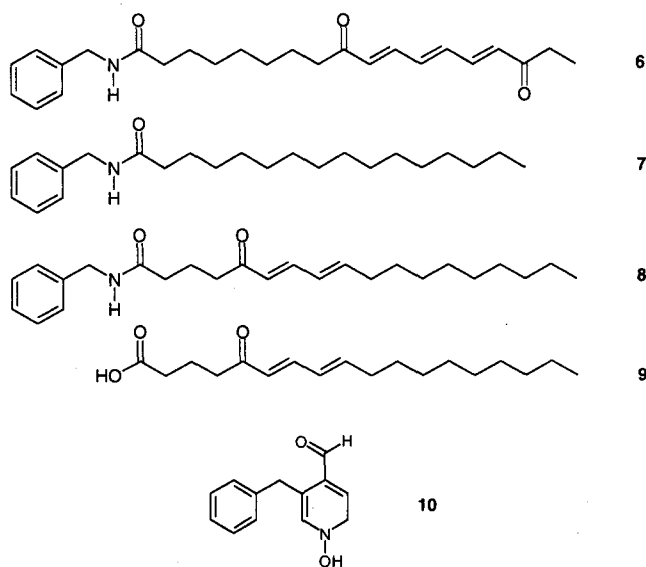
Se realizó un estudio comparativo por HPLC⁶ de los diferentes órganos de la planta maca, observándose que tanto la concentración como el tipo de glucosinato varía de acuerdo al órgano estudiado. Por ejemplo, para los hipocótilos secos, así como para los hipocótilos y hojas frescas, se reportan los mismos compuestos encontrados por Johns⁵, además de otros glucosinolatos como glucosinato de 5-metil-sulfinilpentilo (glucoalisin), glucosinato de *p*-hidroxibencilo (glucosinalbin), glucosinato de pent-4-enilo (glucobrassicinapin), glucosinato de indolil-3-metilo (glucobrassicin) y glucosinato de 4-metoxiindolil-3-metil (4-metoxi-glucobrassicin).

Ultimos estudios por ¹H-RMN y CG-EM sobre hipocótilos secos⁷ confirman la presencia del bencilglucosinato (3) mas no la del *p*-metoxibencilglucosinato (4). Los autores sostienen que en vez de este último se encuentra el *m*-metoxibencilglucosinato (5) justificándolo por el hecho de haberse detectado el fenilacetónitrilo y el 3-metoxifenilacetónitrilo (como productos de degradación de 3 y 5, respectivamente) en el aceite de esencial de las partes aéreas de la maca⁸.



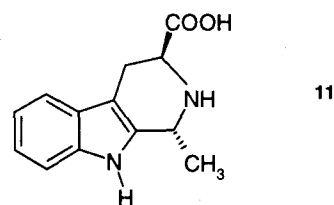
El contenido de los glucosinolatos en las crucíferas es muy variable y depende de la edad de la planta, de la zona de la colecta así como de factores ambientales. En general, para las Brassicaceas se reporta un contenido aproximado de 1% sobre muestra seca⁷. Análisis de diversas muestras de maca, por HPLC, ha reportado un contenido entre 1 y 2% de glucosinolatos⁹.

De la fracción lipídica de la maca se han determinado, por HPLC, las alcámidas benciladas (macámidas), entre ellos la *N*-bencil-octadecanamida, *N*-bencil-16-hidroxi-9-oxo-10E,12E,14E-octadecatrienamida, *N*-bencil-9,16-dioxo-10E,12E,14E-octadecatrienamida (6)¹⁰, así como *N*-bencil-hexadecanamida (7), *N*-bencil-5-oxo-6E,8E-octadecadienamida (8), el cetoácido acíclico, ácido 5-oxo-6E,8E-octadecadienoico (9) y la 1,2-dehidro-*N*-hidroxipiridina (10), esta última conocida como macaridina¹¹. Se han realizado análisis cuantitativos por HPLC de macaenos y macámidas en productos comerciales de maca, observándose que el contenido de estos compuestos es muy variable (0,15 a 0.84%)¹².



La fracción esteroideal de la maca muestra la presencia de sitosterol como el componente principal. También contiene campesterol, ergosterol, brassicasterol y $\Delta^{7,22}$ -ergostadienol¹³.

Aunque la presencia de los alcaloides ha sido reportada numerosas veces^{14,15}, es sólo recién en el último año que se ha aislado y caracterizado por técnicas espectroscópicas el ácido (1R,3S)-1-metiltetrahidro- β -carbolina-3-carboxílico (11). Las tetrahidro- β -carbolinas poseen variada actividad biológica sobre el sistema nervioso central⁷.



En cuanto a los compuestos fenólicos, se reporta la presencia de flavonoides en un 5,85%¹⁶. Asimismo, se ha detectado la presencia de antocianinas en algunas muestras analizadas¹⁷.

El aceite esencial de las partes aéreas de la maca (0,06%) reporta 53 componentes de los cuales fueron mayoritarios: fenilacetoneitrilo (85,9%), benzaldehído (3,1%) y 3-metoxifenilacetoneitrilo (2,1%)⁸; mientras que de la raíz, con un contenido aproximado de 0,1% de aceite esencial, se ha determinado también el fenilacetoneitrilo (31,0%) así como bencil isotiocianato (61,0%) y la oxima de 1-(4-metoxifenil)-2-propanona (1,4%); este último no ha sido descrito antes como componente de aceites esenciales, pero sí como producto de síntesis derivado de la cetona correspondiente⁸.

b) Metabolitos primarios

La raíz de maca es nutricionalmente interesante en comparación con otros productos comestibles como la papa, la zanahoria y los nabos. Se reporta para la maca un contenido de carbohidratos de 59%, de lípidos de 2,2% y de proteínas 10,2%¹³.

De los ácidos grasos presentes destacan dos ácidos grasos insaturados como el linoleico y el oleico. También se han encontrado los ácidos 7-tridecenoico, tridecanoico, 7-pentadecenoico, pentadecanoico, 9-heptadecenoico, heptadecanoico, 11-nonadecenoico, nonadecanoico, 15-eicosenoico, eicosanoico, docosanoico, 15-tetracosenoico, tetracosanoico, láurico, mirístico, palmítico, palmitoleico y esteárico¹³. Muchos de estos ácidos grasos insaturados, por estar presentes en la maca, también se les conoce como macaenos.

La maca contiene aminoácidos como leucina, arginina, fenilalanina, lisina, glicina, alanina, valina, isoleucina, ácido glutámico, serina, ácido aspártico, en concentraciones entre 50 a 150 mg/g de proteína; otros aminoácidos se encuentran en menor proporción. Contiene también minerales como hierro, calcio, cobre, zinc y potasio, entre otros¹³.

Propiedades farmacológicas

Estudios *in vitro*

a) Actividad fitotóxica

El aceite esencial de las partes aéreas de *L. meyenii* (1 mg/ml) no posee actividad fitotóxica *in vitro* contra la *Lactuca sativa* y el *Agrostis stolonifera*⁸.

b) Actividad cianobactericida

A concentraciones de 100 mg/mL, el aceite esencial de las partes aéreas de la maca logra inhibir en forma selectiva el crecimiento de la cianobacteria *Oscillatoria perornata*. Esta bacteria produce el compuesto 2-metilisoborneol, el cual posee un olor desagradable. El pez *Ictalurus punctatus* (catfish) al alimentarse con estas bacterias adquiere dicho olor y sabor no agradable en sus carnes, por lo que se busca algún compuesto capaz de inhibir el crecimiento de la *O. perornata*. Uno de los componentes del aceite esencial de maca, el fenilacetoneitrilo, puede inhibir el crecimiento de dicha bacteria, pero lo hace a concentraciones muy altas, que pueden ser tóxicas para el pez u otros organismos⁸.

c) Actividad termiticida

A una concentración de 1% (w/w) el aceite esencial de maca no causa una notable mortalidad de la termita *Coptotermes formosanus*, pero sí actúa como un repelente y disuade al insecto de alimentarse con hojas impregnadas con el aceite esencial. Dicha actividad no es observada cuando se usa el fenilacetoneitrilo, el mayor componente del aceite, pero sí se presenta en cambio en los constituyentes menores como por ejemplo el benciltiocianato, 3-metoxifenilacetoneitrilo y la β -ionona⁸.

d) Actividad antioxidante

Sandoval *et al.*¹⁹ evaluaron la actividad antioxidante de un extracto acuoso de maca por medio de diversos tests *in vitro*. Ellos demostraron que el extracto puede secuestrar radicales DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazilo) y peroxilo a concentraciones inhibitorias medias de 0,61 y 0,43 mg/mL, respectivamente. Además, el extracto de maca (1-3 mg/mL) inhibe en un 57-74% la degradación *in vitro* de la desoxiribosa por radicales hidroxilo.

Experimentos realizados en macrófagos RAW 264,7 demostraron que el extracto acuoso de maca (1 mg/mL) puede inhibir la apoptosis inducida por peroxinitrito y contribuye al mantenimiento de la producción intracelular de ATP en condiciones de stress oxidativo causado por peróxido de hidrógeno.

Analizando todos estos resultados en conjunto, se puede concluir que el extracto acuoso de maca posee actividad antioxidante *in vitro*, pero a concentraciones mayores que las observadas en experimentos similares para el té verde o la uña de gato (*Uncaria tomentosa*). Se puede especular que la diferencia en actividad antioxidante entre el té verde y la maca se deba a la diferencia en el contenido de catequinas. La concentración de catequinas en la maca es de 2,5 mg/g versus 145 mg/g para el té verde.

Estudios *in vivo*

a) Actividad antihipoglicemiante

La actividad antihipoglicemiante de la maca fue investigada en ratones en ayuno y en ratones con hipoglicemia inducida por insulina²⁰. El extracto acuoso de los rizomas (1000 mg/kg) incrementó la glucosa de ratones en ayuno a los 30 minutos de la administración oral y además incrementó significativamente la glucosa sanguínea de ratones con hipoglicemia inducida por insulina. La glucosa sanguínea no se alteró en ratones que recibieron alimentación normal o en ratones con hiperglicemia inducida por epinefrina. No se observaron diferencias en el contenido de glucógeno entre el grupo control y el grupo tratado con maca. Queda por investigar cuál es el mecanismo de acción de la actividad antihipoglicemiante del extracto acuoso de maca.

b) Evaluación nutricional

En un estudio sobre la capacidad nutricional de la maca²¹ se trataron 3 grupos de ratones (6 machos y 6 hembras por grupo) con uno de los siguientes alimentos: alimento balanceado comercial (ABC, Purina[®]), maca cruda (70% ABC + 30% maca cruda pulverizada) y maca cocida (70% ABC + 30% maca cocida pulverizada). Los animales fueron puestos en jaulas divididos de acuerdo al sexo y tipo de tratamiento. Los animales recibieron el alimento y agua *ad libitum*. Se registró el peso diario de cada ratón. Al cabo de 100 días de evaluación se observa que las curvas de crecimiento muestran

fluctuaciones de los pesos que a veces son favorables para el grupo de maca cocida y otras para el grupo control. Esto ocurre tanto en ratones machos como hembras. Esto puede deberse a que los ratones recibieron el alimento *ad libitum*. No puede asegurarse la ingesta de una dosis constante de tratamiento por día para cada ratón. Algunos ratones pudieron haber ingerido más alimento que otros, lo cual introduce error o sesgo al experimento.

Los valores de proteínas totales y albúmina del grupo de maca cocida parecen ser mayores que los del grupo control, pero hay que tener en cuenta que sólo se midieron estos valores a cierto número del total de ratones tratados.

Se hizo además un estudio de fertilidad usando una hembra y un macho por grupo, donde se observó un mayor número de crías para el grupo que consume maca cocida (6,33 crías/animal) que para el grupo ABC (3,67 crías/animal). Se observa entonces una mayor presentación de crías cuando se usa maca cocida, aunque hay que demostrar estos resultados en un mayor número de ratones.

En el estudio se menciona también que se evaluó las curvas nutricionales de las crías que recibieron cada uno de los 3 tratamientos. Se observa una curva de crecimiento ligeramente mejor para el grupo tratado con maca cocida con respecto al control. Sin embargo, estos resultados no son concluyentes ya que los grupos tratados no empezaron en igualdad de condiciones de peso. Además, no se ha uniformizado el tratamiento, ya que este fue nuevamente *ad libitum* y no se consideró tampoco el efecto de la lactancia.

En conclusión, este estudio sugiere que la maca cocida puede tener mayor valor nutricional que el ABC, pero se necesita un estudio con mayor número de animales y que asegure la uniformidad del tratamiento a cada ratón.

c) Actividad sexual

Cicero *et al.*²² evaluaron el efecto de la administración aguda y crónica por vía oral de maca pulverizada en el comportamiento sexual de ratas machos. Sesenta ratas sin experiencia sexual previa (20 por grupo) fueron tratadas diariamente por 15 días con maca a 15 ó 75 mg/kg ó con solución salina (0,5 mL/kg). Se evaluaron los siguientes parámetros de performance sexual al primer y último día de tratamiento: primera monta (ML), primera penetración (IL), latencias de eyaculación (EL) y post eyaculación (PEL),

intervalo intercopulatorio (ICI) y eficacia copulatoria (CE). Se realizó un test de actividad locomotora para evaluar si los cambios locomotores inducidos por la maca podrían indirectamente mejorar las performances sexuales de las ratas. Ambas dosis de maca disminuyeron ML, IL e ICI de manera significativa, mientras que sólo la dosis de 75 mg/kg disminuyó PEL. Sólo este efecto parece ser dependiente de la dosis. Luego de los 15 días de tratamiento, ambas dosis disminuyeron significativamente ML, IL, EL y PEL, pero sólo la dosis de 75 mg/kg disminuyó la ICI. Las variaciones de IL, EL y PEL parecen ser dependientes de la dosis luego del tratamiento crónico. Más aún, el tratamiento crónico con maca indujo un incremento en la actividad locomotora de las ratas, aparentemente no dependiente de la dosis, durante el segundo periodo de 10 minutos de observación. La modificación tardía en la actividad locomotora excluye que el incremento de los parámetros de performance sexual estuviera en relación con el incremento de la actividad inespecífica de las ratas. Resumiendo, este estudio muestra que la administración tanto aguda como crónica de maca por vía oral aumenta significativamente los parámetros de performance sexual en ratas machos.

Continuando con el estudio anterior, Cicero *et al.*²³ determinaron el efecto de la administración oral subaguda de extractos hexánico, clorofórmico y metanólico de las raíces de maca sobre la performance sexual de ratas sin experiencia sexual previa. Se evaluaron los siguientes parámetros: primera monta, primera penetración, latencias de eyaculación y post-eyaculación, intervalo intercopulatorio y eficacia copulatoria. Todas las fracciones disminuyeron significativamente la latencia de intromisión y el intervalo intercopulatorio e incrementaron la frecuencia de penetración y eficacia copulatoria comparada con el grupo control. El extracto hexánico y metanólico incrementaron la frecuencia de montas, mientras que sólo la fracción hexánica aumentó significativamente la latencia de montas. En conclusión, la administración oral subaguda del extracto hexánico de maca es el que presenta mejores resultados en los parámetros sexuales evaluados. El o los compuestos responsables de la actividad biológica parecieran estar en mayor proporción en el extracto hexánico. No se sabe si los efectos observados guardan una relación dosis-respuesta.

Zheng *et al.*¹⁰ determinaron el efecto de la administración oral de un extracto lipídico purificado de

maca (MacaPure M-01 y M-02) en el número de penetraciones y apareamientos en ratones normales y en el período latente de erección (LPE) en ratas con disfunción eréctil. Los ratones y ratas fueron divididas al azar en varios grupos experimentales y controles. Se administró por vía oral una suspensión etanólica al 10% de M-01 y M-02 por 22 días a los grupos experimentales. En el día 22, luego de 30 minutos de administrada la dosis al ratón macho, se colocaron dos ratones hembras vírgenes junto al macho. Se anotó el número total de penetraciones por un período de 3 horas. Este número fue de $16,33 \pm 1,78$, $46,67 \pm 2,39$ y $67,01 \pm 2,55$ para el grupo control, M-01 y M-02, respectivamente.

En la evaluación de 1 día de apareamiento, cada ratón cohabitaba toda la noche con 5 ratones hembras en etapa de estro. El número de hembras con esperma vaginal positivo fue de $0,6 \pm 0,7$ para el grupo control versus $1,5 \pm 0,5$ para el M-01.

El LPE fue usado para medir la función sexual en ratas con disfunción eréctil. Usando un instrumento multifuncional VSD-4C se aplicó un pulso eléctrico de 20 V para estimular el pene de la rata y se midió el tiempo en segundos desde el momento del estímulo hasta la completa erección (LPE). El LPE de las ratas del grupo control fue de 112 ± 13 segundos, mientras que el LPE del grupo M-01 a una dosis de 180 y 1800 mg/kg y de M-02 a una dosis de 45, 180 y 1800 mg/kg fue de 54 ± 12 , 54 ± 13 , 71 ± 12 , 73 ± 12 , 41 y ± 13 segundos, respectivamente.

En conclusión, la administración oral de M-01 y M-02 potenció la función sexual de ratones sanos y de ratas machos con disfunción eréctil.

d) Espermatogénesis

Se hizo un estudio para determinar el efecto de la administración por vía oral de un extracto acuoso de las raíces de maca sobre la espermatogénesis de ratas adultas machos²⁴. Se administró a las ratas el extracto acuoso de la raíz (66,7 mg/L) dos veces por día por 14 días consecutivos. El tratamiento con maca produjo un aumento de peso de los testículos y epidídimo, pero no de las vesículas seminales. Se incrementaron tanto la duración como la frecuencia de los estadios IX-XIV de los túbulos seminíferos (donde ocurre la mitosis), mientras que las de los estadios I-VI se redujeron. Se concluye que la maca favorece la espermatogénesis en ratas

machos actuando sobre todo en sus estadíos iniciales. Queda aun por investigar si existe una relación dosis respuesta y la correspondiente evaluación del efecto contra un control positivo.

Estudios en humanos

a) Espermatogénesis

González *et al.*²⁵ evaluaron el efecto de un tratamiento oral con tabletas de *Lepidium meyenii*. Cada tableta contiene 500 mg de la raíz de maca de la raíz (no se detalla en el artículo los parámetros de la preparación respectiva). Seis sujetos sanos recibieron 3 tabletas/día mientras que otros 3 sujetos recibieron 6 tabletas/día por un período de 4 meses. Se obtuvieron muestras de esperma luego de un período de abstinencia sexual. Además se tomaron muestras de sangre en ayunas entre las 8-9 de la mañana. Las muestras de semen y sangre se obtuvieron antes y después del tratamiento por 4 meses con maca. Los resultados indican un aumento del volumen de esperma, de la motilidad de espermatozoides y del conteo de esperma. Este último efecto no está relacionado con la dosis. No se observaron cambios hormonales de LH (hormona luteinizante), FSH (hormona estimulante del foliculo), PRL (prolactina), T (testosterona) y E₂ (estradiol).

Este estudio abierto, con un número pequeño de pacientes sanos (n = 9) y sin el uso de controles positivos o negativos (sin tratamiento) no es concluyente, pero sugiere que el tratamiento prolongado con maca puede mejorar ciertos parámetros seminales. Dichos efectos no estarían relacionados a las hormonas LH, FSH, PRL, T y E₂.

b) Actividad sobre la libido

En un estudio doble ciego contra placebo con pacientes varones sanos de 21 a 56 años de edad se evaluó el efecto de las raíces de maca deshidratada administrada por vía oral sobre el deseo sexual²⁶. Cincuenta y siete sujetos fueron divididos al azar en 3 grupos: maca 1500 g/día (n = 30), maca 3000 mg/día (n = 15) y placebo (n = 12). El efecto sobre el deseo sexual se evaluó en base a la única pregunta de si el paciente subjetivamente manifestaba encontrar mejoría o no en la libido al cabo de 4, 8 y 12 semanas de tratamiento. Las respuestas a dicha pregunta se catalogaron como: el tratamiento disminuyó (score = 0), mantuvo igual (score = 1), aumentó levemente (score = 2) o incrementó

moderada o altamente el deseo sexual (score = 3). Al cabo de 8 y 12 semanas de tratamiento, el 40% de los pacientes manifestó haber mejorado el deseo sexual. Los autores no evaluaron el efecto de cada dosis de maca por separado porque aparentemente no encuentran un efecto dosis-respuesta. En promedio, al cabo de 8 semanas de tratamiento, la maca logra incrementar el score de deseo sexual de 1 a 2,47 ± 0,27 (incremento leve y subjetivo de la libido).

Paralelamente a la evaluación del efecto sobre el deseo sexual, también se dosaron niveles de testosterona y estradiol y se usó el test de Hamilton para medir ansiedad y depresión. Se observó que el efecto de la maca sobre el deseo sexual aparentemente es independiente de cambios en los scores del test de Hamilton y a cambios en niveles hormonales. Esto último fue corroborado en otro estudio doble ciego contra placebo con 56 sujetos que recibieron 1,5-3 g de raíces de maca deshidratada²⁷. No se observaron cambios en los niveles séricos de hormonas FSH, PRL, T, 17- α -hidroxiprogesterona y 17- β -estradiol al cabo de las 2, 4, 8 ó 12 semanas de tratamiento. Por consiguiente, el tratamiento con maca no afecta los niveles séricos de dichas hormonas reproductivas.

Patentes

Hasta el momento existen 3 patentes internacionales sobre productos derivados de maca. DeLuca *et al.*²⁸ patentaron una mezcla de maca en polvo con cuernos pulverizados de alce o venado. Los autores sostienen (basados en experimentos en 5 varones) que dicha mezcla usada por vía oral aumentaría los niveles séricos de testosterona.

Zheng *et al.* declararon 2 patentes sobre un extracto hidroalcohólico de maca estandarizado en el contenido de bencilisotiocianato (5-9%), esteroides (1-3%), ácidos grasos (20-30%) y macamidas (10%). La primera patente²⁹ describe básicamente el preparado farmacéutico. La segunda patente es una extensión de la anterior y sostiene (en base a estudios en células y animales) que el extracto de maca puede ser usado para el tratamiento del cáncer y de la disfunción sexual³⁰.

CONCLUSIONES

Las propiedades nutricionales atribuidas a la maca pueden ser ampliamente explicadas por la presencia de metabolitos

primarios (aminoácidos, proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas, minerales) en cantidades relativamente mayores que en otros tubérculos similares.

El estudio de los metabolitos secundarios del *L. meyenii* muestra la presencia de compuestos con interesante actividad biológica como son los glucosinolatos, isotiocianatos, macaenos, macamidas, alcaloides y flavonoides. Hasta el momento, sin embargo, no se puede afirmar cuál o cuáles de todos estos compuestos serían los responsables de las actividades biológicas atribuidas a la maca. Se hacen por lo tanto necesarios estudios de aislamiento guiados por bioensayo para la determinación de los principios activos respectivos.

Los estudios farmacológicos realizados en animales demuestran principalmente efectos significativos de la maca en la espermatogénesis, la actividad sexual y la capacidad

reproductiva. Estas propiedades, sin embargo, aún no están fehacientemente demostradas en seres humanos sanos o con algún tipo de disfunción sexual. Por lo tanto, resulta entonces aún muy prematuro asignarle propiedades fertilizantes o afrodisíacas a la maca. Se hace necesario realizar estudios controlados, con mayor número de pacientes sanos o con enfermedad y que evalúen efectos de dosis-respuesta con extractos debidamente estandarizados.

Cada vez es más popular el uso de preparados comerciales derivados de maca, por lo que se hace indispensable un adecuado seguimiento del control de calidad de dichos productos. Dado que aún no se conoce el o los principios activos, se propone hacer la estandarización de las preparaciones de maca en base al contenido de glucosinolatos, isotiocianatos, macaenos y/o macamidas.

REFERENCIAS

- Aliaga, R. *Guía para el cultivo, aprovechamiento y conservación de la Maca*; Serie Ciencias y Tecnología N° 82. Convenio Andrés Bello: Santa Fé de Bogotá, 1999; p 3.
- Obregón, L. *Maca. Planta Medicinal y Nutritiva del Perú*; Instituto de Fitoterapia Andina: Lima, 1998; pp 27, 40, 53, 73.
- Apumayta, U.; Lock, O. *Revista de Química PUCP* **1993**, *7*, 211-217.
- Cabieses, F. *La Maca y la Puna*; Universidad de San Martín de Porres: Lima, 1997; p 55.
- Johns, T. *J. of Ethnobiology* **1981**, *1*, 208-212.
- Li, G.; Ammermann, U.; Quirós, C. F. *Economic Botany* **2001**, *55*, 255-262.
- Piacente, S.; Carbone, V.; Plaza, A.; Zampelli, A.; Pizza, C. *J. Agric. Food Chem.* **2002**, *50*, 5621-5625.
- Tellez, M. R.; Khan, I. A.; Kobáisy, M.; Schrader, K. K.; Dayan, F. E.; Osbrink, W. *Phytochem.* **2002**, *61*, 149-155.
- Lopuc-017/2002-Informe Servicios a Terceros-PUCP.
- Zheng, B. L.; He, K.; Kim, C. H.; Rogers, L.; Shao, Y.; Huang, Z. Y.; Lu, Y.; Yan, S. J.; Qien, L. C.; Zheng, Q. Y. *Urology* **2000**, *55*, 598-602.
- Muhammad, I.; Zhao, J.; Dunbar, D. C.; Khan, I. A. *Phytochem.* **2002**, *59*, 105-110.
- Ganzer, M.; Zhao, J.; Muhammad, I.; Khan, I. A. *Chem. Pharm. Bull.* **2002**, *50*, 988-991.
- Dini, A.; Migliuolo, G.; Rastelli, L.; Saturnino, P.; Schettino, O. *Food Chemistry* **1994**, *49*, 347-349.
- Chacón, G. *Rev. Per. Biol.* **1990**, *3*, 171-272.
- Garró, V.; León, E.; Julca, B. *Extracción, separación e identificación por cromatografía de alcaloides de Lepidium meyenii Walp «Maca»*. VI Congreso Peruano de Farmacia y Bioquímica 24-29 Octubre, 1993. Libro de resúmenes, p 50.
- Gins, M.; Lozorskaya, E.; Gins, V.; Kononkov, P.; Tkacheva, T. *Russian Agricultural Sciences* **2001**, *5*, 25-28.
- Cabello, I.; Lock, O. Lopuc-06. Informe Servicios a Terceros-PUCP.
- Apumayta, U.; Lock, O.; Caballero, E.; San Feliciano, A. *Componentes del aceite esencial de maca*. Resultados no publicados.
- Sandoval, M.; Okuhama, N. N.; Angeles, F. M.; Melchor, V. V.; Condezo, L. A.; Lao, J.; Miller, M. J. S. *Food Chemistry* **2002**, *79*, 207-213.
- Miura, T.; Hayashi, M.; Naito, Y.; Suzuki, I. *Journal of Traditional Medicines* **1999**, *16*, 93-96.
- Canales, M.; Aguilar, J.; Prada, A.; Marcelo, A.; Huamán, C.; Carbajal, L. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* **2000**, *50*, 126-133.
- Cicero, A. F. G.; Bandieri, E.; Arletti, R. *Journal of Ethnopharmacology* **2001**, *75*, 225-229.
- Cicero, A. F. G.; Piacente, S.; Plaza, A.; Sala, E.; Arletti, R.; Pizza, C. *Andrologia* **2002**, *34*, 177-179.
- Gonzales, G. F.; Ruiz, A.; Gonzales, C.; Villegas L.; Córdova, A. *Asian Journal of Andrology* **2001**, *3*, 231-233.
- Gonzales, G. F.; Córdova, A.; Gonzales, C.; Chung, A.; Vega, K.; Villena, A. *Asian Journal of Andrology* **2001**, *3*, 301-303.
- Gonzales, G. F.; Córdova, A.; Vega, K.; Chung, A.; Villena, A.; Góñez, C.; Castillo, S. *Andrologia* **2002**, *34*, 367-372.
- Gonzales, G. F.; Córdova, A.; Vega, K.; Chung, A.; Villena, A.; Góñez, C. *Journal of Endocrinology* **2003**, *176*, 163-168.
- DeLuca, D. L.; Sparks, W. S.; DeLuca, D. R. *Maca and antler for augmenting testosterone levels*. USP 6,093,421, July 25, 2000.
- Zheng, B. L.; Kim, C. H.; Wolthoff, S.; He, K.; Rogers, L.; Shao, Y.; Zheng, Q. Y. *Extract of Lepidium meyenii roots for pharmaceutical applications*. USP 6,267,995, July 31, 2001.
- Zheng, B. L.; Kim, C. H.; Wolthoff, S.; He, K.; Rogers, L.; Shao, Y.; Zheng, Q. Y. *Treatment of sexual dysfunction with an extract of Lepidium meyenii roots*. USP 6,428,824, August 6, 2002.