

ARTÍCULOS

La maca: la química detrás de su secado tradicional



Eliana Esparza, Antonella Hadzich y Eric Cosio*

Resumen

El procesamiento post cosecha en maca (*Lepidium meyenii*) es clave en la generación del perfil metabólico que resulta en sus propiedades nutraceuticas tan conocidas. En este artículo se describe los distintos procesos metabólicos responsables de la generación de productos bioactivos clave.

Palabras clave: Macamidas, glucosinolatos, postcosecha

Abstract

Maca's (*Lepidium meyenii*) post harvest processing is key in generating a metabolic profile that will result in its well reported nutraceutical properties. This article presents how different metabolic processes generate these changes.

Keywords: macamides, glucosinolates, postharvest

Existe un grupo de productos agroindustriales en los que el procesamiento post-cosecha es fundamental para que el resultado tenga las características adecuadas que generan su demanda. Los productos como el té, el café, la vainilla, el cacao y la maca dependen de procesos como la maceración, el tostado, la fermentación o el secado, que generan reacciones químicas que liberan, o forman, los

compuestos que les dan las características de aroma, sabor y propiedades nutraceuticas por las cuales son tan solicitados a nivel mundial.

Tanto el café como el té y el cacao han sido profundamente estudiados para comprender el efecto de los procesos post-cosecha en la liberación de compuestos químicos responsables del sabor, como los ácidos fenólicos, por ejemplo. Estos procesos han ido perfeccionándose a medida que los estudios procuran un entendimiento del metabolismo que se genera en la planta una vez que es cosechada y tratada para mejorar sus propiedades.

Sin embargo, de la maca poco se sabe. Los pobladores de las regiones de Junín y Pasco, en el Perú (una de las únicas regiones del mundo en donde se cultiva esta planta), acostumbran secar la maca durante 3 meses. A lo largo de ese tiempo los hipocótilos de la maca se exponen al sol de la puna (Figura 1) donde, debido a la altura, la radiación solar es intensa y existe una gran diferencia de temperatura entre el medio día y la noche. En principio, este proceso tiene la finalidad de permitir la conservación y almacenamiento del hipocótilo por largos periodos de tiempo. No obstante,

* *Eric Cosio* (✉) es doctor en botánica, profesor de bioquímica en la PUCP y dirige el grupo de bioanalítica en la sección Química. Ha publicado numerosos artículos en revistas científicas de alto impacto en el área de bioquímica y biología molecular y ha participado en libros editados por importantes editoriales científicas. *Eliana Esparza* es Licenciada en Química y es investigadora asociada del INTE-PUCP (Instituto de Ciencias de la Naturaleza, Territorio y Energías Renovables de la PUCP). Trabaja en proyectos de investigación en el laboratorio de Bioanalítica con el profesor Cosio. *Antonella Hadzich* es bachiller en Química y realiza la tesis de licenciatura en el grupo del profesor Cosio. (email de contacto: ecosio@pucp.pe; eesparz@pucp.pe)



Figura 1. (a) Campo de secado en Junín (Perú), a 4100 msnm. (b) Procesos artesanales de separación de hojas y limpieza de maleza, (c) tres fenotipos representativos de maca que se cultivan en Junín, amarilla, roja y negra. (Fotografías de las autoras: (a) E.E. y (b) y (c) A.H.)

también se realiza para eliminar el sabor amargo del hipocótilo fresco, de manera que sea agradable y pueda ser consumido posteriormente. De esta forma, los agricultores van probando el sabor de los hipocótilos con el tiempo para saber si están dulces y, cuando lo están, recogen la maca del campo de secado. Como se puede comprobar, se trata de un procedimiento completamente artesanal cuyos procesos químicos se desconocen.

La maca, una planta de altura

La maca (*Lepidium meyenii*, Walpers) es una planta que pertenece a la familia Brassicaceae cuyo hábitat natural se encuentra por encima de los 3800 msnm, una altura

típica de la puna andina que pocas plantas pueden soportar debido a los vientos constantes y a su gélido e inhóspito clima.¹ A la maca se le atribuyen muchas propiedades nutracéuticas, entre ellas el incremento de la fertilidad, el aumento de la capacidad espermática, la mejora del rendimiento sexual y la reducción del tamaño de próstata inflamada.^{1, 3} Además, se le usa como reemplazo hormonal en mujeres menopáusicas⁴ y se ha observado que mejora la memoria y la resistencia ante el esfuerzo.^{5, 6} Lo curioso es que todas las pruebas con maca son realizadas con productos derivados de hipocótilos secos, o extractos enteros realizados a partir de hipocótilos después de que estos pasaran por los tres meses de secado.

La maca, por otra parte, dispone de una variedad de defensas químicas para protegerse del ecosistema hostil en el que habita. Esto incluye protección contra herbívoros o contra cualquier planta que vaya competir con ella por nutrientes del suelo. Dentro de su arsenal biológico la maca ha desarrollado un amplio espectro de sistemas de defensa que implican la formación de alcaloides, amidas y oxilipinas (derivados oxidados de ácidos grasos C18, que en el caso de la maca se denominan macaenos), y la liberación de compuestos volátiles y exudados de raíz. El más conocido es el sistema mirosinasa-glucosinolato, el equivalente a un arma

1. Quiroz, C. y Aliaga, R.: "Maca (*Lepidium meyenii* Walp.)". En Hermann M. y Heller J. (editores): "Andean roots and tubers: Abiña, arracacha, maca and yacon". Institute of Plant Genetic and Crop Plant Research, Gatersleben / International Plant Genetic Resources Institute: Roma, 1997. pp. 173-197. (📄)
2. Gonzales, G.F. y col.: *Reprod. Biol. Endocrinol.*, **2005**, *3*, 1-16. (📄)
3. Wang, Y. y col.: *Food Res. Intern.*, **2007**, *40*, 783-792. (📄)
4. Ruiz-Luna, A.C. y col.: *Reprod. Biol. Endocrinol.*, **2005**, *3*, 16. (📄)
5. Rubio, J. y col.: *Food Chem. Toxicol.*, **2007**, *45*, 1882-1890. (📄)
6. Rubio, J. y col.: *Food Chem. Toxicol.*, **2006**, *44*, 1114-1122. (📄)

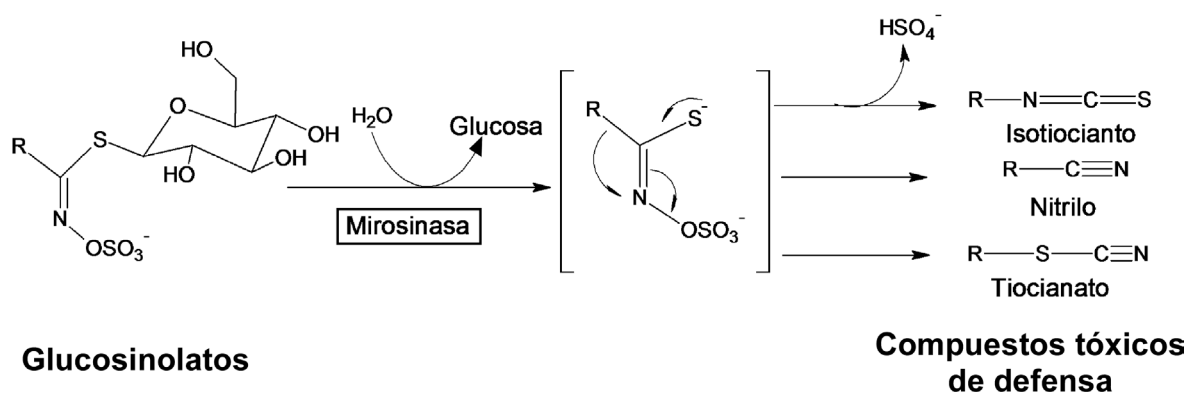


Figura 2. Acción de la enzima mirosinasa sobre los glucosinolatos para formar compuestos volátiles tóxicos como defensa frente a herbívoros e insectos. En el caso de la maca $R = C_6H_5$ (bencilo).

química binaria, en el cual la enzima (mirosinasa, una tioglucosidasa) y el sustrato (glucosinolato) están localizados en compartimentos separados en el interior de la célula (Figura 2). Cuando se produce la ruptura celular, por el ataque de un herbívoro – por ejemplo, el glucosinolato queda expuesto a la enzima y se produce la hidrólisis que genera isotiocianatos, nitrilos o tiocianatos volátiles que son altamente reactivos o tóxicos. Estos compuestos son los responsables del sabor amargo y picante en la maca fresca.

Con todo este arsenal encapsulado, ¿cómo reacciona la maca al ser cosechada? Es más, en general, ¿cómo reacciona una planta al ser cosechada?

Momentos de estrés en la cosecha

El momento de la cosecha es un momento de estrés y cambio para la planta. La falta de contacto con el suelo la desprovee de agua y nutrientes. Sin embargo, los tejidos siguen vivos y sus reacciones vitales siguen produciéndose. Lo que cambia inmediatamente es su metabolismo. Los procesos de captura de energía para fijar CO_2 y producir nutrientes se detienen, aunque la respiración continúa. De esta forma, las hojas no necesitan más la clorofila y el color verde desaparece dejando ver los tonos de amarillo propios de carotenoides y otros compuestos que no eran notorios debido a la abrumadora presencia de clorofila.

Los productos catabólicos de esta última son de color rojo y es en este momento cuando empiezan a ser notorios. Por otro lado, empieza un proceso de senescencia en el cual se producen una variedad de enzimas hidrolíticas que incluyen proteasas, lipasas, nucleasas, amilasas y muchas otras cuya función es la degradación de macromoléculas en sus subunidades (aminoácidos, azúcares, etc.) para ser transportadas a los órganos de almacenamiento.



¿Qué es lo que ocurre con la maca mientras está en el campo expuesta a las extremas condiciones ambientales a las que se le somete para secarla?

Generalmente, se daba por sentado que el secado era sólo un método para la preservación de los hipocótilos por más tiempo y que la maca debía producir los efectos que se han venido observando desde que se la conoce independientemente del secado. Sin embargo, un primer estudio realizado en nuestro laboratorio determinó que la composición química de la maca varía mucho según el método de secado que se utilice.⁷ Por ejemplo, los hipocótilos de maca liofilizados después de ser congelados en nitrógeno líquido, es decir que no han sufrido daño a sus tejidos, tienen un alto contenido de glucosinolatos y muy bajo de macamidas y bencilamina. Sin embargo, la harina preparada con maca secada al sol en la puna tiene un alto contenido de macamidas y bencilamina y un menor contenido de glucosinolatos. Aunque esto no responde completamente a la primera pregunta, si da una idea de que no es lo mismo usar la maca fresca que seca.

Si la composición cambia debido al secado, entonces ¿qué ocurre durante el proceso de secado en campo?

Con el fin de responder esta pregunta llevamos a cabo un cinética de secado en el campo y observamos el comportamiento de los compuestos que nos interesaban y que, según nuestra percepción, estaban relacionados metabólicamente. De esta manera hicimos un seguimiento del

7. Esparza, E.: "Metodología para el análisis rápido de metabolitos secundarios bioactivos de maca (*Lepidium meyenii*, Walpers)". Tesis de Licenciatura; Pontificia Universidad Católica del Perú, (Perú) 2010. (📄)

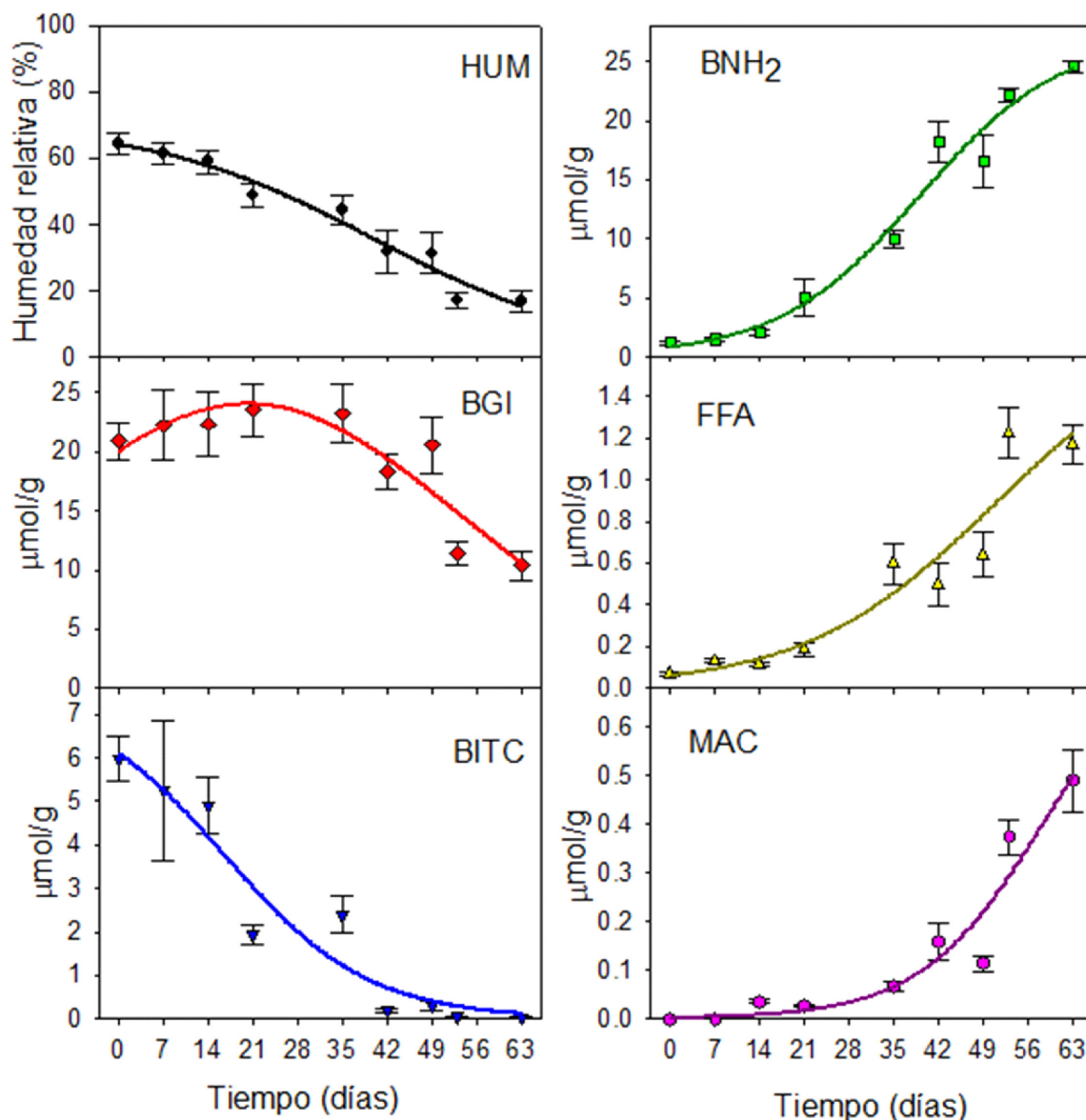


Figura 3. Gráficas de la variación de los distintos metabolitos de maca durante el secado tradicional. HUM, porcentaje de humedad; BNH₂, bencilamina; BITC, bencilisotiocianato; BGI, bencilglucosinolato; FFA, ácidos grasos libres insaturados; MAC, macamidas totales. (Elaboración propia, publicada originalmente en inglés en *Phytochemistry*, doi:10.1016/j.phytochem.2015.02.030 (3), Esparza, E. y col.: "Bioactive maca (*Lepidium meyenii*) alkalimides are a result of traditional Andean postharvest drying practices", © 2015, reproducida con permiso de Elsevier).

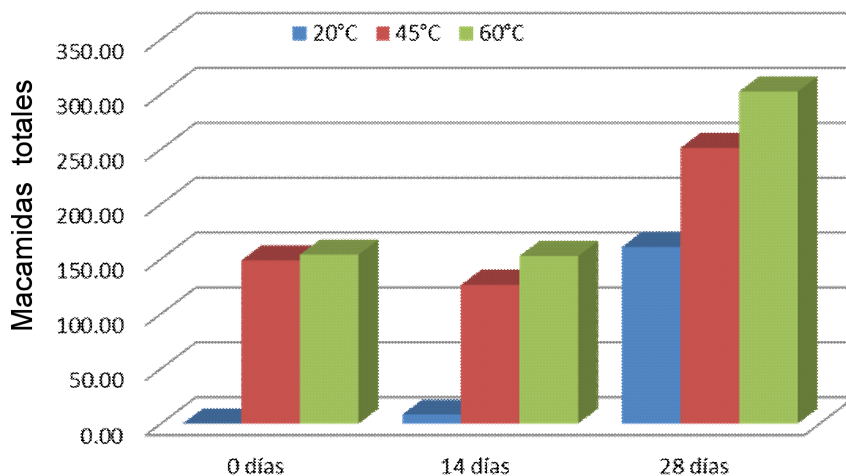
contenido de bencilglucosinolato, bencilamina, bencilisotiocianato, ácidos grasos libres y macamidas durante alrededor de 9 semanas de secado en el campo de 4 lotes escogidos para este experimento.

La figura 3 muestra el cambio de los metabolitos elegidos durante las 9 semanas de secado. Se observa un incremento inicial de bencilglucosinolato debido a que al momento de la cosecha la planta moviliza los glucosinolatos alojados en las hojas hacia órganos de reserva como el hipocótilo. Por otra parte, la diferencia entre las altas temperaturas del día y las temperaturas por debajo de 0°C durante la noche, generan la ruptura celular y la liberación de mirosinasa, una enzima que hidroliza al bencilglucosinolato haciendo que disminuya progresivamente para formar bencilisotiocianato. La actividad de mirosinasa es mayor cuando el conte-

nido de humedad es alto. Por lo tanto, es en las primeras semanas donde se produce mayor cantidad de isotiocianatos. Como hemos dicho, esta respuesta al estrés del secado, es parte del sistema de defensa de la planta. Sin embargo, una acumulación de isotiocianatos muy grande puede ser tóxica incluso para la misma planta que la genera. ¿Entonces, cómo detoxifica la planta a este compuesto?

Observamos que inicialmente, el bencilglucosinolato forma bencilisotiocianato; sin embargo, éste pronto disminuye (Figura 3). Paralelamente, ocurre un incremento progresivo de bencilamina, producto de la hidrólisis del bencilisotiocianato, que se va acumulando en el hipocótilo. Al parecer éste es un mecanismo de detoxificación que usa la maca ante la acumulación de isotiocianatos, lo que los campesinos observan de manera práctica como una disminución

Figura 4. Contenido de macamidas totales en hipocótilos de maca después de permanecer en campo un determinado tiempo y ser sometidas a calentamiento en horno industrial por 6 horas. El tiempo que figura es el tiempo de exposición al sol en el campo de secado. La temperatura es la temperatura usada en el horno industrial, sólo la que figura como 20°C significa que no fue horneada.



en el sabor amargo de la maca.

Otro hecho que ocurre durante el proceso de secado es la hidrólisis de compuestos de reserva como el almidón, que genera azúcares libres y que le van dando el sabor dulce, y de lípidos de reserva, que van a ir formando ácidos grasos libres. Cuando se analiza maca fresca, los ácidos grasos libres no son detectables y el nivel de bencilamina es muy bajo. Estos compuestos son productos netos de hidrólisis debido al estrés generado por el secado que deriva en la liberación de enzimas hidrolíticas. Pero ¿qué ocurre con estos compuestos conforme se acumulan en el hipocótilo?

Hemos dicho que la maca es una planta que está siempre a la defensiva. Frente al hecho de que está deshidratándose y hay ruptura celular masiva, empieza la formación de compuestos de repuesta como oxilipinas (macaenos) los cuales son ácidos grasos modificados por la acción de lipooxigenasas, y de amidas (macamidas), las cuales se producen mediante reacción de los ácidos grasos y macaenos libres con bencilamina.. En la figura 3 podemos observar que la formación de macamidas se correlaciona perfectamente con la formación de ácidos grasos y depende del nivel de éstos, ya que la bencilamina se encuentra en exceso. Esto nos lleva a concluir que las macamidas son un producto del proceso de secado debido al daño celular generado de manera controlada y no violenta.

Entonces, si la composición cambia con el tiempo de secado, surge el interés por optimizar este proceso y nuevas preguntas aparecen: ¿Cómo derivan estos procesos en la composición química esperada, es decir, la que tiene los efectos por los

que la maca es tan cotizada? ¿Es posible conseguir industrialmente un proceso parecido para acelerar el secado y así obtener una composición similar, o mejor, a la maca secada en campo? ¿Qué otros procesos ayudan a mejorar el perfil de metabolitos en los hipocótilos de maca?

Iremos contestando poco a poco estas preguntas. Hemos visto que, en el campo, el tiempo de secado es importante para favorecer la hidrólisis de unos compuestos y la formación de otros. Si queremos una maca rica en glucosinolatos la maca debe ser casi fresca, o fresca liofilizada de manera que conserve su composición inicial.

Si queremos una maca rica en macamidas, necesariamente tiene que ser una maca secada de manera que haya un proceso controlado de ruptura celular e hidrólisis. En ese caso la maca secada en campo sería la elección perfecta. ¿Quiere esto decir que un mayor tiempo de secado podría favorecer la formación de macamidas? La respuesta es positiva.

Extender el secado de 10 a 14 semanas resultó en un incremento proporcional en la concentración de macamidas en hipocótilos secos.

En este punto la pregunta que surge es la siguiente: ¿es posible reproducir en un laboratorio o en la industria el proceso que ocurre en el campo? Y más específicamente, ¿los procesos dependen del sol o no? Es decir, ¿las reacciones son activadas por radiación solar (posiblemente UV) o son procesos enzimáticos independientes de ella? ¿Son también dependientes de la temperatura del secado? Para ello le propusimos a la empresa con la que trabajamos seguir

el proceso de secado en paralelo en el campo y en planta, es decir, tomamos un lote de maca y enviamos una parte al campo para ponerlo a secar y otras dos porciones para ser

Las macamidas son un producto del proceso de secado debido al daño celular generado de manera controlada y no violenta.

Los estudios llevados a cabo hasta ahora parecen demostrar que el secado de tres meses no es estrictamente necesario para obtener las macamidas. Pueden obtenerse resultados similares en menos tiempo en hornos de laboratorio a temperaturas moderadamente bajas.

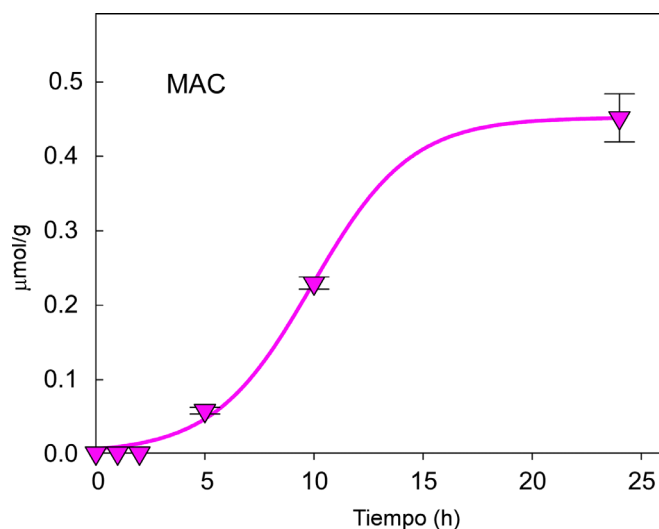


Figura 5. Evolución de la producción de macamidas en la maca durante el secado en horno en laboratorio a 45°C. Los datos están referidos al peso en seco.

secadas en horno en la planta de la empresa a dos temperaturas distintas, 45°C y 60°C. Con este experimento observaríamos la producción de metabolitos en horno en hipocótilos que no fueron expuestos al sol, pero que si han sufrido daño mecánico debido al proceso de lavado, molido y secado en horno (procesamiento regular en la planta industrial que se realiza generalmente con hipocótilos secos). También se observaría si la actividad enzimática se ve favorecida por alguna de las dos temperaturas. De la misma manera, cada dos semanas se tomaban dos muestras de las macas expuestas al sol en campo y se llevaba una muestra a laboratorio para ser analizada sin ser horneada y dos a planta para ser horneadas y luego analizadas. Los resultados se observan en la figura 4, en la que se muestra la cantidad total de macamidas del hipocótilo antes de haber sido horneado (20°C), y después de ser horneado a 45°C y 60°C, para los hipocótilos recién cultivados y los que han sido expuestos al sol por 2 y 4 semanas. Para todos los casos el tiempo en horno fue el mismo. Lo que se puede observar es que hay formación de macamidas independientemente de la exposición al sol. La actividad es enzimática es mayor durante los primeros días en los que la humedad es mayor en el hipocótilo. Además es dependiente de la temperatura y es mejor a los 60°C. Sin embargo, cuando la maca no ha sido expuesta al secado tradicional, la diferencia debida a la temperatura de secado no es significativa.

¿Qué hemos aprendido hasta ahora?

Hemos visto que las macamidas se forman también si los hipocótilos se secan en un horno sin necesidad de exposición al sol, ¿significa esto que podemos controlar su formación? La respuesta apunta a que sí. Hagamos un resumen de lo que sabemos hasta ahora: 1: el daño celular favorece la hidrólisis de glucosinolatos y lípidos y la formación de bencilamina y ácidos grasos libres; 2: el punto (1) no depende de la radiación solar; 3: la temperatura acelera la

formación de macamidas. Todo esto nos lleva a formular una nueva pregunta: ¿Qué ocurre si procesamos maca fresca en hojuelas y la secamos al horno a 45°C? La respuesta es la misma: se producirán macamidas. Pero ¿cuánto? Una nueva cinética, esta vez en horno en laboratorio, para observar la formación de macamidas y demás metabolitos durante el proceso indica que la formación de macamidas es muy similar a la del secado en el campo solo que ocurre en un periodo mucho más corto. La figura 5 muestra la variación del contenido de macamidas a lo largo del tiempo de secado en un horno a 45°C. En este caso, si bien la formación de macamidas y ácidos grasos siguen curvas similares a las que se producen en el campo, los metabolitos derivados de la hidrólisis de bencilglucosinolato muestran curvas mucho más pronunciadas debido a que el daño inicial producto del rallado de la maca fresca liberó mayor cantidad de mirosinasa y resultó en una generación inmediata de isotiocianato, que al hidrolizarse resultó en una rápida acumulación de bencilamina.

Toda esta información ha permitido proponer un esquema metabólico post-cosecha que resume la serie de reacciones que generan la composición final de la maca seca (un resumen se muestra en la Figura 6 y más detalles del mismo en la referencia 8) Según este esquema las macamidas se formarían según una reacción de condensación ayudada por una enzima amidohidrolasa de ácidos grasos (FAAH) que actúa de manera inversa en condiciones de acumulación de ácidos grasos y bencilamina.

Repaso final

La maca es parte de la dieta ancestral de muchos peruanos y su consumo se lleva a cabo en forma de harina y como complemento de jugos y pachamancas. Se puede encontrar en venta en forma de harina, gelatinizado, pastillas, maca liofilizada, extractos hidroalcohólicos, etc. como producto nutracéutico para combatir la inflamación de la próstata, baja fertilidad o como energizante. Como se ha indicado, todos los productos derivados de la maca (a excepción de la maca liofilizada) son procesados una vez que los hipocótilos han

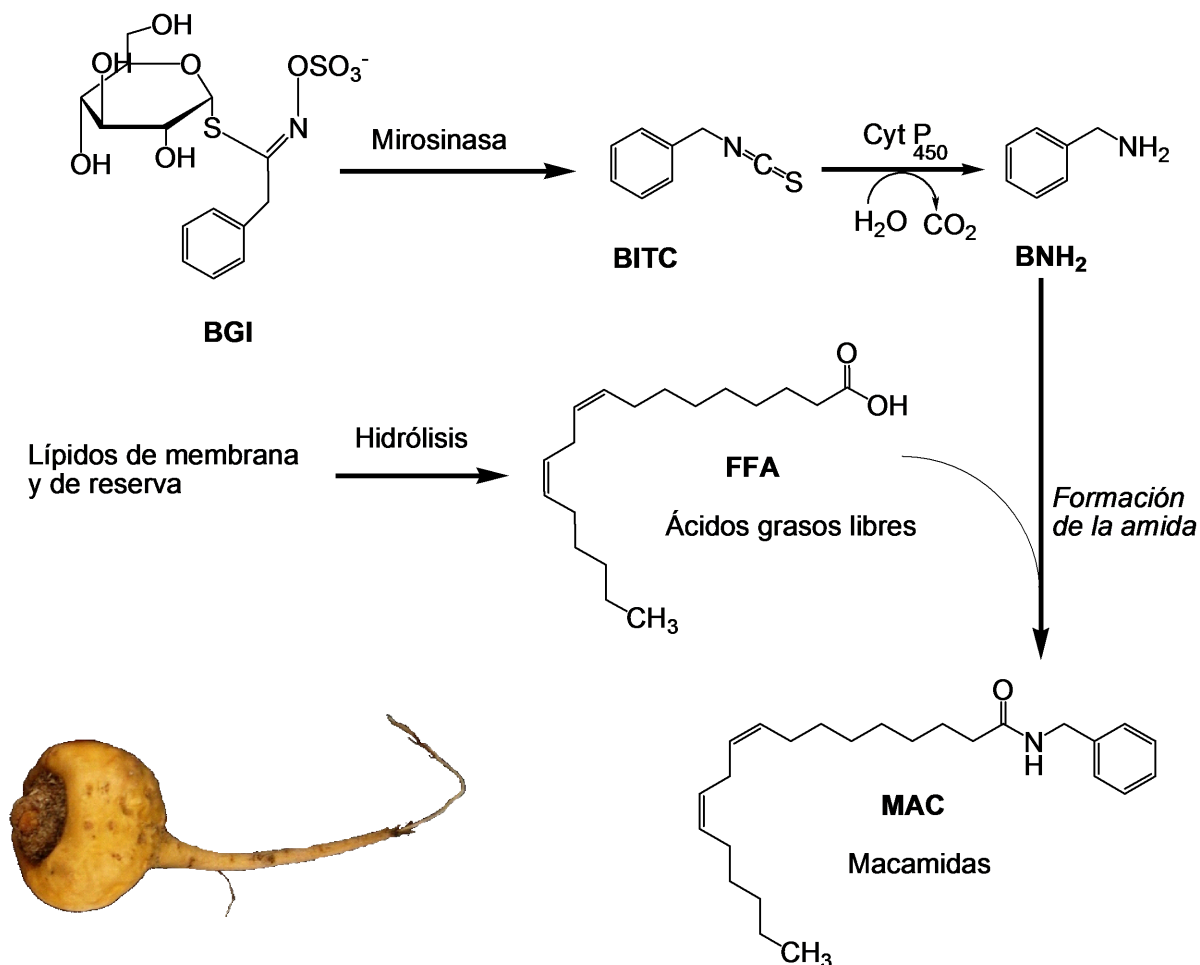


Figura 6. Propuesta del metabolismo post cosecha de la maca.

sido secados por varios meses en las llanuras de los Andes, para así evitar el sabor amargo de la maca recién cosechada, y conservarlas por un mayor tiempo. Como hemos visto durante este secado se producen cambios en el metabolismo de la maca que generan la formación de macamidas. Los estudios llevados a cabo hasta ahora parecen demostrar que el secado de tres meses no es estrictamente necesario y que pueden obtenerse resultados similares en menos tiempo en hornos de laboratorio a temperaturas moderadamente bajas. Las implicaciones que esto tiene para el consumo y producción de la maca son muy importantes porque reducirían el tiempo que el agricultor tarda en poner la maca en el mercado, podría reducir costos de producción e incluso brindarles más beneficio, además de considerar los posibles

beneficios de una futura industrialización del proceso. Y todo eso ha podido saberse gracias a la investigación de los procesos químicos que hay detrás del secado tradicional de la maca.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer el apoyo financiero del programa FIDECOM-PIPEA (contrato 132-10) y al programa Perú-Biodiverso (cuenta 318.1). También queremos agradecer a la empresa Ecoandino SAC, y al Centro Internacional de la Papa (CIP) por proveer las muestras para el estudio

Recibido: 8 de septiembre de 2014
Aceptado en forma final: 26 de mayo de 2015

Bibliografía esencial

Esparza, E.; Hadzich, A.; Kofer, A.; Mithöfer, A.; Cosio, E.G.: "Bioactive maca (*Lepidium meyenii*) alkamides are a result of traditional Andean postharvest drying practices". *Phytoche-*

mistry, 2015, 116, 138–148. (📄)

Wang, Y.; Wang, Y.; McNeil, B.; Harvey, L.M.: "Maca: An Andean crop with multi-pharmacological functions". *Food Res. Intern.* 2007, 40, 783-792. (📄)