



Conservación y uso de la biodiversidad
de raíces y tubérculos andinos:
Una década de investigación para el
desarrollo (1993-2003)

8A



Universidad Nacional
Daniel Alcides Carrion



Jarabe de yacón:
Principios y
procesamiento

Iván Manrique
Adelmo Párraga
Michael Hermann

Conservación y uso de la biodiversidad
de raíces y tubérculos andinos:
Una década de investigación para el
desarrollo (1993-2003)

8A

Jarabe de yacón: Principios y procesamiento

Iván Manrique
Adelmo Párraga
Michael Hermann

Jarabe de Yacón. Principios y Procesamiento

2005 Copyright: Los autores autorizan la reproducción total o parcial de esta publicación, dando el crédito correspondiente a los autores/instituciones e incluyendo la citación correcta de esta publicación.
ISBN: 92-9060-249x Lima, Perú

Editores de la Serie: Michael Hermann, Centro Internacional de la Papa
Oscar A. Hidalgo, Agro Consult International S.A.C.

Edición en Español: Zoraida Portillo

Coordinación: Cecilia Lafosse

Carátula y diagramación: Alfredo Puccini B.

Fotografías: Iván Manrique

Tiraje: 500 ejemplares



Centro Internacional de la Papa (CIP)
Apartado 1558, La Molina
Lima 12, Perú.
Telf. (51-1) 349-6017 • Fax: (51-1) 317- 5326
E-mail: cip@cgjar.org • Portal: www.cipotato.org

Agradecimientos

A la Fundación Erbacher de Alemania, por el financiamiento en la ejecución de la etapa inicial del proyecto.

A la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) y al Gobierno de Japón por su apoyo financiero a la conservación y diversificación de usos de las raíces y tubérculos andinos.

A la Asociación de Productores de Yacón Ecológico y Derivados de Oxapampa (APYEDO), por haber sido partícipe del proceso de aprendizaje e implementación de la tecnología de procesamiento de jarabe de yacón en Oxapampa.

Citación correcta:

Manrique, I.; A. Párraga y M. Hermann. 2005. Jarabe de yacón: Principios y Procesamiento. **Serie:** Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). No. **8A**. Centro Internacional de la Papa, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Fundación Erbacher, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Lima, Perú. 31 p.

Índice

Capítulo I	Introducción	1
Capítulo II	La materia prima	3
	2.1. Generalidades del yacón	3
	2.2. Descripción de las raíces	4
	2.3. Cultivares de yacón	5
	2.4. Composición química	5
	2.4.1. Los fructooligosacáridos (FOS)	5
	2.4.2. Valor nutricional de los FOS	5
	2.4.3. Otros compuestos químicos importantes	6
	2.5. Cuidados durante la cosecha y poscosecha	7
Capítulo III	Principios y fundamentos generales del proceso	9
Capítulo IV	Descripción del proceso	11
	4.1. Selección de la materia prima	11
	4.2. Lavado y desinfección de la materia prima	11
	4.3. Pelado de las raíces	11
	4.4. Extracción del jugo y control del pardeamiento	14
	4.5. Filtración del jugo	15
	4.6. Evaporación y concentración del jugo	16
	4.7. Filtración del prejarabe	18
	4.8. Concentración final	18
	4.9. Filtración del jarabe	18
	4.10. Envasado	18
Capítulo V	El jarabe	19
	5.1. Coeficientes de producción	19
	5.2. Composición química	19
	5.3. Contenido calórico	20
	5.4. Tiempo de vida en anaquel	20
	5.5. Usos, formas de consumo y propiedades	20
	5.6. Dosis de consumo	22
Capítulo VI	Los equipos	23
	6.1. Extractor de jugo	23
	6.2. Filtro prensa	23
	6.3. Tanque dispensador	25
	6.4. Evaporador	25
Capítulo VII	Conclusiones	27
Capítulo VIII	Referencias bibliográficas	29
Apéndice	31

Capítulo I

Introducción

El yacón es una raíz autóctona de la región andina, poco estudiada y subutilizada. Recientemente ha despertado interés debido a que se ha determinado que es la fuente vegetal con mayor contenido de fructooligosacáridos (FOS), un tipo particular de azúcares que tienen reducido contenido calórico –entre 25 a 35 % de calorías de los carbohidratos comunes- y promueven una mejor salud del tracto intestinal.

El jarabe de yacón es un producto novedoso, con alto contenido de FOS (hasta 50%), resultado de la concentración del zumo de las raíces. Sus características físicas y organolépticas son parecidas a la miel de abeja, de maple o de caña de azúcar y puede ser empleado para propósitos parecidos, pero con la ventaja de servir a consumidores preocupados en reducir su ingesta calórica y mejorar la calidad de su alimentación. Inclusive puede ser consumido por diabéticos en dosis controladas ya que los FOS no elevan el nivel de glucosa en la sangre. Pruebas sensoriales y estudios preliminares de mercado han mostrado que el jarabe de yacón tiene un gran potencial de mercado.

El presente manual describe la manera en que se puede producir jarabe de yacón utilizando una tecnología sencilla, que requiere modestas inversiones y puede ser implementada en comunidades rurales remotas. Así, a través de la transformación de productos agrícolas primarios, se promueve la generación y retención del valor agregado en las zonas productoras del yacón. Además, debido a que una buena parte del yacón no satisface los requerimientos de calidad para el consumo fresco y el procesamiento industrial, se hace necesaria la transformación local del excedente que no puede comercializarse.

La tecnología que proponemos depende fundamentalmente de un evaporador, usado comúnmente en la elaboración de miel de maple. Esta

tecnología tiene mas de 100 años de antigüedad, pero su vigencia está ampliamente demostrada por su continuo uso en EEUU y Canadá. El evaporador (y el resto de equipos) puede ser construido localmente. El uso de esta tecnología no está restringido por derechos de propiedad intelectual.

Estamos conscientes de que la tecnología que proponemos podría ser percibida como obsoleta pues hay procesos modernos de concentración desarrollados para concentrados de frutas, que operan a temperaturas muy por debajo de la ebullición y que ayudan a preservar el aroma y la mayoría de compuestos químicos en el producto final. Sin embargo, algunos de estos compuestos químicos transfieren un sabor fuerte y poco agradable al jarabe de yacón, que debe ser enmascarado con la ayuda de aditivos alimentarios especiales. En la tecnología que proponemos, no es necesario el uso de aditivos ya que la cocción del jugo en el evaporador promueve de manera automática una pequeña tasa de caramelización y transfiere al jarabe un sabor agradable que ayuda a enmascarar otros sabores. Además, el proceso de ebullición no interfiere con la calidad del producto en términos de contenido de FOS.

La presente publicación es el producto final de un proyecto colaborativo entre la fundación Erbacher de Alemania, la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), el Centro Internacional de la Papa (CIP) y la Escuela de Agronomía de Oxapampa de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC). El objetivo del proyecto fue desarrollar una tecnología eficiente para elaborar jarabe de yacón e implementar una pequeña planta piloto que permitiera demostrar la factibilidad de hacer la producción en un módulo rural. A fines del año 2000 el producto consiguió el primer lugar en el concurso de innovación tecnológica agroindustrial (ITA 2000). Ello contribuyó grandemente a la difusión de las bondades del jarabe e inspiró a varias

empresas a desarrollar el producto en distintos módulos de producción, algunos más sofisticados y eficientes que otros. En la actualidad, varias de esas empresas comercializan jarabe de yacón dentro del Perú y están en la búsqueda de nuevos mercados fuera del país.

Tres años después de iniciado el proyecto tenemos la satisfacción de poner en el dominio público la presente publicación sobre el procesamiento de jarabe de yacón y su potencial de mercado. El manual describe detalladamente los equipos, las maquinarias, la tecnología y los costos requeridos para implementar una pequeña planta piloto con capacidad para producir diariamente 30 kg de jarabe de yacón. La tecnología puede ser implementada fácilmente en sitios cercanos a las zonas de producción de la materia prima, por lo

que genera mejores oportunidades de ingreso a los productores. Sin embargo, la tecnología también es útil para elaborar un producto semiconcentrado (prejarabe) que pueda ser transportado a una planta de procesamiento más grande, permitiendo un mejor control de calidad para envasar un producto estandarizado.

Con la presente publicación queremos contribuir en la tarea de difundir alternativas eficientes para el procesamiento del yacón y de esta manera superar las limitaciones y restricciones que impone su comercialización en fresco. Esperamos que la información contenida en este manual sea de utilidad para dar impulso a la agroindustria del yacón, en especial en aquellas zonas en las que se produce la materia prima.

Capítulo II

La materia prima

2.1. Generalidades del yacón

Yacón (*Smallanthus sonchifolius*) es el nombre con el que se conoce comúnmente a la planta y a su raíz reservante (Figuras 1 y 2A). A pesar de que el yacón es una raíz originaria de los Andes y es consumida desde la época preincaica, no ha llegado a tener la trascendencia de otros cultivos andinos como la papa o el camote. Su cultivo ha sido relegado por mucho tiempo para la subsistencia de los agricultores pobres, principalmente para el autoconsumo y la comercialización eventual en ferias campesinas rurales. Sin embargo, debido a que recién se comienzan a conocer sus efectos promisorios en la salud, desde hace un par de años el yacón ha llegado a los mercados de las ciudades y han comenzado a desarrollarse actividades comerciales en torno a su cultivo y a su procesamiento.

Taxonómicamente está clasificado dentro de las Asteráceas, una familia a la que pertenece también la achicoria (*Cichorium intybus*), el topinambur (*Helianthus tuberosus*) y la dalia (*Dahlia* sp.). Estas especies acumulan



Figura 1. Plantas de yacón en un campo experimental del Centro Internacional de la Papa (CIP), La Molina, Lima, Perú.



Figura 2. Organos subterráneos de la planta del yacón. **A.** Raíces reservantes y cepa. **B.** Vista cercana de la cepa.

en sus órganos de reserva un tipo de fructano similar a los FOS, pero de mayor grado de polimerización, denominado inulina.

El hábitat natural del yacón es la zona de los Andes comprendida entre los 800 y 2800 m.s.n.m., en latitudes tropicales (0-24° S) y regímenes de temperatura

característicos de climas templados y subtropicales. Sin embargo, debido a su gran capacidad adaptativa y aparente insensibilidad al fotoperiodo, se cultiva también en muchas otras partes del mundo: Brasil, China, Corea, Estados Unidos, Italia, Japón, Nueva Zelanda, República Checa, Rusia y Taiwán. La prolongada duración del cultivo, superior a 180 días, y su susceptibilidad a heladas, que destruyen las partes aéreas de la planta, limitan su distribución latitudinal y altitudinal.

La planta puede alcanzar entre 1.5 a 2.5 metros de altura (Figura 1). Sus hojas por lo general son triangulares o acorazonadas y tienen un tamaño que alcanza fácilmente los 30 cm de longitud. En Japón, Brasil, y recientemente en el Perú, se usan las hojas secas para preparar un tipo de infusión (té de yacón) que es recomendado para controlar el nivel de glucosa en la sangre en personas con diabetes. Sin embargo, este efecto favorable sólo ha sido observado hasta ahora en estudios realizados con animales de laboratorio.

En el Perú, el yacón se puede sembrar durante todo el año, sobre todo en lugares con riego y sin ocurrencia de heladas. Sin embargo, debido a que la mayoría de tierras en las zonas altoandinas son aptas sólo para una agricultura de secano, el inicio de la siembra está fuertemente ligado al inicio de las precipitaciones lluviosas. En las zonas templadas y relativamente lluviosas de la selva alta la siembra se puede iniciar en cualquier época del año.

Aparte de las raíces reservantes, las cuales no sirven para la propagación, el yacón forma un rizoma carnoso y ramificado llamado "cepa" en cuya superficie se desarrolla un abundante número de yemas (Figura 2B). Una cepa madura puede ser dividida entre 10 a 20 partes o propágulos, los cuales se usan tradicionalmente como semilla para sembrar el yacón. Cada propágulo puede contener entre 3 a 5 yemas de las cuales salen los brotes que formarán los tallos principales de la planta. Otras formas de propagación recientemente estudiadas y que tienen éxito son las estacas y los nudos de los tallos (Seminario *et al.* 2003).

La cosecha del yacón se hace entre los 6 y 12 meses después de la siembra. Los factores que mayor incidencia tienen en la duración del periodo de cultivo son la localidad y la altura. Por ejemplo, en el Perú, en la provincia de Oxapampa (1800 m.s.n.m.) la cosecha se hace a los 6 meses, en la provincia de Sandía (2200 m.s.s.m.) es a los 8 meses, mientras que en otras localidades más altas, como Cajamarca (2700 m.s.n.m.) y Huancayo (2800 m.s.n.m.), es a los 10 meses o más.

El rendimiento de yacón por hectárea de cultivo es entre 20 y 40 toneladas. Obviamente, la localidad y el cultivar juegan un rol importante en las variaciones del rendimiento. Sin embargo, con un buen manejo agronómico y el empleo de fertilizantes y semilla de buena calidad se pueden alcanzar rendimientos superiores. En Cajamarca se logran con cierta facilidad rendimientos por encima de las 50 t/ha, mientras que en Sao Paulo, Brasil, se han conseguido rendimientos por encima de las 60 t/ha utilizando fertilizantes minerales.

En la actualidad, el yacón se siembra con fines comerciales en casi todos los departamentos del Perú. Sin embargo, hasta hace cinco años se cultivaba sólo para el autoconsumo o para su comercialización en ferias campesinas rurales. La repentina demanda por el yacón ha ocurrido recientemente debido a que ha ganado popularidad como un alimento que es bueno para la diabetes y para bajar de peso.

2.2. Descripción de las raíces

La forma y el tamaño de la raíz reservante del yacón se parece mucho a ciertos cultivares de camote, a tal punto que la similitud de las dos especies puede generar fácilmente confusiones a primera vista (Figura 2A). La forma varía entre esférico a obovado y muy alargados, a menudo con formas contorsionadas que dificultan mucho el pelado e incrementan el costo del procesamiento. La superficie puede ser lisa, con hendiduras longitudinales y constricciones transversales. Algunos cultivares de yacón tienen tendencia a formar un mayor número de raíces lisas y simétricas que otros.

Las raíces tienen una cáscara bastante delgada y muy adherida a la pulpa. Esta puede tener una tonalidad cremosa, amarilla o anaranjada, a veces con jaspes morados. Los tejidos internos de las raíces son muy blandos debido a que acumulan una cantidad bastante alta de agua (alrededor de 90% del peso fresco de las raíces), característica que las predispone a sufrir rajaduras o a romperse fácilmente durante la cosecha, el embalaje y el transporte.

El peso de la raíz es altamente variable: dentro de una misma planta puede diferir entre 50 y 1000 g, aunque por lo general varía entre 200 y 500 g (Polreich, 2003). Normalmente una planta produce entre 2 y 3 kg de raíces, pero es probable que su rendimiento supere los 5 kg si se aplican prácticas culturales apropiadas, como el uso de fertilizantes, riego adecuado, control de plagas y enfermedades, entre otras. En varios ensayos experimentales se ha conseguido, con cierta frecuencia,

rendimientos superiores a los 10 kg por planta (Amaya 2000).

2.3. Cultivares de yacón

Los agricultores utilizan el color de la raíz y del tallo para clasificar la diversidad del yacón. Así, en el sur del Perú, particularmente en Cusco y Puno, se han identificado cuatro tipos diferentes de yacón: blanco o yurac (pulpa blanca cremosa y cáscara rojiza a morada), amarillo o k'ello (pulpa amarilla a anaranjada y cáscara morada), moteado o ch'ecche (pulpa blanco cremosa con jaspes de color morado) y rosado o puca (pulpa rojiza y cáscara rosada a rojiza). En el norte del país, entre los departamentos de Amazonas, Cajamarca, La Libertad, Lambayeque y Piura, se han encontrado un total de siete cultivares de yacón (Seminario *et al.* 2003), tres de los cuales son los mismos que se distribuyen en la zona sur del Perú.

Aunque existen diferencias en la composición química (Tabla 1), el rendimiento y otras características relevantes, aún no se sabe en qué medida los factores genéticos (inherentes a los cultivares) y el medio ambiente afectan la expresión de estas características. Todo esto complica los intentos de identificación de cultivares. Por esta razón, y aunque no sea el proceso adecuado, resulta más fácil y práctico realizar la identificación de los mismos basándose en el color de las raíces y los tallos.

Tabla 1. Composición química de los principales constituyentes de las raíces del yacón y datos de rendimiento en tres cultivares de yacón de Cajamarca.

Variable	SAL136	AKW5075	ARB5073
Materia seca (g) ¹	136	98	115
Carbohidratos totales (g) ¹	127	89	105
FOS (g) ¹	89	31	61
Glucosa libre (g) ¹	2.8	2.3	4.5
Fructosa libre (g) ¹	4.6	21.1	7.5
Sacarosa libre (g) ¹	12	19	14
Proteínas (g) ¹	3.3	3.5	4.9
Lípidos (mg) ¹	191	289	311
Fibra (g) ¹	3.6	3.5	3.7
Potasio (mg) ¹	2859	1969	1999
Rendimiento raíces (t/ha) ²	23	84	10

¹ Fuente: Hermann *et al.* 1999. Los datos de composición química fueron obtenidos de cultivares de yacón sembrados en las inmediaciones de Quito, Ecuador. Los valores mostrados corresponden a la evaluación de 1 kg de materia fresca comestible.

² Fuente: Melgarejo 1999. Los datos de rendimiento de raíces fueron obtenidos de cultivares de yacón sembrados en Oxapampa, Pasco, Perú.

Si bien la diversidad de cultivares que existen en el yacón ha sido poco estudiada, se sabe que no es tan grande como la diversidad reportada en la papa -más de dos mil variedades- ni en gran parte de otras raíces y tubérculos andinos. Según el Dr. Carlos Arbizu, del Centro Internacional de la Papa (comunicación personal, 2004), es probable que el número de cultivares de yacón no sea superior a veinte.

2.4. Composición química

Entre 85 a 90% del peso fresco de las raíces de yacón se encuentra en forma de agua. A diferencia de la mayoría de raíces comestibles, el yacón no almacena almidón, sino que acumula sus carbohidratos en forma de fructooligosacáridos (FOS) y azúcares libres (fructosa, glucosa y sacarosa). Aunque la proporción de cada azúcar puede variar mucho, se puede considerar la siguiente composición (en base seca): FOS 40 a 70%, sacarosa 5 a 15%, fructosa 5 a 15% y glucosa menos del 5%. Las proteínas y los lípidos se encuentran en pequeñas cantidades, representando de 2.4 a 4.3% y 0.14 a 0.43% del peso de la materia seca, respectivamente (Hermann *et al.* 1999).

El mineral más abundante es el potasio, en promedio 230 mg/100 g de materia fresca comestible. En mucho menor cantidad se encuentran el calcio, fósforo, magnesio, sodio y hierro.

2.4.1. Los fructooligosacáridos (FOS)

Los FOS son azúcares de reserva que existen en varias especies de plantas, pero es en el yacón donde se encuentran en mayores cantidades. La característica principal en su estructura química es que están constituidos por una molécula de glucosa ligada a un número variable -entre 2 a 10- de moléculas de fructosa (Figura 3A). Los enlaces que mantienen unidas las moléculas de fructosa resisten la hidrólisis de las enzimas digestivas humanas y por ello los FOS alcanzan el colon, última porción del intestino grueso, sin sufrir ninguna modificación química. Esta es la razón por la que los FOS tienen una baja contribución calórica en el organismo humano (25 a 35% de las calorías que poseen la mayoría de carbohidratos).

2.4.2. Valor nutricional de los FOS

En el colon, los FOS del yacón son completamente fermentados por los probióticos (Pedreschi *et al.* 2003), un grupo de bacterias benéficas que forman parte de la microflora intestinal. Estas bacterias (en particular algunas especies de los géneros *Bifidus* y *Lactobacillus*)

contribuyen a mejorar la función gastrointestinal y aliviar diferentes desórdenes digestivos. Además, los FOS son reconocidos como un tipo de fibras solubles que generan varios efectos favorables en la digestión: aumentan el peristaltismo, reducen el tiempo del tránsito intestinal, contribuyen a que el bolo alimenticio retenga más agua y tienen un efecto osmótico asociado a una respuesta laxante. Estos efectos pueden contribuir a prevenir y controlar el estreñimiento (Chen *et al.* 2000).

La fermentación de los FOS en el colon ha sido asociada a otros efectos favorables en la salud: fortalecimiento de la respuesta inmune, mejora en la asimilación de calcio, reducción en el nivel de colesterol y triglicéridos e inhibición de la producción de toxinas y sustancias pro cancerígenas en el colon. Sin embargo, estos efectos han sido observados mayoritariamente en animales de laboratorio, por lo que es necesario conducir estudios clínicos en humanos para determinar su verdadero efecto en la salud (Figura 3B).

Varios estudios han demostrado que el consumo de FOS no eleva el nivel de glucosa en la sangre (Alles *et al.* 1999; Luo *et al.* 2000). Por esta razón varias empresas recomiendan su inclusión en la dieta de los diabéticos como sustituto del azúcar de mesa.

2.4.3. Otros compuestos químicos importantes

En comparación a otras raíces y tubérculos, las raíces del yacón tienen una alta cantidad de polifenoles, alrededor de 200 mg/100 g de materia fresca comestible. Los polifenoles más abundantes son el ácido clorogénico y al menos cuatro fenoles solubles derivados del ácido cafeico. Otros compuestos reportados con actividad antioxidante son el triptófano, la quercetina, el ácido ferúlico y el ácido gálico (Takenaka *et al.* 2003; Jirovský *et al.* 2003; Valentová & Ulrichová 2003; Yan *et al.* 1999). Aunque la concentración de polifenoles en las raíces es alta, su concentración es mucho mayor en otros órganos de la planta, como las hojas y la cepa.

Los polifenoles son compuestos químicos que tienen actividad antioxidante, es decir tienen la capacidad de neutralizar la actividad oxidante de moléculas inestables –conocidas como radicales libres– que ingresan a nuestro cuerpo como contaminantes externos (humo de cigarro, contaminación atmosférica, pesticidas, ciertas grasas que ingerimos en nuestra dieta, etc). Los radicales

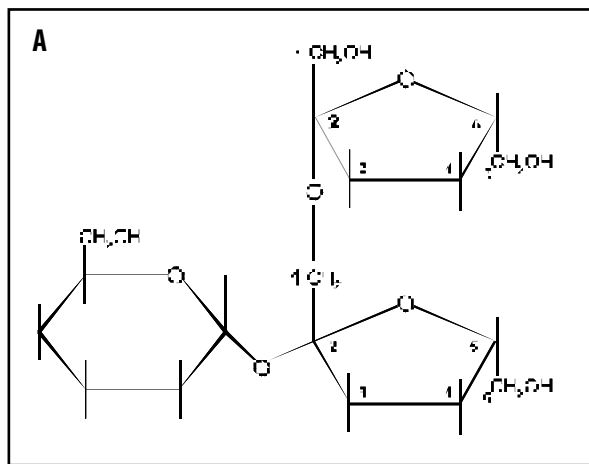
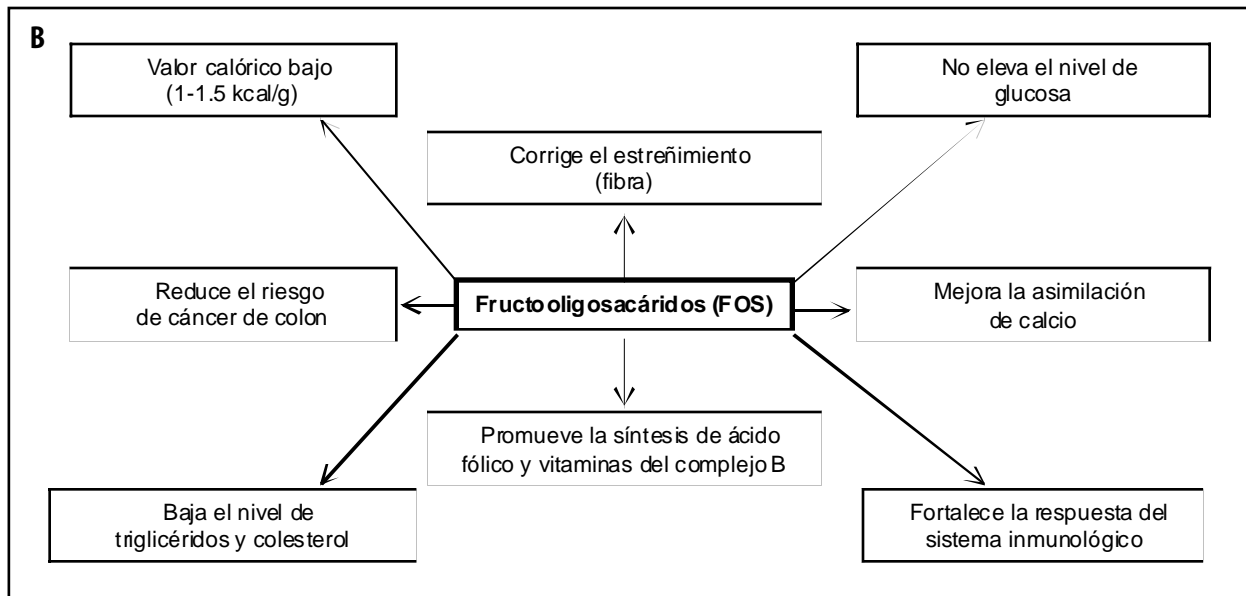


Figura 3. Los fructooligosacáridos (FOS). **A.** Estructura química de 1-kestose, el FOS más sencillo que existe (tiene sólo 2 moléculas de fructosa). La estructura química del resto de FOS es similar a 1-kestose, sólo varía en el número de moléculas de fructosa que pueden llegar a polimerizar (hasta 10 unidades). **B.** Algunos efectos sobre la salud asociados al consumo de FOS.



libres dañan las membranas de nuestras células, llegando a destruir y mutar su información genética, facilitando así el camino para que se desarrollen diversos tipos de enfermedades, como el cáncer y algunas enfermedades degenerativas. Su acción está ligada también al daño causado en las arterias por la oxidación del colesterol LDL o colesterol bueno, lo que aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares.

Algunos estudios han demostrado que la infusión de hojas de yacón ayuda a reducir el nivel de glucosa en la sangre en ratas normales y diabéticas (Aybar *et al.* 2001). Sin embargo, se desconoce el componente químico responsable de este efecto y si éste se encuentra también en las raíces. Aunque el sentido común indica que los FOS podrían tener alguna relación con este efecto, es poco probable que sea así ya que su concentración en las hojas es demasiado baja.

2.5. Cuidados durante la cosecha y poscosecha

En comparación a otras raíces, el yacón es excepcionalmente susceptible al daño físico, sobre todo durante la cosecha y el transporte. Las raíces reservantes están unidas a la cepa por un cuello delgado y fibroso que a veces resulta difícil de romper. Durante la cosecha tradicional se jalan fuertemente las raíces con el fin de separarlas de la cepa. El problema es que al romper el cuello se produce, por lo general, una herida en la raíz y con ello un probable foco de contaminación

microbiológico. Es preferible usar un cuchillo u otra herramienta para hacer un corte limpio en el cuello sin afectar la integridad de las raíces.

Las raíces sufren muchos golpes durante la cosecha o se maltratan fácilmente cuando soportan pesos excesivos durante el embalaje y el transporte. Se debe evitar en todo momento golpear las raíces y apilar mucho peso en los contenedores ya que las raíces son bastante susceptibles a sufrir rajaduras y a romperse fácilmente por este tipo de manipulación. La tierra adherida a la superficie de las raíces recién cosechadas puede otorgar protección frente al rozamiento y a la deshidratación durante el transporte. Por este motivo, es recomendable evitar el lavado del yacón antes del transporte.

Diferentes estudios han demostrado que luego de la cosecha las raíces empiezan un rápido proceso de cambio en la composición química de sus azúcares: los FOS son hidrolizados en azúcares simples por la acción de una enzima llamada fructano hidrolasa, que los convierte en fructosa, sacarosa y glucosa. Después de una semana en almacenamiento a temperatura ambiente, alrededor del 30 a 40% de los FOS se habrán transformado en azúcares simples (Graefe *et al.* 2004). Sin embargo, la velocidad de esta conversión es más lenta si se almacena el yacón a temperaturas de refrigeración (Asami *et al.* 1991). Las temperaturas de refrigeración son útiles también para reducir la tasa de pudrición y deterioro de las raíces durante el almacenamiento.

Tabla 2. Efecto del soleado^(*) sobre la composición relativa de las raíces de yacón. Los datos mostrados (%) corresponden al promedio de tres cultivares peruanos de yacón.

	Datos de cosecha	Días de soleado		
		2	4	6
Raíces	100	75.2	66.7	61.7
Agua	87.3	60.8	52.2	47.6
Materia seca	12.7	14.7	14.4	14.0
Azúcares totales	11.0	12.7	12.5	12.0
Fructooligosacáridos	7.0	7.1	6.0	5.4
Fructosa	1.6	2.5	2.9	3.5
Glucosa	0.3	0.5	0.5	0.7
Sacarosa	2.1	2.6	3.0	2.4

Fuente: Graefe *et al.* 2004.

^(*)El soleado es una costumbre tradicional que consiste en exponer las raíces al sol por unos pocos días con la finalidad de que se hagan más dulces para el consumo.

Las raíces pueden llegar a perder alrededor del 40% de su peso en tan sólo una semana, únicamente por efecto de la deshidratación al medio ambiente (Tabla 2). Esto podría representar un ahorro de 40% en la energía que

se requiere invertir para evaporar el agua contenida en el jugo extraído de las raíces. Sin embargo, también durante ese mismo lapso una cantidad importante de FOS se habrá convertido en azúcares simples.

Capítulo III

Principios y fundamentos generales del proceso

El fundamento para la elaboración del jarabe es sencillo: consiste en extraer el jugo de las raíces y elevar la concentración de azúcares de las mismas hasta alcanzar un valor de 73° Brix en el producto terminado. Dado que la concentración de azúcares en las raíces de yacón es por lo general entre 8 y 12° Brix, se requiere evaporar bastante agua (de 5 a 8 litros de agua/kg de jarabe) para alcanzar la concentración final de azúcares que requiere el jarabe. La figura 4 tiene resumida la secuencia de eventos requeridos para elaborar el jarabe de yacón.

El lavado y la desinfección tienen como objetivo disminuir la carga microbiana de la materia prima que va a ingresar a la línea de procesamiento. El lavado consiste en eliminar, con la ayuda de abundante agua, la mayor cantidad de tierra y materia orgánica adherida a la superficie de las raíces. Realizar un buen lavado es muy importante ya que estos residuos disminuyen la capacidad de esterilización del agente desinfectante.

Las raíces lavadas y desinfectadas podrían ingresar directamente a la línea de procesamiento. Sin embargo, la cáscara tiene componentes especiales que afectan negativamente la calidad del jarabe. En los tejidos de la cáscara se concentra la mayor cantidad de los componentes responsables del pardeamiento del jugo; además, existen resinas y sustancias que transfieren un sabor poco agradable y ligeramente picante al producto final. Por ello, un pelado exhaustivo es esencial para obtener un producto de buena calidad.

Durante las operaciones de corte y pelado de los tejidos vegetales se provoca la descompartimentación celular, lo que permite la entrada en contacto de enzimas (polifenoloxidasas) de localización citoplasmática con substratos (fenoles) de localización vacuolar. La polifenoloxidasa (PPO) cataliza la oxidación de fenoles a quinonas en un proceso conocido como oxidación enzimática. En la siguiente fase, las quinonas formadas -

que son moléculas muy reactivas- se combinan con grupos amino o sulfhidrilo de las proteínas y con azúcares reductores, dando lugar a polímeros de alto peso molecular y con diversas coloraciones. Estos compuestos son denominados melaninas y son los responsables de transferir coloraciones oscuras a los alimentos después del pardeamiento.

En el yacón, el pardeamiento se activa a los pocos segundos de haber triturado las raíces para obtener el jugo. El color original del jugo de yacón (parecido al color anaranjado del jugo de melón) cambia rápidamente -en sólo 10 a 15 segundos-, y de modo irreversible, a un color verde muy oscuro (verde petróleo). La mejor manera de evitar que el jarabe tenga un color muy oscuro al final del proceso es evitando que las reacciones de pardeamiento enzimático ocurran o que éstas se desarrollen muy lentamente. Una forma de lograr ello es extrayendo el jugo del modo más rápido que sea posible e inmediatamente usar un tipo de agente -normalmente un antioxidante- para prevenir la oxidación y el pardeamiento del jugo.

El objetivo de la filtración es eliminar la mayor cantidad de residuos sólidos insolubles en el producto final. Estos residuos tienden a sedimentarse en el producto envasado y dan una apariencia turbia y opaca al jarabe. Existen dos momentos cruciales en la filtración durante el proceso de elaboración del jarabe:

1. Filtración del jugo crudo: la finalidad es eliminar todas las partículas pequeñas de bagazo que se filtraron por el extractor de jugo.
2. Filtración del prejarabe y del jarabe: a medida que el jugo pierde agua y se concentra en el evaporador, los azúcares comienzan a perder solubilidad y se cristalizan, convirtiéndose en elementos insolubles que deben ser eliminados por filtración.

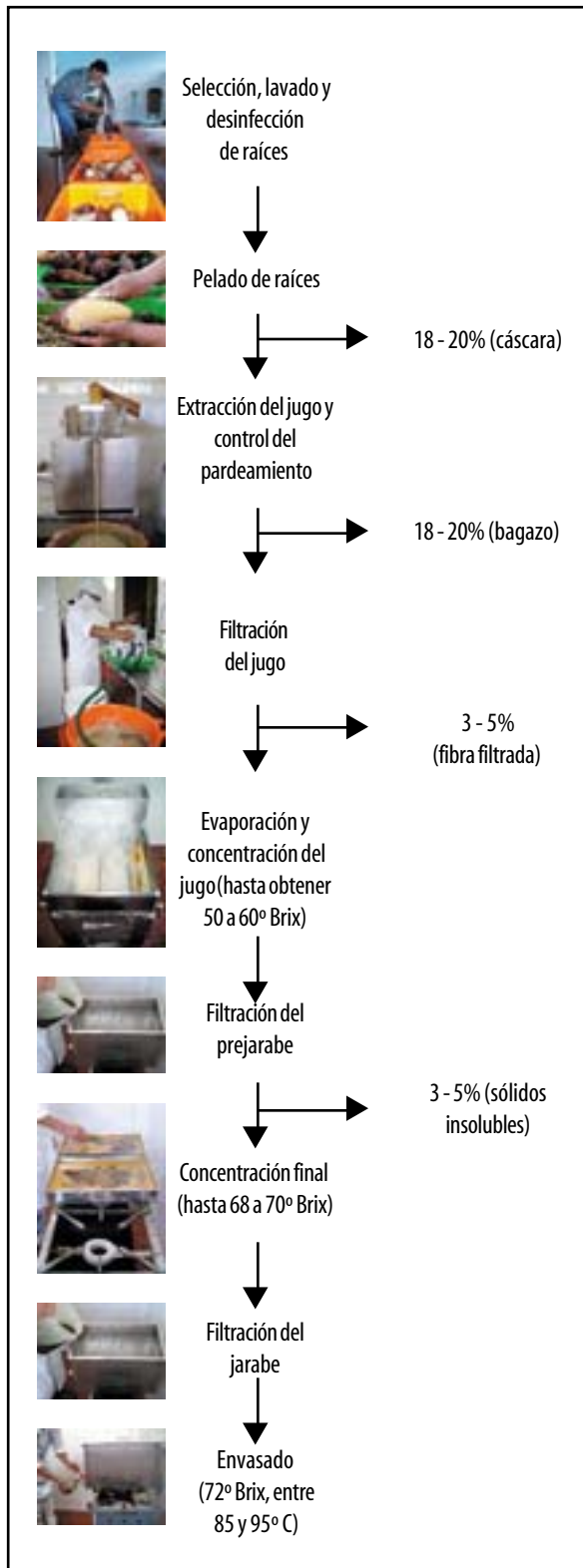


Figura 4. Flujograma de operaciones para la elaboración de jarabe de yacón.

El presente manual propone el uso de un evaporador especial –empleado tradicionalmente para hacer jarabe de maple– que permite realizar la concentración de azúcares de un modo continuo, reduciendo así el tiempo de exposición del jugo a temperaturas de ebullición en comparación a procesos tradicionales por lote o batch. De esta manera se evita que al acercarse a la concentración de azúcares deseada, el jarabe se recocine y adquiera sabor a quemado (consecuencia característica de un exceso de caramelización de los azúcares).

La ebullición es un proceso que asegura la degradación parcial de ciertos componentes presentes en el jugo de yacón, los cuales otorgan un sabor característico y no muy agradable, al producto final. Por otro lado, la ebullición promueve una pequeña tasa de caramelización de los azúcares lo que ayuda a enmascarar el sabor de las sustancias poco agradables que están presentes en el jarabe. Así, la ebullición del jugo ayuda a transferir al producto final un sabor agradable, diferente al sabor del jarabe obtenido en equipos muy sofisticados que usan temperaturas muy por debajo del punto de ebullición –como el concentrador al vacío– y que son incapaces de lograr este efecto sin el uso de aditivos especiales.

En cuanto a contenido de FOS, la calidad del jarabe de yacón obtenido por un proceso de ebullición no es inferior a la calidad de otros jarabes obtenidos en equipos más modernos ya que la ebullición del jugo no tiene efecto en la estructura química de los FOS. Los FOS son azúcares que comienzan a despolimerizarse (proceso de conversión en azúcares simples) a temperaturas superiores a 120° C (L'homme *et al.* 2003).

Capítulo IV

Descripción del proceso

4.1. Selección de la materia prima

Lamentablemente, los análisis de laboratorio para determinar el contenido de FOS son laboriosos y costosos. Por este motivo, los autores han desarrollado un método de estimación indirecto a través de la medición del índice de refracción del jugo de yacón. Este método, que es rápido, sencillo y económico, permite seleccionar entre varios cultivares o lotes de yacón, aquellos que tienen un mayor contenido de FOS.

Los refractómetros, equipos que miden el índice de refracción, tienen por lo general escalas graduadas en otras magnitudes (una de ellas es la escala de grados Brix), diseñadas para expresar la concentración de azúcares totales en los zumos de frutas. En el caso del yacón, los FOS representan el mayor componente de los azúcares en el jugo. Entonces, dado que existe una correlación alta ($r > 0.8$) entre el valor de los grados Brix y el contenido de FOS (Hermann *et al.* 1999), se puede asegurar con bastante certeza que la medición de los grados Brix es útil para comparar el contenido relativo de FOS de dos o más lotes de yacón. La importancia de este método radica en su simplicidad, rapidez y bajo costo ya que puede realizarse fácilmente con el uso de un refractómetro portátil, el cual es poco costoso y fácil de manejar. Los detalles de la metodología se pueden ver en la figura 5.

Para lograr una selección más efectiva de la materia prima se puede complementar la prueba anterior con una degustación de las raíces. En términos generales, los azúcares simples del yacón (glucosa, fructosa y sacarosa) tienen un poder edulcorante 4 veces superior a los FOS. Esto significa que cuanto menos dulces son las raíces, existe una mayor probabilidad de que tengan un contenido más alto de FOS. Así, el procedimiento que debería aplicarse para la selección de un lote con alto contenido de FOS es el siguiente: seleccionar

aquellos lotes en los que las muestras tienen un alto valor de grados Brix y luego, entre estos lotes, seleccionar aquellos en los que las muestras tienen un sabor menos dulce.

4.2. Lavado y desinfección de la materia prima

El lavado se hace con abundante agua, frotando las raíces unas con otras y empleando un abrasivo suave (cepillo o escobilla) que facilite la remoción de la tierra adherida a la superficie de las raíces. Después del lavado, las raíces se sumergen durante cinco minutos en una solución desinfectante de 200 ppm de hipoclorito de sodio con el objetivo de disminuir la carga microbiana que permanece adherida a la superficie de las mismas. El hipoclorito de sodio es uno de los desinfectantes más efectivos, económicos y fáciles de usar. Una solución de 200 ppm de hipoclorito de sodio se puede preparar diluyendo 4 ml de lejía comercial por cada litro de agua (la mayoría de lejías comerciales contienen alrededor de 5% de hipoclorito de sodio).

4.3. Pelado de las raíces

El pelado de las raíces se hace manualmente utilizando un pelador doméstico de papas (Figuras 6A y 6B). A medida que se pelan las raíces, es recomendable sumergirlas en un recipiente conteniendo agua potable con el fin de retardar el pardeamiento (Figuras 6C y 6D). Con este sistema, una persona puede pelar entre 20 y 25 kg de raíces de yacón en una hora. Hay una pérdida de alrededor del 20% del peso inicial de las raíces.

La concentración de azúcares se incrementa desde el interior de la raíz hacia la superficie (Figura 7). Por ello, se debe tener cuidado en retirar la cáscara con el menor

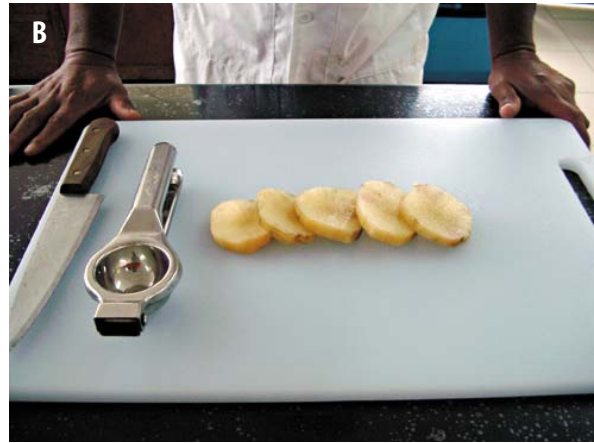


Figura 5. Método rápido y sencillo para estimar el contenido de azúcares en un lote de raíces de yacón. **A.** Seleccionar aleatoriamente un número mínimo de cinco raíces de yacón y pelarlas. **B.** Cortar una rodaja central de 1 cm de espesor de cada una de las raíces seleccionadas. **C.** Dividir en varios fragmentos cada una de las rodajas obtenidas anteriormente. **D.** Sacar el jugo de las rodajas cortadas con la ayuda de un exprimidor de limones. **E.** Colocar un par de gotas del jugo extraído sobre el prisma de un refractómetro portátil. **F.** Realizar la lectura. El valor medido (en °Brix) es un estimador del porcentaje de azúcares totales del jugo y tiene una correlación alta con el contenido de FOS.



Figura 6. El pelado. **A.** Diferentes modelos de peladores domésticos que pueden usarse para pelar las raíces de yacón. **B.** Detalles de un modelo sencillo y ergonómico. **C.** Dos mujeres en plena faena de pelado en la planta de procesamiento de APYEDO (Asociación de Productores de Yacón y Derivados de Oxapampa), Pasco, Perú. **D.** Inmediatamente después de terminado el pelado, las raíces son sumergidas en agua con el fin de prevenir su pardeamiento.

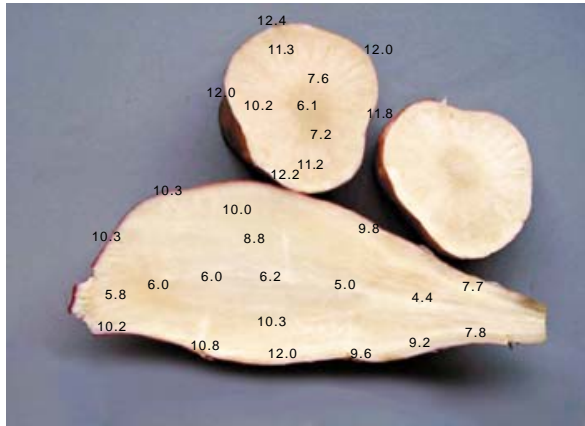


Figura 7. Distribución de los azúcares (° Brix) dentro de las raíces del yacón. Obsérvese que existe un gradiente de concentración creciente desde la parte interna hacia la externa.

contenido de pulpa posible ya que la mayor concentración de azúcares se localiza en las zonas periféricas de la raíz. Por otro lado, la cáscara es la parte de la raíz en la que se concentra la mayor cantidad de los compuestos responsables del pardeamiento, de manera que se debe asegurar el retiro de toda la cáscara de las raíces durante el pelado.

En ensayos preliminares realizados en el Centro Internacional de la Papa (CIP) se pudo constatar que la cáscara se desprende fácilmente de las raíces después que éstas son sometidas por breves periodos de tiempo a presión y temperatura elevadas en una olla doméstica de presión. El desprendimiento de la cáscara es limpio, es decir sin restos de pulpa adheridos a la cáscara, por lo que existe un ahorro de materia prima significativo en comparación al pelado convencional. Sin embargo, se recomienda realizar un análisis de costos y beneficios antes de invertir en una autoclave industrial. Un beneficio adicional del uso de la autoclave es que también podría ayudar a desactivar las enzimas responsables del pardeamiento enzimático.

Algunos cultivares no pueden pelarse usando vapor a presión debido a que la cáscara está muy adherida a la pulpa. Para este tipo de material, el CIP ha concebido el diseño de una máquina especial (Butler & Rivera, 2004), que consiste de un cilindro recubierto internamente por cepillos de cerdas de nylon duras y resistentes. Este cilindro gira sobre su eje central y por fricción mecánica contra los cepillos, las raíces se pelan lentamente. La máquina es capaz de remover únicamente la capa externa y resinosa de la cáscara, pero no la capa más interna, la cual contiene una serie de compuestos de sabor poco agradable. Para eliminar el sabor de estos compuestos químicos en el producto final, se puede emplear cualquiera de las siguientes dos estrategias:

1) Procesar las raíces empleando aditivos especiales con el fin de enmascarar el sabor desagradable en el producto final. Excelentes aditivos son el ácido ascórbico y la pulpa de camu camu (*Myrciaria dubia*), un fruto que crece en la Amazonía y que es reconocido como la fuente natural más rica en ácido ascórbico. La ventaja de este método es que las pérdidas en materia prima durante el pelado apenas sobrepasan el 1%.

2) Eliminar la capa interna de la cáscara mediante pelado químico. Las raíces se sumergen por 20 segundos en una solución de soda cáustica al 3% y en estado de ebullición, luego se lavan con abundante agua y finalmente se sumergen en otra solución de ácido cítrico al 2% para neutralizar el efecto de la soda. Si bien el método de pelado es efectivo, queda aún por evaluar en el futuro si algunos residuos de soda cáustica en niveles potencialmente tóxicos son capaces de llegar hasta el producto final.

4.4. Extracción del jugo y control del pardeamiento

Para la extracción del jugo de yacón hemos propuesto un extractor basado en el diseño de modelos domésticos que habitualmente se usan para hacer jugo de zanahoria, pero de mayores dimensiones. Este extractor contiene un disco abrasivo rotante que tritura la raíz y permite una separación inmediata del jugo y del bagazo (ver capítulo 6.1). Un taller especializado puede construir el extractor sin mayores problemas, pero la construcción puede requerir ciertos ajustes para asegurar que el bagazo expulsado contenga el menor nivel de humedad posible. En esta etapa se pierde alrededor del 20% del peso de las raíces peladas en forma de bagazo. La merma es grande debido a que el bagazo es eliminado con un contenido de humedad muy alto (más del 80% del peso del bagazo está en forma de jugo).

La ventaja del extractor abrasivo que proponemos es que produce al instante un jugo claro que puede ser tratado de manera inmediata para evitar el pardeamiento, a diferencia de otros métodos como el pulpeado y el prensado, donde bagazo y jugo están reunidos por mucho tiempo y resultan en un pardeamiento muy intenso e irreversible.

Para evitar el pardeamiento hay dos opciones:

La primera consiste en aplicar un tratamiento térmico al jugo que recién se extrae. Para ello se usa un recipiente grande en el que se recibe el jugo que sale del extractor.

La temperatura dentro del recipiente debe ser permanentemente superior a 60°C con el fin de desactivar las enzimas polifenoloxidasas (la mayoría de enzimas pierden irreversiblemente su actividad a partir de esta temperatura). De este modo, a medida que el jugo sale del extractor y cae en el recipiente, se desactivan las enzimas responsables del pardeamiento.

La otra opción consiste en recibir el jugo en un recipiente con una solución antioxidante (Figura 8A). De esta manera, el jugo extraído entra inmediatamente en contacto con el antioxidante e impide que puedan ocurrir las reacciones de oxidación. Para que el antioxidante pueda ejercer su efecto, debe ser empleado antes que ocurra el pardeamiento del jugo debido a que este proceso es raramente reversible. En ensayos preliminares realizados por los autores se pudo determinar que el uso de 4 ml de zumo de limón (*Citrus aurantifolia* var. Sutil) por cada litro de zumo de yacón puede controlar el pardeamiento de la mayoría de cultivares de yacón. Sin embargo mejores resultados se han obtenido cuando se emplea ácido ascórbico (0.15 g por cada kg de raíces de yacón).

Para reforzar el efecto antioxidante a menudo se emplea el ácido ascórbico en combinación con el ácido cítrico. Un efecto colateral del ácido cítrico es que incrementa fácilmente la acidez del producto procesado. Esta característica se aprovecha para inhibir el desarrollo de ciertos microorganismos en el producto envasado. Sin embargo, para el caso específico del yacón, su uso podría resultar contraproducente ya que la velocidad de conversión de los FOS en azúcares libres se incrementa mucho en medios acidificados. Por ejemplo a pH=4, alrededor del 25% de los FOS se habrá convertido en azúcares simples después de 6 meses en almacenamiento, mientras que a pH=3 la despolimerización será de 45%. Por lo tanto, se debe tener la precaución de usar dosis de ácido cítrico que no bajen el pH del jarabe a menos de 4.

4.5. Filtración del jugo

El jugo de yacón que se obtiene del extractor contiene pequeños residuos de bagazo que deben ser eliminados por filtración antes que el jugo ingrese al evaporador. Si el jugo no es filtrado en este momento, entonces la filtración del jarabe será un proceso muy laborioso y lento de realizar. El proceso de filtración consiste en forzar el paso del jugo a través de una membrana porosa con el fin de retener las partículas de bagazo para luego eliminarlas. La mejor manera de filtrar el jugo de manera eficiente y rápida es usando un filtro prensa (Figura 8B).



Figura 8. Extracción y filtración del jugo de yacón. **A.** A medida que el jugo es extraído, éste entra en contacto con una solución de zumo de limón con el fin de ayudar a prevenir el pardeamiento. **B.** El jugo extraído es filtrado inmediatamente en un filtro prensa.

Una alternativa simple y económica al filtro prensa es el uso de mallas muy finas que permitan realizar un proceso simple de filtración por gravedad. Son mejores las mallas construidas con material de acero inoxidable ya que tienen un periodo de vida más extenso y garantizan el cumplimiento de las normas de higiene en el procesamiento. El tamaño de poro de las mallas no debe ser mayor a 100 μm de diámetro.

4.6. Evaporación y concentración del jugo

La función del evaporador de maple es eliminar agua y elevar la concentración de sólidos solubles del jugo (azúcar principalmente) hasta un valor que sea lo más cercano posible a 70° Brix. En la práctica esto es muy difícil de lograr en el evaporador, de manera que alcanzar un valor de 50 a 60° Brix (=obtención del prejarabe) se puede considerar satisfactorio.

El éxito para producir jarabe de buena calidad (sin sabor a azúcar quemado) depende en gran medida de que el proceso de evaporación sea continuo. Para lograrlo, se debe mantener un gradiente de concentraciones del jugo durante todo el proceso de evaporación (Figura 9). Este proceso debe ser manejado de manera muy coordinada entre las tres partes de las que consta el evaporador de maple: el tanque de recepción, la bandeja de evaporación y el horno. A continuación se detallan estos procesos y su importancia.

Tanque de recepción

Es un recipiente en el que se almacena temporalmente el jugo de yacón filtrado y que sirve para alimentar de jugo a la bandeja de evaporación. En el tanque de recepción existe una llave que permite regular la cantidad de jugo que debe caer a la bandeja de evaporación (Figura 9A). El control y la regulación de esta llave son cruciales para establecer y mantener el gradiente de concentración del jugo. Al inicio del proceso la llave debe regularse de manera que el volumen de jugo que sale del tanque sea igual al volumen de agua que se evapora en la bandeja de evaporación, esto debe permanecer así hasta lograr establecer el gradiente de concentración del jugo en la bandeja de evaporación (Figura 9B). Un indicador de que se está realizando bien este proceso es verificando que la altura que alcanza el jugo de yacón en la bandeja de evaporación sea siempre la misma (alrededor de 3cm).

Bandeja de evaporación

Como su nombre lo indica, la bandeja de evaporación es el recipiente en el que se evapora el agua del jugo.

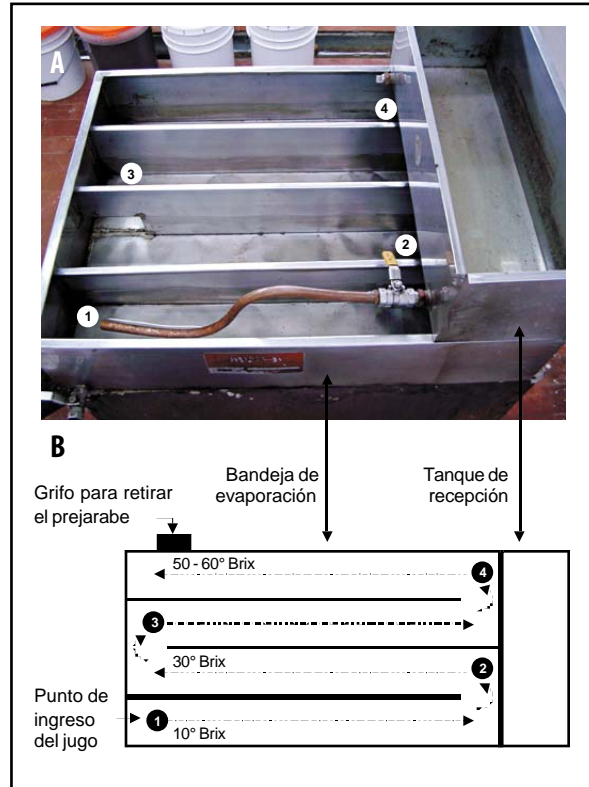


Figura 9. Diseño del evaporador. **A.** La bandeja de evaporación está dividida por varios canales internos los cuales ayudan a incrementar la eficiencia de evaporación. El tanque de recepción tiene un grifo adaptado para regular el volumen de ingreso de jugo en la bandeja de evaporación. **B.** El jugo de yacón ingresa al evaporador, por lo general con 8 a 12° Brix (dependiendo del índice refractométrico de las raíces) y, después de hacer su recorrido hasta el extremo opuesto del evaporador, su concentración puede elevarse hasta 50 a 60° Brix.

Esta bandeja tiene en su interior una serie de divisiones que crean compartimentos (a manera de canales) por donde el jugo de yacón hace un recorrido lento desde un extremo de la bandeja al extremo opuesto, impulsado por el jugo que ingresa al evaporador desde el tanque de recepción (Figura 9). El jugo que ingresa al evaporador compensa el volumen de agua evaporada (Figura 10A) y mantiene un mismo nivel en la bandeja (necesario para evitar que el jugo se quemé y se arruine el producto final). Así, después de un periodo de tiempo se habrá generado un gradiente de concentraciones del jugo en el evaporador, el cual irá desde 10° Brix (valor promedio con el que el jugo de yacón ingresa a la bandeja de evaporación) a un valor de 50 a 60° Brix (valor máximo que alcanza el jugo después que ha hecho su recorrido hasta el extremo opuesto en la bandeja de evaporación).

Una vez que se ha conseguido este gradiente de concentración, se abre una llave de la bandeja de evaporación, lo que permite dispensar una porción del



Figura 10. Diferentes etapas del procesamiento. **A.** Evaporación del jugo de yacón. **B.** Obtención del prejarabe (50 a 60° Brix). **C.** Alimentación del horno con bloques de leña. **D.** Filtración. **E.** Concentración del prejarabe en bandejas pequeñas hasta llegar a los 68 a 70° Brix. **F.** Concentración final del jarabe (72 a 74° Brix) y envasado.

prejarabe (Figura 10B). En ese mismo instante se debe abrir más la llave que regula la entrada de jugo de yacón a la bandeja de evaporación con el fin de compensar el volumen de prejarabe que se dispensa. Esta operación se repite a intervalos regulares, cuidando que no sean

tan frecuentes o tan espaciados para evitar que el gradiente de concentración se pierda o que el jarabe comience a recocinarse. La medición del índice refractométrico ayuda a determinar el momento adecuado para dispensar el prejarabe.

Horno

Dependiendo de la zona en la que se ubique la planta de procesamiento (rural o urbana) y del acceso a diferentes fuentes de combustible, se puede diseñar el horno para que funcione con leña (Figura 10C), petróleo o gas propano. Cuando se trabaja con gas propano o petróleo se logra una distribución uniforme y pareja del calor dentro del horno, lo cual facilita un correcto proceso de evaporación del jugo. Si se usa leña como combustible se debe tener en cuenta una serie de medidas con el fin de mantener una distribución uniforme de la temperatura.

Es preferible usar maderas duras ya que son las que mayor cantidad de energía liberan durante la combustión. En la sierra abundan dos especies de eucalipto (*Eucalyptus globulus* y *E. tereticornis*) que son de excelente calidad para uso como leña. En la selva se puede utilizar la madera de paca, particularmente *Inga edulis*, especie que abunda en la Amazonía y es utilizada comúnmente para obtener leña. Cualquiera sea el tipo de leña que se use, debe asegurarse siempre que se encuentre bien seca.

Los trozos de leña que se usan no deben ser muy grandes y su distribución dentro del horno debe ser pareja. Estas medidas deben ser adoptadas obligatoriamente para conseguir una combustión similar y uniforme dentro del horno. Este punto crítico debe ser cuidadosamente controlado porque es uno de los motivos por los que el gradiente de concentraciones del jugo se pierde fácilmente. Conforme la leña se consume, se debe tomar la precaución de poner más dentro del horno, cuidando que no disminuya la intensidad del fuego.

4.7. Filtración del prejarabe

A medida que el jugo se concentra en el evaporador se produce abundante espuma y algunos azúcares empiezan a cristalizarse. El momento apropiado para filtrar estas partículas es cuando el jugo concentrado sale del evaporador, es decir, cuando se ha formado el prejarabe. La filtración se puede hacer usando el filtro prensa pero también se pueden emplear mallas delgadas de menos de 100 μm de diámetro de poro para hacer una filtración por gravedad (Figura 10D).

4.8. Concentración final

El prejarabe (50 a 60° Brix) se termina de concentrar en jarabe (72 a 73° Brix) fuera del evaporador, en bandejas muy sencillas y de un tamaño mucho más pequeño que el evaporador (Figura 10E). La idea de completar el proceso de concentración de azúcares en muchas bandejas de pequeño tamaño es que se reduzca el tiempo de exposición del prejarabe a temperaturas altas y evitar que los azúcares se caramelicen demasiado. El proceso es bastante sencillo: consiste en verter el prejarabe en las bandejas y colocar éstas en una fuente de calor (pueden ser hornillas que funcionan con gas propano) hasta que el prejarabe llegue a los 68 a 70° Brix.

4.9. Filtración del jarabe

Antes de envasar el jarabe se debe realizar un último filtrado con el objetivo de eliminar los azúcares que cristalizaron durante la etapa de la concentración final. Es importante que el jarabe tenga menos de 70° Brix durante la filtración, ya que durante este proceso el jarabe seguirá evaporando agua y la concentración de azúcares podría subir 1 ó 2 grados Brix. La filtración se hace por gravedad utilizando las mallas de acero inoxidable de 60 μm de diámetro de poro (Figura 10D).

4.10. Envasado

El envasado es un proceso sencillo en el que se usa un tanque dispensador de acero inoxidable (Figura 10F). Este tanque tiene incorporado un pequeño grifo (caño) que permite dispensar el jarabe en los frascos. En el momento del envasado se debe asegurar que la temperatura del jarabe dentro del tanque sea superior a 85° C y que la concentración de azúcares sea 72° Brix. Estas simples medidas ayudarán a prevenir el desarrollo de microorganismos en el producto envasado.

En la parte superior del tanque dispensador se puede colocar, o retirar, fácilmente la malla de 100 μm de diámetro de poro. Así, el dispensador se puede usar para que cumpla una doble función: realizar el último filtrado antes del envasado (cuando el jarabe tiene 68 a 70° Brix) y dispensar el jarabe en los frascos (Figuras 10B y 10F).

Capítulo V

El jarabe

El jarabe de yacón tiene un sabor muy particular y aunque es un producto dulce y bastante agradable, resulta difícil hacer una comparación de sabor con otro producto de características similares. Los resultados preliminares de los paneles de degustación realizados con amas de casa demuestran que la aceptación del jarabe es muy alta. El jarabe de yacón que se presenta en este manual se puede caracterizar de la siguiente manera:

- Concentración de sólidos solubles, igual a $73 \pm 1^\circ$ Brix.
- Densidad, igual a 1.350 g/ml.
- pH, entre 4.2 y 5.8. Se debe evitar que descienda por debajo de 4 para impedir que los FOS se conviertan en azúcares simples durante el almacenamiento del jarabe de yacón.

5.1. Coeficientes de producción

La eficiencia de conversión de raíces a jarabe varía generalmente entre 7 y 10%, es decir que para obtener 1 kg de jarabe de yacón se debe emplear entre 10 a 15 kg de raíces lavadas. El contenido de sólidos solubles en la materia prima es el componente más importante que afecta la eficiencia de conversión a jarabe. Por ejemplo, para obtener 1 kg de jarabe se necesitan aproximadamente 6 litros de jugo si éste tiene 12° Brix, pero se necesitarán 9 litros si el jugo tiene 8° Brix (Figura 11). Mejores coeficientes de producción se obtienen al procesar raíces grandes y uniformes, fáciles de pelar; esto garantiza una menor pérdida de materia prima durante el pelado. Por último, se puede prensar el bagazo que sale del extractor con el fin de recuperar la mayor cantidad posible de jugo e incorporarlo a la línea de procesamiento de jarabe (alrededor del 80% del peso del bagazo está en forma de jugo).

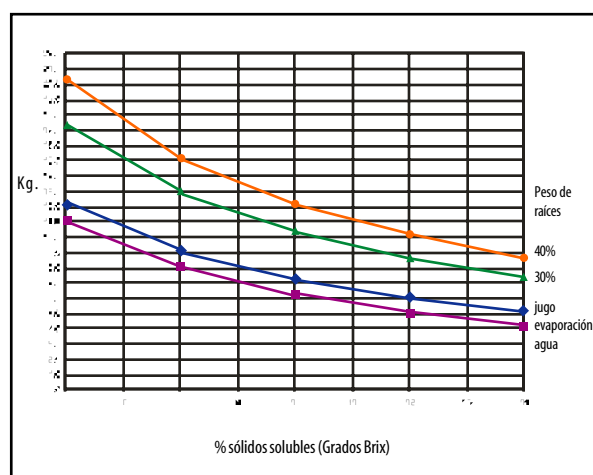


Figura 11. Factores de conversión para producir 1 kg de jarabe (73° Brix) en función al contenido inicial de sólidos solubles en el jugo de yacón. Líneas anaranjada y verde: peso de raíces con diferentes niveles de merma (40 y 30% respectivamente). Línea azul: volumen de jugo. Línea morada: cantidad de agua que se requiere evaporar. **Observaciones.** 1. La merma incluye las pérdidas de materia prima en el pelado, en el bagazo y en la filtración. 2. La densidad del jugo es 1 kg/l y del jarabe 1.35 kg/l. 3. El peso de raíces se refiere a las raíces sin pelar.

5.2. Composición química

El jarabe de yacón está compuesto principalmente de carbohidratos (65 a 70%) y agua (alrededor de 25%). Las proteínas representan entre el 1 y 2% del peso fresco, las grasas menos del 0.1% y el potasio -el único mineral que se encuentra en cantidades importantes- representa alrededor del 1%. Debido a que los FOS son reconocidos como un tipo de fibra soluble (Coussement 1999), se puede considerar que el porcentaje de fibra es tan alto como el valor final que alcanzan los FOS en el jarabe.

Diferentes factores pueden modificar fácilmente la concentración de carbohidratos en la materia prima (ver puntos 2.3 y 2.5). Por ello, la composición relativa de los FOS y de los azúcares simples puede variar mucho en el jarabe de yacón. En la tabla 3 se muestra en detalle la composición química de dos lotes de jarabe de dos cultivares de yacón diferentes: AMM5163 y Hualqui. Se puede apreciar una gran diferencia en la concentración de FOS en el jarabe: 50% para AMM5163 y 10% para Hualqui. Este ejemplo ilustra la enorme variación que puede obtenerse en la composición química del jarabe.

5.3. Contenido calórico

En términos generales, se considera que el aporte calórico de los carbohidratos en los alimentos es de 4 kcal/g. Sin embargo, los FOS, por ser un tipo particular de carbohidratos, tienen tan sólo entre 1 y 1.5 kcal/g (Roberfroid 1999). El problema es que muchos laboratorios no tienen implementado un método específico para cuantificar FOS y distinguirlos del resto de carbohidratos. Esto conlleva a sobreestimaciones en el valor calórico real del jarabe de yacón.

La tabla 3 muestra la enorme diferencia que puede encontrarse entre dos lotes de jarabe cuando se emplean diferentes cultivares de yacón. Así, el contenido de calorías puede variar fácilmente entre 164 y 265 kcal. Esta enorme variación guarda relación directa con el contenido de FOS en el jarabe. En la figura 12 se puede apreciar el efecto que tiene la concentración de FOS sobre el contenido de calorías en el jarabe.

Tabla 3. Diferencias en la composición química (%), el contenido calórico (kcal/100g jarabe), y el pH en dos lotes de jarabe elaborados con dos cultivares de yacón: CLLUNC118 (cultivar Hualqui) y AMM5163.

Variable	CLLUNC118(Hualqui)	AMM5163
Cenizas totales	2.9	2.3
Grasa	0.1	0.0
Humedad	25.5	22.0
Proteína cruda	1.3	1.0
FOS (=fibra soluble)	10.9	47.6
Glucosa libre	15.5	2.6
Fructosa libre	25.4	7.9
Sacarosa libre	12.2	20.0
Contenido calórico (kcal)	265	164
pH	5.0	5.4

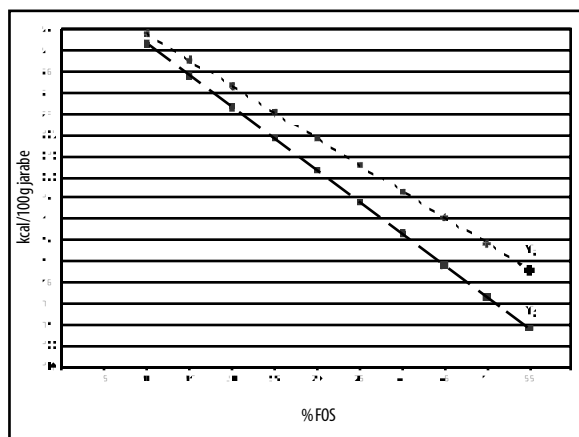


Figura 12. Líneas de regresión esperadas (Y_1 e Y_2) para el valor calórico de 100 gramos de jarabe de yacón en función al contenido de FOS. Para Y_1 e Y_2 se considera un valor de 1.0 kcal y 1.5 kcal por cada gramo de FOS, respectivamente.

Asunciones:

1. Contenido de calorías: G, F, S = 4 kcal/g, proteínas = 4 kcal/g, grasa = 9 kcal/g.
2. Se asume siempre una concentración constante de 1.2 g de proteína y 0.05 g de grasa por cada 100 gramos de jarabe.
3. El porcentaje de azúcares simples (G, F y S) es el resultado de restar a 72 (sólidos solubles totales del jarabe) el porcentaje de FOS.
FOS = fructooligosacáridos, F = fructosa, G = glucosa, S = sacarosa.

5.4. Tiempo de vida en anaquel

Una vez que el jarabe de yacón ha sido envasado (sin preservantes y a pH=5) y puesto en anaquel a temperatura ambiente o en refrigeración, su tiempo de vida puede ser bastante prolongado (Figura 13). Los resultados preliminares de diferentes pruebas realizadas en el Centro Internacional de la Papa demuestran que después de doce meses en almacenamiento, el jarabe no se contamina y su composición química -respecto a los carbohidratos- cambia muy poco.

5.5. Usos, formas de consumo y propiedades

El jarabe de yacón puede usarse como edulcorante para endulzar diferentes tipos de alimentos como ensaladas de frutas, jugos, bebidas calientes, postres, entre otros. Por tener similitud en cuanto a sabor y consistencia con ciertos edulcorantes que existen en el mercado, como la miel de abejas, la miel de caña (chancaca) y la miel de maple, el jarabe de yacón puede considerarse un sustituto hipocalórico de estos edulcorantes (Tabla 4).

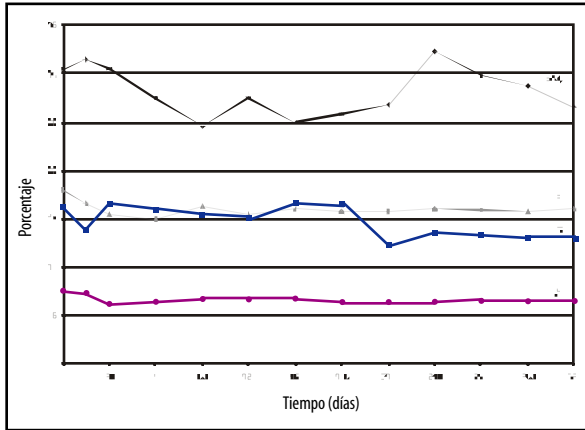


Figura 13.Contenido de azúcares (FOS, glucosa, sacarosa y fructosa) en el jarabe de yacón durante su almacenamiento a temperatura ambiente (25° C) por once meses. La variación observada en las determinaciones es atribuible al método de análisis empleado.

Tabla 4.Valor calórico del jarabe de yacón en comparación a productos similares que existen en el mercado.

Producto	Brix (°)	kcal/100g de producto
Jarabe de yacón	73	164 – 265
Jarabe de maple	66	252
Miel de abejas	82	304

Si bien se han realizado pocos estudios científicos sobre las propiedades del yacón, existe abundante literatura científica detallada sobre los efectos de los FOS en la salud (Andersson *et al.* 1999). Tomando como referencia estas publicaciones podemos enumerar una lista de las potenciales propiedades y atributos del jarabe de yacón:

1. Debido a su reducida contribución calórica al organismo humano (hasta 40 a 50% menos calorías que la miel de abejas), el consumo de jarabe de yacón puede ser recomendado a personas que desean bajar de peso y a personas con problemas de sobrepeso y obesidad.
2. El alto contenido de FOS en el jarabe de yacón asegura una mejor salud del tracto gastrointestinal. Los FOS tienen un efecto bifidogénico, es decir estimulan la proliferación de las Bifidobacterias, grupo de bacterias benéficas del colon que han sido asociadas con varios procesos fisiológicos que redundan en una mejor salud del organismo.
3. Las bacterias formadoras de caries dentales son incapaces de metabolizar los FOS, por ello el

consumo de jarabe de yacón –en comparación a la mayoría de edulcorantes- ayuda a reducir el riesgo de formación de caries en los dientes.

4. Fisiológicamente los FOS tienen un comportamiento de fibra soluble y además son capaces de generar una respuesta laxante en el organismo, por lo tanto el jarabe de yacón podría ayudar a prevenir y aliviar problemas de estreñimiento.
5. Si bien falta aún reunir evidencia científica sobre el efecto real de los FOS en la salud humana, cada vez existen mayores indicios que señalan que su consumo es bueno para: mejorar la asimilación de calcio, ácido fólico y ciertas vitaminas del complejo B; reducir el nivel de colesterol y triglicéridos en la sangre; reducir el riesgo de desarrollar cáncer de colon; y, fortalecer la respuesta del sistema inmunológico.
6. Algunos estudios científicos han demostrado que el consumo de FOS no eleva el nivel de glucosa en sangre, incluso en personas con diabetes tipo 2 (Alles *et al.* 1999). Sin embargo, debido a que el jarabe contiene también azúcares que elevan fácilmente el nivel de glucosa en sangre –si bien es cierto en proporciones menores a los FOS- es necesario hacer estudios clínicos para determinar las dosis de consumo para personas con diabetes.
7. En Europa se ha desarrollado desde hace algunos años el concepto de alimento funcional o nutracéutico, es decir cualquier alimento que independientemente de su valor nutricional genera un efecto favorable en la salud del consumidor. Así, el jarabe de yacón es un buen candidato para ingresar a la lista de estos alimentos.

La mayoría de propiedades enumeradas son sólo promisorias y deben ser exhaustivamente estudiadas en el futuro para comprobar sus efectos reales en la salud humana. Aunque el objetivo del presente manual es poner en el dominio público una tecnología eficiente para el procesamiento de jarabe de yacón, también resulta importante detallar los posibles usos y beneficios que se derivan de su consumo. Esto puede ser útil para evitar en el futuro cualquier forma de patente o derecho de propiedad intelectual que se quiera hacer sobre la tecnología de procesamiento y sobre el jarabe de yacón.

5.6. Dosis de consumo

Se sabe que dosis elevadas de consumo de FOS ocasionan flatulencia, presión abdominal y diarrea. Sin embargo la mayoría de estudios científicos concuerdan en que dosis inferiores a 20 g FOS/día no desencadenan estos efectos colaterales indeseables. Por regla general se asume que el consumo diario de FOS no debe exceder de 0.3 y 0.4 g por cada kilogramo de peso corporal en hombres y mujeres, respectivamente. Dosis superiores a 20 g de FOS/día pueden producir flatulencia y presión abdominal, y dosis por encima de 50 g frecuentemente ocasionan diarrea.

Asumiendo que los FOS representan el 50% de la composición química del jarabe de yacón, se podría recomendar una dosis máxima de consumo de 40 g de jarabe/día, sin correr gran riesgo de sufrir cualquier efecto secundario indeseado asociado al consumo de FOS. Obviamente, la dosis de consumo de jarabe de yacón puede ser mayor cuando la concentración de FOS en el jarabe es menor, por ello en el etiquetado del envase debería especificarse la concentración de FOS en el jarabe. Si bien existen algunas empresas que han empezado a elaborar y comercializar jarabe de yacón en el Perú (Figura 14), son pocas las que incluyen el contenido de FOS en el etiquetado.

En un estudio clínico realizado en Perú, se reportó que la respuesta glicémica postprandial del jarabe de yacón en personas diabéticas tipo 2, es baja. Esto sugiere que el jarabe de yacón podría ser consumido por diabéticos tipo 2 debido a que su consumo tiene poco efecto en la elevación de glucosa en la sangre (Seclén *et al.* 2005).



Figura 14. Algunas marcas de jarabe de yacón que se comercializan en el mercado de Lima.

Aunque los resultados del estudio son promisorios, es necesario realizar estudios adicionales para determinar dosis de consumo a largo plazo.

Durante la revisión de literatura consultada para la elaboración del presente manual no se ha podido encontrar ningún reporte sobre efectos de toxicidad asociados al consumo de FOS. No existen razones fundadas para sospechar que el consumo de jarabe de yacón genere reacciones alérgicas o cierto tipo de toxicidad. Por el contrario, desde hace varios siglos las raíces frescas de yacón son consumidas en forma abundante por los pobladores altoandinos para mitigar la sed y nunca se ha hecho referencia a un tipo de reacción nociva, tóxica o alérgica (Seminario *et al.* 2003).

Capítulo VI

Los equipos

6.1. Extractor de jugo

Las siguientes pautas pueden ser útiles para el diseño de un extractor de jugo semi-industrial (Figura 15A):

Motor

Para un trabajo continuo de varias horas seguidas es preferible diseñar el extractor con un nivel de potencia mínima de 2 HP. Un motor con estas características permite que el disco abrasivo y la plancha perforada giren a una velocidad de hasta 7000 rpm, lo cual contribuye a una separación relativamente eficiente del jugo y el bagazo. Un nivel menor de potencia incrementa las posibilidades que el equipo se malogre en poco tiempo.

Disco abrasivo

Es un disco plano que gira muy rápido sobre un eje y que tiene en su superficie pequeñas cuchillas de acero inoxidable que permiten triturar la materia prima (Figuras 15B y 15C). Cuánto mayor sea la velocidad de giro del disco, más eficientemente se separará el bagazo del jugo.

Plancha perforada

Es una lámina de acero inoxidable, en forma de cono invertido, que ha sido perforada con pequeños agujeros en toda su superficie (Figuras 15B y 15C). La plancha perforada cumple la función de un filtro dentro del extractor, separando el bagazo del jugo. Para obtener el jugo de yacón con la menor cantidad posible de bagazo y para que éste último sea expulsado con el menor contenido posible de humedad, las punteaduras en la plancha perforada deben tener el menor diámetro posible (aproximadamente del tamaño de la punta de un alfiler) y deben poblar densamente el área de toda la plancha.

Conductos de alimentación y evacuación

El conducto de alimentación es aquel por donde ingresan las raíces peladas y desinfectadas para la extracción del jugo. El diámetro de este conducto debe ser lo suficientemente amplio como para permitir el ingreso de una o varias raíces enteras. El conducto de evacuación sirve para eliminar el bagazo fuera del equipo y debe ser diseñado para que haga la evacuación de modo abierto, a fin de que la extracción del jugo sea un proceso continuo (sin necesidad de desmontar el equipo). El tercer conducto es por el que discurre el jugo extraído. Se puede diseñar este conducto para que termine en forma de una boquilla, de tal manera que permita conectar una manguera de desfogue del jugo (Figuras 15A y 15C).

6.2. Filtro prensa

El filtro prensa está constituido por un sistema de placas apiladas, cada una de las cuales tiene en su interior un filtro de papel o tela (Figuras 15D y 15E). La idea es utilizar un tipo de presión (mecánica o hidráulica) que permita forzar el paso del jugo de yacón por las placas apiladas. Esto obliga a que los sólidos que están suspendidos en el jugo sean retenidos en los filtros. De esta manera, después de haber pasado totalmente a través del filtro prensa, se obtiene un jugo clarificado y con un contenido significativamente menor de partículas en suspensión.

Como alternativa al uso del filtro prensa se puede emplear un equipo sencillo que utiliza únicamente la fuerza de gravedad para hacer la filtración. Este equipo consta de una malla muy fina por la que se hace pasar el jugo de yacón por gravedad, y de un tanque que se usa para recibir el jugo filtrado (Figura 15F). El inconveniente de este equipo es que la velocidad de filtración es lenta

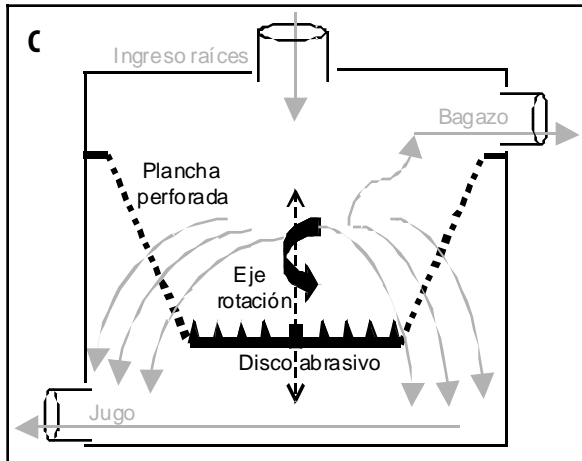
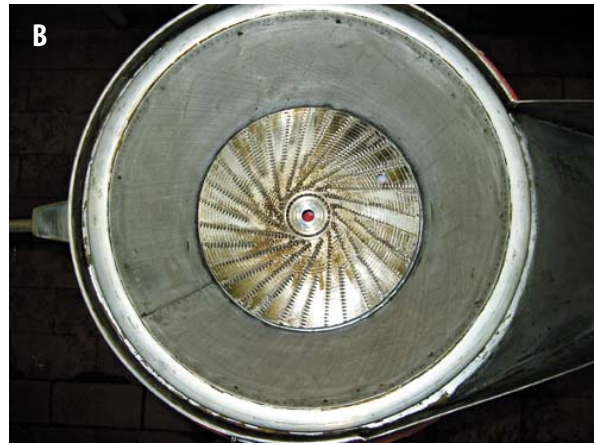


Figura 15. Algunos equipos utilizados para el procesamiento del jarabe. **A.** Extractor de jugo, obsérvese que el diámetro del orificio del conducto de alimentación es suficientemente ancho como para permitir el ingreso de una raíz grande y entera de yacón). **B.** Detalle de la plancha perforada y del disco abrasivo del extractor de jugo. **C.** Principios básicos de un extractor de jugo: Las raíces son trituradas por el disco abrasivo y la plancha perforada (malla) se encarga de filtrar el jugo para separarlo del bagazo. El bagazo sale expulsado del extractor por el conducto de evacuación y el jugo es colectado en recipientes grandes para su uso posterior. **D.** Preparación del filtro prensa **E.** Detalles de un filtro prensa que se opera con bomba de presión mecánica. **F.** Bandeja de filtración y tanque dispensador.

debido a que carece de un dispositivo (bomba o motor) que fuerce el paso del líquido por el filtro. Es recomendable emplear una malla de menos de 100 µm de diámetro de poro para la filtración del jugo y otra, no mayor de 100 µm, para la filtración del jarabe.

6.3. Tanque dispensador

Es un equipo que ayuda a pasteurizar el jarabe y a realizar el envasado. El tanque dispensador es un recipiente que tiene adaptado un termómetro y un grifo. El termómetro ayuda a controlar la temperatura del jarabe dentro del tanque. El grifo es de operación manual y permite dispensar el jarabe en los frascos a una temperatura que debe variar entre 86 a 96°C. En la parte superior del tanque se puede adaptar una bandeja con la malla de 100 µm de diámetro de poro para filtrar el jarabe (cuando tiene aún 68 a 70° Brix) antes que ingrese al interior del tanque (Figuras 10D y 10F).

6.4. Evaporador

Debido a la relevancia que tiene su diseño en la eficiencia de la evaporación, las características

principales del evaporador (Figura 16) han sido detalladas en un capítulo anterior (ver capítulo 4.6).

El tanque de recepción y la bandeja de evaporación están construidas íntegramente en material de acero inoxidable y las soldaduras que se usan para construir los canales dentro de la bandeja de evaporación están libres de plomo. El horno puede ser construido con un metal resistente al fuego e internamente debe ser recubierto con ladrillos y cemento refractario para evitar la menor pérdida posible de energía del horno cuando está en funcionamiento. El equipo completo puede ser importado o puede ser construido por una empresa local que construye marmitas y evaporadores. Algunas direcciones que pueden ser útiles para importar directamente los evaporadores de maple son:

www.webathena.com/leader/site/
www.bascommapple.com/index.html
<http://martinsmaplefarm.com/index.cfm>

Para consultas adicionales sobre las características del evaporador se recomienda el libro *North American Maple Syrup Producers Manual*. 1996. Bulletin 856 (Koelling y Heiligmann, eds.), Cleveland: Ohio State University Extension.



Figura 16. Evaporador. **A.** Vista completa del evaporador: horno, bandeja de evaporación, tanque de recepción y chimenea. **B.** El evaporador en funcionamiento.

Capítulo VII

Conclusiones

El yacón es una raíz que se consume tradicionalmente como fruta fresca y ello implica varias limitaciones y desventajas en su comercialización:

- a. El yacón es altamente perecible y su calidad nutricional disminuye rápidamente en poscosecha.
- b. Pérdidas significativas, por descarte de aquellas raíces que no califican por su presentación (raíces muy grandes o pequeñas, raíces rajadas o partidas, etc).
- c. Elevados costos para el transporte de la materia prima (el 90% del peso de las raíces está en forma de agua).
- d. Pérdidas durante el transporte (el yacón es susceptible al daño físico por golpes).

El procesamiento de las raíces en jarabe de yacón ayuda a solucionar en gran parte estos problemas:

- a. El jarabe se puede almacenar por varios meses sin que su calidad nutricional disminuya significativamente.
- b. El descarte de raíces para el procesamiento es mínimo.
- c. Los gastos en transporte pueden reducirse en más de 90% debido a que el jarabe contiene mucho menos agua que las raíces.
- d. El transporte del jarabe no ocasiona mermas.
- e. El procesamiento de jarabe tiene otras ventajas adicionales: genera nuevos puestos de trabajo; genera valor agregado en la materia prima en la misma zona de producción; diversifica las formas de consumo del yacón.

Si bien el presente manual contribuye a difundir una tecnología sencilla y fácil de implementar (Apéndice) para el procesamiento de jarabe de yacón, existen algunos procesos que pueden ser mejorados:

- a. Está demostrado que el pelado de las raíces con peladores manuales es una actividad poco eficiente (alrededor del 20% del peso de las raíces se pierde durante el pelado), además consume mucho tiempo y demanda excesiva mano de obra.
- b. El extractor de jugos elimina el bagazo con un contenido de humedad muy elevado (80% del peso del bagazo es jugo de yacón).
- c. Se deben probar diferentes tipos de combustible (carbón mineral, gas, petróleo, etc.) pues la madera es un recurso escaso en muchas localidades y su uso está asociado a una actividad depredadora y contaminante.

Estos problemas normalmente no existen en las plantas de procesamiento modernas debido a que sus equipos son eficientes y sofisticados. Sin embargo, estas plantas difícilmente existen o se instalan cerca a las zonas de producción de la materia prima. Una de las ventajas de procesar el jarabe de yacón en módulos rurales y en la misma zona de producción de la materia prima, es que el producto logra una mejor imagen para acceder al mercado de comercio justo (fair-trade), donde se paga un precio mayor por este tipo de productos.

El jarabe de yacón puede lograr un buen posicionamiento en el mercado de edulcorantes naturales con bajo contenido de calorías. Pruebas preliminares de degustación y aceptación del producto han mostrado que el jarabe tiene un mercado potencialmente grande de consumo. El jarabe también puede obtener un buen posicionamiento en la línea de productos nutracéuticos debido a que la legislación de varios países reconoce el efecto bifidogénico de los FOS y la relación que tienen con una mejor salud del tracto intestinal (Coussement 1999). Sin embargo, muchas otras propiedades -por ahora sólo promisorias-

deben ser exhaustivamente estudiadas en el futuro para determinar los beneficios adicionales que el jarabe de yacón puede generar en la salud humana. La demostración de algunas de estas propiedades abriría mayores oportunidades de mercado para el jarabe de yacón.

Recientemente se ha reunido evidencia científica preliminar a favor del uso del yacón para el tratamiento de la diabetes. Se ha reportado que las raíces y el jarabe de yacón tienen un efecto significativo en la reducción de los niveles de glucosa en la sangre en personas

clínicamente sanas (Mayta *et al.* 2003) y en personas con diabetes tipo 2 (Seclén *et al.* 2004). Estas evidencias son reforzadas con resultados similares obtenidos en animales de laboratorio a los que se les indujo diabetes (Galindo & Paredes 2002; Rodríguez & Soplopuco 2004). Aunque resulta prematuro afirmar que el jarabe de yacón sea beneficioso para el control de la diabetes, hay un camino que se ha abierto para la investigación en este campo que pronto podría dar las evidencias definitivas que se necesitan para recomendar su consumo en personas con diabetes.

Capítulo VIII

Referencias bibliográficas

- Alles MS, de Roos NM, Bakx JC, van de Lisdonk E, Zock PL & GA Hautvast. 1999. Consumption of fructooligosaccharides does not favorably affect blood glucose and serum lipid concentrations in patients with type 2 diabetes. *American Journal of Clinical Nutrition* 69: 64-69.
- Amaya J. 2000. Efeitos de doses crescentes de nitrogênio e potássio na produtividade de yacon (*Polymnia sonchifolia* Poep.&Endl.). Tese do título de Mestre em Agronomia. Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Botucatu, Brasil, 58 p.
- Andersson HB, Ellegård LH & IG Bosaeus. 1999. Nondigestibility characteristics of inulin and oligofructose in humans. *Journal of Nutrition* 129: 1428S-1430S.
- Asami T, Minamisawa K, Tsuchiya T, Kano K, Hori I, Ohyama T, Kubota M & Tsukihashi. 1991. Fluctuation of oligofructan contents in tubers of yacon (*Polymnia sonchifolia*) during growth and storage. *Soil Science and Plant Nutrition* 62(6): 621-627.
- Aybar MJ, Sánchez Riera AN, Grau A & SS Sánchez. 2001. Hypoglycemic effect of the water extract of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) leaves in normal and diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology* 74: 125-132.
- Butler G & D Rivera. 2004. Innovations in peeling technology for yacon [en línea]. Project Report, 2004. International Potato Center [citado 6 enero 2005]. Disponible en World Wide Web: <<http://www.cipotato.org/artc/CIPcrops/2004-1127.pdf>>.
- Chen Hsiao-Ling RD, Lu Yu-Ho RN, Jiun-Lin & LY Ko. 2000. Effects of fructooligosaccharide on bowel function and indicators of nutritional status in constipated elderly men. *Nutrition Research* 20(12): 1725-1733.
- Coussement P. 1999. Inulin and oligofructose: Safe intakes and legal status. *Journal of Nutrition* 129: 1412S-1417S.
- Galindo K & Y Paredes. 2002. Efecto del zumo de *Smallanthus sonchifolius* "yacon" sobre los niveles de glucosa en ratas con diabetes mellitus experimental. Tesis para optar el título de Farmacia y Bioquímica, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.
- Graefe S, Hermann M, Manrique I, Golombek S & A Buerkert. 2004. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. *Field Crops Research* 86: 157-165.
- Hermann M, Freire I & C Pazos. 1999. Compositional diversity of the yacon storage root. In: Impact on a changing world: Program report 1997-98. International Potato Center (CIP), Lima (Peru), p. 425-432. <http://www.cipotato.org/market/PgmRprts/pr97-98/51yacon.pdf>
- Jirovský D, Horáková D, Kotoušek M, Valentová K & J Ulrichová. 2003. Analysis of phenolic acids in plant materials using HPLC with amperometric detection at a platinum tubular electrode. *Journal of Separation Science* 26: 739-742.
- Koelling MR & RB Heiligmann (eds.). 1996. North American maple syrup producers manual. Ohio (USA). Ohio State University. Extension Bulletin 856, 177 p.
- L'homme C, Arbelot M, Puigsever A & A Biagini. 2003. Kinetics of hydrolysis of fructooligosaccharides in mineral-buffered aqueous solutions: influence of pH and temperature. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(1): 224-228.
- Luo J, Van Yperselle M, Rizkalla S, Rossi F, Bornet F & G Slama. 2000. Chronic consumption of short-chain fructooligosaccharides does not affect basal hepatic

- glucose production or insulin resistance in type 2 diabetics. *Journal of Nutrition* 130: 1572-1577.
- Mayta P, Payano J, Peláez J, Pérez M, Pichardo L & L Puyacán. 2003. Reducción de la respuesta glicémica posprandial post ingesta de raíz fresca de yacón en sujetos sanos. *Ciencia e Investigación Médica Estudiantil Latinoamericana* 8: 77-81.
- Melgarejo P. 1999. Potencial productivo de la colección nacional de yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poeppig & Endlicher), bajo condiciones de Oxapampa. Tesis de Grado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Perú, 96 p.
- Pedreschi R, Campos D, Noratto G, Chirinos R & L Cisneros-Zevallos. 2003. Andean yacon root (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. Endl) fructooligosaccharides as a potential novel source of prebiotics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(18): 5278-5284.
- Polreich S. 2003. Establishment of a classification scheme to structure the post-harvest diversity of yacon storage roots (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson). Degree thesis, University of Kassel, Germany, 58 p.
- Roberfroid MB. 1999. Caloric Value of Inulin and Oligofructose. *Journal of Nutrition* 129: 1436S-1437S.
- Rodríguez J & C Soplopucó. 2004. Efecto del *Smallanthus sonchifolius* sobre los niveles de glucosa e insulina plasmática en *Oryctolagus cuniculus* con diabetes inducida con alloxano. Tesis para optar el título de Médico cirujano, Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo, Lambayeque, Perú.
- Seclén S, Mayta P & A Villena. 2005. Glycemic response and insulin sensitivity after ingestion of yacon syrup in patients with type 2 diabetes. Manuscrito no publicado, en revisión.
- Seminario J, Valderrama M & I Manrique. 2003. El yacón: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), Lima, Perú, 60 p. http://www.cipotato.org/market/PDFdocs/Yacon_Fundamentos_password.pdf
- Takenaka M, Yan X, Ono H, Yoshida M, Nagata T & T Nakanishi. 2003. Caffeic acid derivatives in the roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(3): 793-796.
- Valentová K & J Ulrichová. 2003. *Smallanthus sonchifolius* and *Lepidium meyenii* – Prospective andean crops for the prevention of chronic diseases. *Biomedical Papers* 147(2): 119-130.
- Yan X, Suzuki M, Ohnishi-Kameyama M, Sada Y, Nakanishi T & T Nagata. 1999. Extraction and identification of antioxidants in the root of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47: 4711-4713.

Apéndice

Análisis de costos (en S/.) para una planta de procesamiento con capacidad de producción de 30 kg de jarabe de yacón al día. Costos referenciales a diciembre del 2001 (1 US\$ = S/. 3.4).

Costos fijos

	Costo inicial	Vida útil	Costo año
1. Infraestructura			
Construcción simple	3000	10	300
Servicios (agua, luz, otros)	1200	1	1200
2. Maquinaria			
1 Evaporador	3400	5	680
1 Tanque de filtración	748	10	75
2 Refractómetros	1190	5	238
2 Extractores de jugo	9860	3	3287
1 Cocina a gas	204	5	41
1 Estabilizador de corriente	680	5	136
Otros (baldes, bandejas, peladores, etc.)	680	2	340
Costos fijos anuales totales			6297
Costos fijos por día de producción*			25.2

* Se consideran 250 días de producción en un año

Costos Variables (para un día de producción)

	Cantidad	Costo unidad	Costo para 30 kg de jarabe
1. Insumos (kg)			
Raíces de yacón	420	0.3	126
Limón	10	4	40
Leña	30	30	30
2. Mano de obra (jornal)			
Lavado	1	15	15
Pelado	3	15	45
Extracción jugo y evaporación	2	15	30
Envasado	1	15	15
3. Empaque y transporte			
Fracos de 400 g	75	0.6	45
Flete (Provincia-Lima)	1	30	30
Total costos variables por día de producción			376

Publicaciones de la Serie

Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos:

Una década de investigación para el desarrollo (1993- - 2003)

Editores de la Serie: Michael Hermann, CIP • Oscar A. Hidalgo, Agro Consult Int.

-
- 1 Manejo sostenible de la agrobiodiversidad de tubérculos andinos: Síntesis de investigaciones y experiencias en Bolivia
 - 2 Conservación in situ de la agrobiodiversidad de la oca en el altiplano Peruano (CD)
 - 3 El cultivo del ulluco en la sierra central del Perú
 - 4 Raíces y tubérculos andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador
 - 5 Catálogo de variedades locales de papa y oca en la zona de Candelaria
 - 6 Raíces Andinas: Contribuciones al conocimiento y a la capacitación
 - 7 El potencial económico de tecnologías de producción y comercialización del ulluco
 - 8A Jarabe de yacón: Principios y procesamiento
 - 8B Yacon syrup: Principles and processing
-