

VALORIZACIÓN DE LA RAÍZ DE YACÓN: OBTENCIÓN DE UN JARABE RICO EN FRUCTOOLIGOSACÁRIDOS

Diana Lizeth López Torrez
Universidad Privada Boliviana
lis.lopez @ gmail.com

(Recibido el 10 de julio 2007, aceptado para publicación el 20 de septiembre 2007)

RESUMEN

El yacón (*Smallanthus sonchifolius* P&E) es una raíz tuberosa de origen andino que posee un alto contenido de fructooligosacáridos (FOS), los mejores prebióticos conocidos. Se encuentra subutilizada tanto en Bolivia como en el resto de los países productores y esta situación podría cambiarse a través de su industrialización. En ese sentido, a partir de la raíz de yacón, se estudió en laboratorio la obtención de un jarabe concentrado, rico en FOS. Se determinaron las variables críticas y las condiciones óptimas del proceso, lográndose un rendimiento del 95% de los FOS. A partir de estos resultados, se diseñó una planta para la producción anual de 1 000 TM de jarabe con 45% de FOS, al año. El producto final sería destinado principalmente a un mercado industrial, con un precio de 2,7 \$US/kg de jarabe. Para la planta se calculó una TIR de 42%.

Palabras Clave: Valorización, Subutilización, Yacón (*Smallanthus Sonchifolius*), Fructooligosacáridos (FOS), Fructanos, Prebióticos.

1. INTRODUCCIÓN

La región andina ha sido, desde tiempos remotos, el centro de una gran diversidad de tubérculos, raíces y cereales. Sin embargo, a través del tiempo estos alimentos han ido perdiendo demanda y con ello su producción agrícola ha disminuido [1].

La subutilización de recursos andinos es un problema frecuente en Bolivia y puede representar considerables desventajas para el país y sus habitantes. Algunas consecuencias son: la pérdida de biodiversidad, la pérdida de potencial económico y el desaprovechamiento de alimentos con atractivas características nutricionales y medicinales [1].

En 1981, el yacón fue declarado por la FAO una especie amenazada, porque hasta ese año estaba próximo a desaparecer al igual que otros cultivos similares. Desde esa fecha, la FAO decidió apoyar la investigación y el desarrollo del yacón, a través del Consejo Internacional para los Recursos Fitogenéticos [2].

El sector agropecuario de Bolivia tiene importancia en la economía nacional, ya que su contribución al Producto Interno Bruto (PIB) en las gestiones 2005 y 2006 fue constante e igual a 15,4% [3]. Esta significativa contribución podría verse afectada por el mal aprovechamiento de los recursos naturales y causar efectos negativos en la economía [4].

La valorización del yacón por medio de su industrialización, fomentaría la diversificación de la producción agraria y contribuiría a la conservación de la biodiversidad.

El yacón, a diferencia de otras raíces y tubérculos, no almacena carbohidratos en forma de almidón, sino fructooligosacáridos (FOS) y azúcares libres (glucosa, sacarosa y fructosa). Los FOS son fibras solubles de bajo aporte calórico y prebióticos, que generan varios efectos favorables en la salud, mejorando la digestión, fortaleciendo la respuesta inmune, mejorando la asimilación de minerales y reduciendo los niveles de azúcar, colesterol y triglicéridos en la sangre [1], [8], [9].

El yacón, por su contenido de fructooligosacáridos, posee un alto valor como alimento nutraceutico. Tradicionalmente, era utilizado para calmar la sed durante las faenas de trabajo en el campo y usado para aliviar problemas gastrointestinales, hepáticos y renales [7].

A nivel social, la industrialización del yacón generaría un impacto positivo en la sociedad boliviana, mejorando la salud y nutrición de los consumidores e incrementando el ingreso de los productores rurales de yacón.

Las posibilidades de valorización del yacón son variadas. Algunas posibilidades son: Puré, mermelada, bebidas, deshidratados, té de hojas de yacón y jarabes de fructosa o fructooligosacáridos [4], [5], [8], [9]. Considerando las oportunidades de mercado, el jarabe de fructooligosacáridos posee el mayor potencial, gracias al creciente interés mundial que existe por los prebióticos, para la elaboración de productos nutraceuticos.

2. OBJETIVOS

El objetivo de la presente investigación consistió en la realización de un estudio técnico – financiero para la elaboración de un jarabe rico en fructooligosacáridos, a partir de la raíz de yacón. Después de pruebas experimentales en laboratorio que buscaron la optimización del proceso, se elaboró un anteproyecto de fábrica y se realizó su evaluación financiera.

Para ello, se definieron los siguientes objetivos específicos:

- Determinar las condiciones óptimas de proceso para la extracción de FOS a partir del yacón, mediante pruebas experimentales en laboratorio.
- Identificar los procesos y las variables críticas que influyen en el producto y en su calidad final.
- Caracterizar las materias primas y los productos obtenidos durante las pruebas experimentales a escala laboratorio.
- Utilizando la información de laboratorio, realizar un diseño de planta y la evaluación financiera del proyecto.

3. MARCO TEÓRICO

El yacón (*Smallanthus sonchifolius* P&E) es una raíz tuberosa de origen andino. Actualmente, es considerado un producto subutilizado, tanto en Bolivia como en el resto de la región andina, ya que casi todo su cultivo se destina al autoconsumo y poco es comercializado en mercados locales o externos [1].

Las raíces reservantes de yacón acumulan principalmente agua (70 a 93%) y carbohidratos como fructanos y azúcares simples. Entre el 40 y 70% del peso seco de la raíz está en forma de fructooligosacáridos (FOS) de bajo grado de polimerización, azúcares especiales que poseen varios efectos favorables para la salud y 15 a 40% está en forma de azúcares simples: sacarosa, fructosa y glucosa [1]. La Tabla 1 muestra la composición típica de la raíz de yacón.

El yacón es cultivado en las tierras altas de los Andes, desde el sur de Venezuela (Zona de Mérida) y Colombia hasta el norte de Argentina (Jujuy, Salta), entre los 800 y 3 750 msnm, en climas templados montañosos. Fue uno de los cultivos más importantes del Imperio Incaico [2]. Se adapta fácilmente a una diversidad amplia de climas y suelos. Los cultivos toleran amplios rangos de pH (desde ácidos a ligeramente alcalinos), de temperatura (18 a 25° C) y de demanda de agua (650 a 1000 mm de lluvia por año) [6], [9].

TABLA 1 - RANGOS DE COMPOSICIÓN EN 100 GRAMOS DE YACÓN FRESCO

Composición por 100 g yacón fresco		
Compuesto	Unidad	Valor
Energía	Kcal	54
Agua	g	70 - 93
Proteína	g	0,4 – 2,0
Grasa	g	0,1 – 0,3
Fibra	g	0,3 – 1,7
Ceniza	g	0,3 – 2,0
Carbohidratos	g	12,5
Calcio	mg	2 300
Fósforo	mg	2 100
Hierro	mg	30
Retinol	mg	1 200
Tiamina	mg	2
Riboflavina	mg	11
Niacina	mg	34
Ácido ascórbico	mg	1 310

Fuente: [1]

A partir de 1982, el yacón fue introducido a otros países como Brasil, Nueva Zelanda, Japón, Corea, República Checa, Rusia, Taiwán y algunos lugares en Estados Unidos [1, 4, 6]. Dependiendo de la zona y las condiciones de cultivo, se han reportado productividades desde 10 hasta 100 TM/Ha, siendo común encontrar productividades entre 20 a 40 TM/Ha en condiciones alto andinas [9, 10].

El ciclo de cultivo varía entre 6 y 12 meses. La cosecha de las raíces debe realizarse en la etapa de maduración, donde el contenido de fructooligosacáridos es máximo. Después de la cosecha, las raíces deben ser manipuladas con cuidado porque son frágiles y susceptibles de sufrir rajaduras. Para evitar una rápida degradación de los FOS en azúcares simples, se almacenan bajo refrigeración a 4° C. La exposición al sol y los rayos UV acelera este proceso [10, 11].

Durante el procesamiento de las raíces se produce rápidamente una reacción de pardeamiento, debido a que las enzimas polifenoxidasas presentes en la pulpa entran en contacto con el oxígeno. En un proceso de oxidación enzimática, las enzimas transforman los fenoles en quinonas y luego en melaninas, responsables de las coloraciones oscuras [9]. Esta reacción puede ser prevenida con procesos de escaldado o revertida con la adición de antioxidantes [11]. La pulpa de camu camu (*Myrciaria dubia*), al ser una importante fuente natural de ácido ascórbico, puede ser utilizada para evitar la oxidación enzimática en el yacón [12].

▪ Fructooligosacáridos e inulina

Los fructooligosacáridos pertenecen al grupo de los fructanos. Consisten en una glucosa terminal y una cadena lineal de fructosas de 2 a 9 unidades unidas por un enlace β (2-1), Figura 1. No son digeribles por el organismo humano. Las cadenas formadas por 20 a 60 monómeros de fructosas, son conocidas como inulina [13, 14].

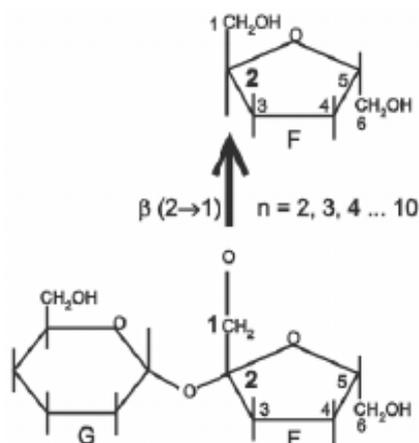


Figura 1 - Estructura química de los fructooligosacáridos [7].

Los FOS tienen un nivel de dulzura que puede variar entre 30% y 100%, con respecto al de la sacarosa, tienen mayor solubilidad que la sacarosa, no precipitan, no cristalizan y pueden ser usados por la industria alimenticia para el reemplazo de azúcar o grasas, para evitar la formación de cristales, para retención de agua o como fibra dietética soluble [13], [15]. Pueden ser tratados térmicamente hasta 120° C y hasta un pH mínimo de 4, para evitar la degradación de las oligofructosas [9], [13].

El consumo de los fructooligosacáridos contribuye a la salud gracias a sus siguientes propiedades:

- Son reconocidos como los mejores prebióticos conocidos. Su efecto bifidogénico ha sido demostrado cuando, al no ser digeribles por las enzimas intestinales, alcanzan el colon donde son fermentados de forma anaerobia por la microflora e incrementan significativamente la población de bacterias benéficas o bifidobacterias [13, 16]. De esta manera se reprime el crecimiento de organismos patógenos en el colon, que son responsables de la producción de toxinas y compuestos potencialmente cancerígenos [7].
- Al beneficiar la multiplicación de las bifidobacterias (especialmente *bifidobacterium* y *lactobacillus*), actúan de forma positiva sobre el sistema digestivo. Ayudan a regular el tránsito intestinal, mejoran el metabolismo intestinal y las deposiciones. Su ingesta contribuye también a controlar el estreñimiento y a mejorar la protección y el equilibrio del intestino [9, 17].
- Diversos estudios muestran que el consumo de fructooligosacáridos ayuda a reducir el nivel de azúcar y grasas en la sangre, inhibiendo la lipogénesis hepática, reduciendo el riesgo de arterosclerosis, normalizando la presión

sanguínea y mejorando el metabolismo de las personas que sufren de diabetes, colesterol alto o problemas cardiovasculares [4], [15], [17].

- Debido a que se fermentan en el intestino grueso, se crean condiciones ideales para una absorción óptima de calcio, lo que se traduce en una reducción de la osteoporosis y un aumento tanto en la densidad mineral del hueso como en la masa ósea [17], [18].
- Como prebióticos, también pueden tener un efecto regulador en el sistema inmunológico de las personas [11]. Son capaces de estimular la síntesis de vitaminas del complejo B y poseen características específicas para la prevención de caries dentarias. Por otro lado, al no ser digeribles, aportan un bajo contenido calórico [15], [17].

Los fructooligosacáridos pueden ser consumidos por todas las personas en general y están especialmente recomendados para niños y adolescentes en edad de crecimiento, infantes sin suplemento de leche, mujeres en gestación y personas de edad avanzada [15].

4. MÉTODOS Y MATERIALES

El proceso óptimo para obtención del jarabe rico en FOS se determinó realizando estudios de laboratorio y analizando en cada etapa la influencia de las variables temperatura, presión, concentración de sólidos solubles, humedad y rendimiento del proceso.

Las etapas estudiadas fueron: El almacenamiento de las raíces, el pretratamiento (lavado, desinfectado, escaldado y pelado), la obtención del prejarabe o jugo (control de pardeamiento, cortado, triturado y extracción de FOS), la obtención del jarabe concentrado (filtrado o centrifugado y concentración) y el almacenamiento del producto terminado.

Para los ensayos de laboratorio se utilizó materia prima proveniente del Municipio de Colomi (Cochabamba). Se cosecharon las dos variedades más comunes de yacón, la variedad blanca (nombre quechua *Yurak*) y la morada (nombre quechua *Kulli*).

Las raíces frescas se limpiaron primero en seco, extrayendo la tierra excedente de su superficie con la ayuda de un cepillo y luego lavando con abundante agua. La desinfección se realizó con una solución de hipoclorito de sodio a una concentración de 200 partes por millón (ppm).

Seguidamente, se realizó el escaldado a vapor en un tanque de acero inoxidable, utilizando vapor saturado proveniente de un caldero. Para analizar la influencia del tiempo de escaldado, se realizaron pruebas durante 0, 5, 7, 10, 15 y 20 minutos. Después del escaldado, las muestras fueron peladas manualmente con cuchillos de acero inoxidable.

Las raíces de yacón previamente peladas y cortadas en rodajas, fueron trituradas en una licuadora de acero inoxidable. Para el control de pardeamiento se utilizó ácido ascórbico de 99,78% de pureza y pulpa de camu camu con 2,99% de contenido de ácido ascórbico. Se analizó la influencia de la concentración del antioxidante para revertir la oxidación enzimática.

Para la extracción de FOS se estudió la influencia de la cantidad de agua adicionada, entre 350 y 750 ml de agua por kg de raíz pelada, y se mantuvo cada muestra a temperaturas de 60, 80 y 92° C, por el lapso de una hora, en un baño termostático con agitación constante. Los valores expuestos de las concentraciones de sólidos solubles en grados Brix, corresponden a lecturas corregidas tanto por la diferencia de temperaturas durante su lectura, como por la dilución de las muestras.

La separación del bagazo y del jugo de yacón se realizó en pruebas de filtrado por presión y centrifugado. La centrifugación del puré se realizó a una velocidad de 3.200 revoluciones por minuto (rpm) durante 10, 20 y 30 minutos. La filtración se realizó en dos etapas, utilizando una tela porosa y papel filtro N° 10. Las pruebas de lavado del bagazo se realizaron variando el porcentaje de agua de lavado sobre la masa de borra, con proporciones entre 10 y 130% (v/p).

La concentración se realizó en un rota vapor, hasta alcanzar concentraciones de 70 ± 2 °Brix. Se realizaron pruebas a diferentes condiciones de presión y a temperaturas de 70, 80, 85, 90 y 95° C. Las condiciones de presión con las cuales se trabajó fueron bajo vacío experimental (21 kPa) y a presión atmosférica (76 kPa).

En una segunda fase, se realizó la caracterización de la materia prima y de los productos obtenidos en laboratorio. Se determinó su composición y otras características físico-químicas, mediante métodos analíticos cuantitativos oficiales de la AOAC (*American Official Association of Analytical Chemists*) y análisis con kits enzimáticos BOEHRINGER MANNHEIM y FRUCTAN MEGAZYME. Después de conocer el contenido total de fructanos en las raíces de yacón, se estimó el contenido de cada fructooligosacárido de diferente grado de polimerización entre 2 y 9.

Para determinar las mejores condiciones de almacenamiento de las raíces cosechadas, se realizaron pruebas de conservación manteniéndolas bajo congelación, refrigeración a 7° C y deshidratación.

También se realizaron ensayos de almacenamiento del producto terminado, analizando la conservación de los FOS en el jarabe final, conservado a temperaturas de 7, 25 y 45° C, durante dos semanas.

Los datos obtenidos en laboratorio fueron utilizados para la elaboración de un anteproyecto de fábrica para la producción de 1 000 TM de jarabe por año, el que fue objeto de una evaluación financiera.

5. RESULTADOS

5.1 Caracterización de la materia prima

La Tabla 2 presenta la composición química promedio de las dos variedades de yacón (blanco y morado), analizada inmediatamente después de su cosecha.

TABLA 2 - COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA RAÍZ DE YACÓN

Característica	Unidad	Variedad Blanca	Variedad Morada
Humedad	%	83,56	85,21
Proteína	% base seca	2,59	2,03
Fibra cruda	% base seca	16,91	17,01
Carbohidratos solubles totales	% base seca	71,80	72,59
Almidón	% base seca	2,61	3,02
Cenizas	% base seca	5,10	4,40
Grasa y otros	% base seca	0,99	0,95

Las raíces de yacón se destacan por su alto contenido de carbohidratos solubles totales, entre los cuales están comprendidos la sacarosa libre, glucosa libre, fructosa libre y otros fructanos. Sabiendo que el contenido de inulina en la raíz es insignificante [19], se puede asumir que el total de los fructanos presentes son fructooligosacáridos de bajo grado de polimerización.

En la Figura 2 se muestran las composiciones porcentuales de los principales azúcares que forman los carbohidratos solubles.

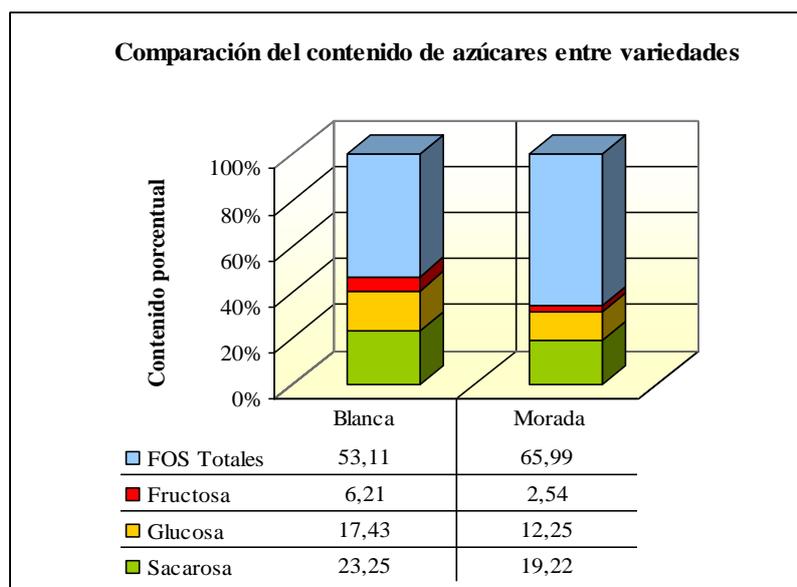


Figura 2 - Contenido porcentual de carbohidratos solubles en la raíz de yacón en las variedades blanca y morada.

Sobre una base de 100 gramos de raíz fresca de yacón, el contenido promedio de fructooligosacáridos presentes, en ambas variedades, fue de 6,71 gramos.

En la Tabla 3 se presenta la estimación del contenido de cada fructooligosacárido de diferente grado de polimerización entre 2 y 9, según estudios de OHYAMA et al. [19]. Dichos estudios demuestran que el contenido de oligofruktanos decrece gradualmente con el aumento del grado de polimerización (GF) de los fructanos. Este comportamiento posee un cociente de GF_{n+1} / GF_n relativamente constante con un valor de $0,735 \pm 0,096$.

TABLA 3 - VALORES DE DISTRIBUCIÓN DE OLIGOFRUCTANOS DE BAJO GRADO DE POLIMERIZACIÓN

Contenido porcentual de oligofruktanos en el yacón (base seca)		
GF _n	Variedad blanca	Variedad morada
GF ₂	20,91	21,14
GF ₃	15,37	15,54
GF ₄	11,30	11,42
GF ₅	8,30	8,39
GF ₆	6,10	6,17
GF ₇	4,49	4,53
GF ₈	3,30	3,33
GF ₉	2,42	2,45
Total GF ₂₋₉	72,18	72,97

GF_n: Oligofruktanos o fructooligosacáridos de grado de polimerización n.

5.2 Almacenamiento y pretratamiento de las raíces

La mejor forma de conservación de las raíces de yacón resultó un almacenamiento refrigerado a 7° C. Durante estas pruebas, se observó que la ventilación constante fue determinante para una buena conservación. De esta forma, se evita que el vapor generado por la respiración se sublime en una superficie de hielo que degrade las raíces. Además, manteniendo la tierra adherida a la cáscara de la raíz se logró evitar una rápida deshidratación de éstas y conservar por más tiempo sus características.

Para el pretratamiento, las raíces lavadas y desinfectadas fueron sometidas a un escaldado al vapor. A mayor tiempo de escaldado, se pudo apreciar que se facilitó el pelado. Sin embargo, la raíz cambió sus características físicas, perdiendo humedad, color y textura. Este proceso no fue suficiente para evitar el pardeamiento durante la trituración de las raíces y fue descartado por ello.

El pelado manual de las raíces frescas sin escaldar presentó un porcentaje promedio de pérdidas por cáscaras y desperdicios, de 15%.

5.3 Obtención del prejarabe

Durante el proceso de licuado de las raíces, se observó que el puré sufrió un pardeamiento casi inmediato a un color verde oscuro. Para revertir esta oxidación enzimática, se estudió la influencia de la concentración de ácido ascórbico. Las observaciones realizadas se presentan en la Tabla 4.

TABLA 4 - INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO EN POLVO

Concentración de ácido ascórbico (p/p)	pH	Presencia de pardeamiento	Duración del control de pardeamiento
0%	6,28	Positivo	0 min
0,2%	4,42	Negativo	12 - 24 h
0,5%	3,70	Negativo	Indefinidamente

Fuente: Elaboración propia.

La concentración óptima de ácido ascórbico fue de 0,2% en masa de antioxidante sobre masa de raíz pelada utilizada en el puré. Mediante esta concentración se mantuvo el color original del puré durante un periodo de 12 a 24 horas y se obtuvo un pH mayor a 4, para evitar la despolimerización de los FOS.

En la Tabla 5 se presentan los cambios observados al utilizar pulpa de camu camu como fuente de ácido ascórbico, para evitar la oxidación enzimática.

Analizando el efecto de la concentración de la pulpa de camu camu en el puré, se pudo observar que con una concentración de 5,7% de esta fruta se obtienen resultados similares a los obtenidos con 0,2% de ácido ascórbico comercial.

TABLA 5 - INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE PULPA DE CAMU CAMU

Adición de pulpa de camu camu (%p/p)	Concentración equivalente de ácido ascórbico (% p/p)	pH	Presencia de pardeamiento	Duración del control de pardeamiento
0%	0%	6,08	Positivo	0 min
4,5%	0,13%	4,8	Negativo	10 - 20 min
5,7%	0,17%	4,62	Negativo	12 - 24 h
6,7%	0,2%	4,41	Negativo	24 - 48 h

En las pruebas de extracción de los fructooligosacáridos, la influencia de la adición de agua al puré y de la temperatura sobre la concentración de sólidos solubles, se presenta en la Figura 3. En todos los ensayos, se constató que la concentración de azúcares solubles no cambió a través del tiempo.

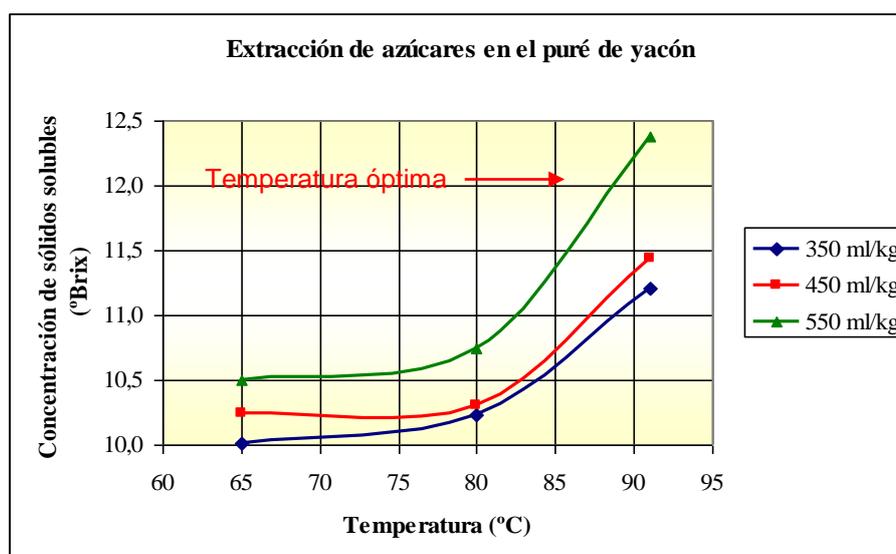


Figura 3 - Gráfico comparativo de la extracción de azúcares según la temperatura de extracción y la cantidad de agua adicionada

En estos ensayos se pudo apreciar que se logra una mayor extracción de azúcares a una temperatura de 92° C. A partir de esto, se estudió la influencia independiente de la adición de agua a una temperatura establecida de 92° C (temperatura de ebullición del agua en Cochabamba). La Figura 4 presenta estos resultados.

De la Figura 4 se pudo determinar que las condiciones óptimas para la extracción de FOS fueron la adición de agua a una temperatura de 92° C y en una proporción de 550 ml por kilogramo de raíz. Esta proporción representa el mínimo consumo de agua necesario para lograr una razonable extracción de los FOS.

5.4 Obtención del jarabe concentrado

Para la separación del jugo y del bagazo de yacón se realizaron ensayos de centrifugado y filtrado en dos etapas. Los mejores resultados fueron observados por filtración del prejarabe. Este proceso logró separar del puré de yacón un

6,11% de bagazo, el cual contenía un 73,5% de humedad promedio. El jugo de yacón obtenido, que mantuvo el color claro del puré, se encontró libre de impurezas y sólidos suspendidos.

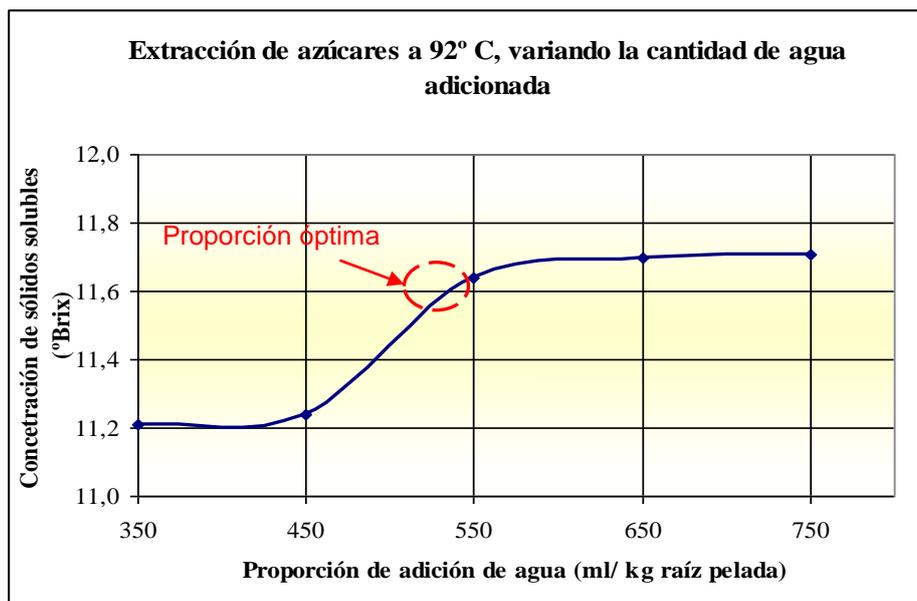


Figura 3 - Variación de la concentración de sólidos solubles en función de la cantidad de agua adicionada a 92° C

El bagazo o borra de yacón obtenido en laboratorio contenía agua retenida con una concentración de azúcares de 8,02° Brix en promedio (gramos de sólidos solubles por 100 gramos de bagazo). Para minimizar estas pérdidas de azúcares, se realizaron ensayos de lavado con distintas proporciones de agua y se determinó que al lavar el bagazo con 10% (v/p) de agua caliente, se recuperaba hasta el 80% de los azúcares residuales.

Mediante pruebas de evaporación a diferentes temperaturas y presiones, se obtuvieron curvas de concentración en función del tiempo, que se presentan en la Figura 5. Los valores de las temperaturas aplicadas corresponden a la temperatura del baño de agua utilizado en el rota vapor.

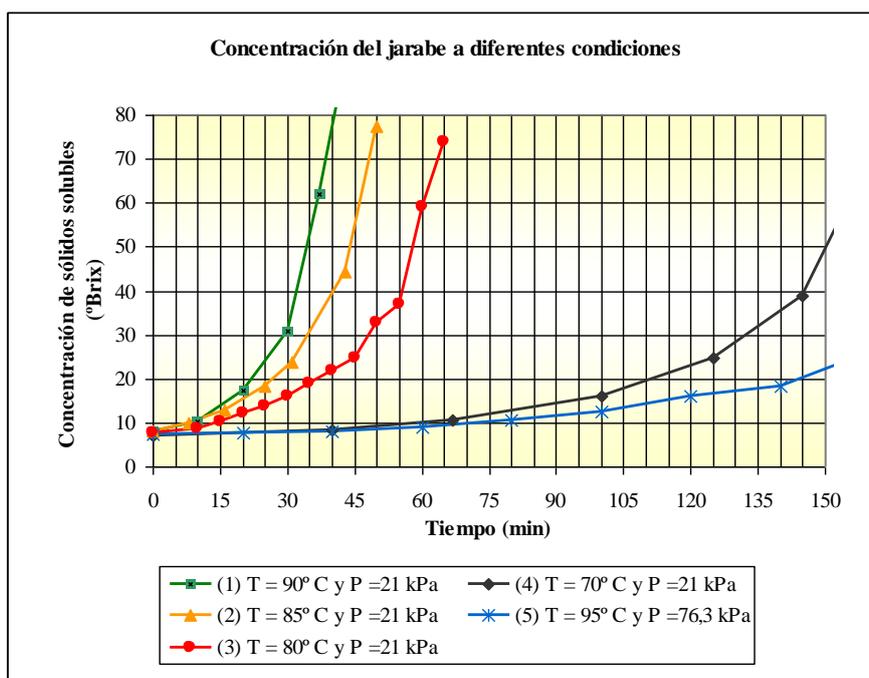


Figura 5 - Influencia de la temperatura y la presión en la concentración del jugo.

Se pudo observar que la curva de mayor velocidad de concentración (Curva N° 1) obtuvo como producto un jarabe de color oscuro y con el sabor característico del azúcar quemada. En cambio, aplicando una temperatura de 85° C y una presión de 21 kPa (Curva N° 2) se obtuvo similar eficiencia y mejores resultados en la calidad del producto. Aplicando estas condiciones se logró concentrar el jarabe hasta 70° Brix, en un tiempo de 40 minutos, con un 88,35% de agua evaporada y 11,65% de jarabe enriquecido.

El proceso óptimo definido para la obtención de un jarabe rico en fructooligosacáridos o miel de yacón presentó un rendimiento en masa del 14,28%, logrando en todo el proceso una extracción promedio del 95,3% de los FOS presentes en las raíces procesadas.

En la Figura 6 se muestra el diagrama de flujo para el proceso de obtención de un jarabe concentrado de FOS.

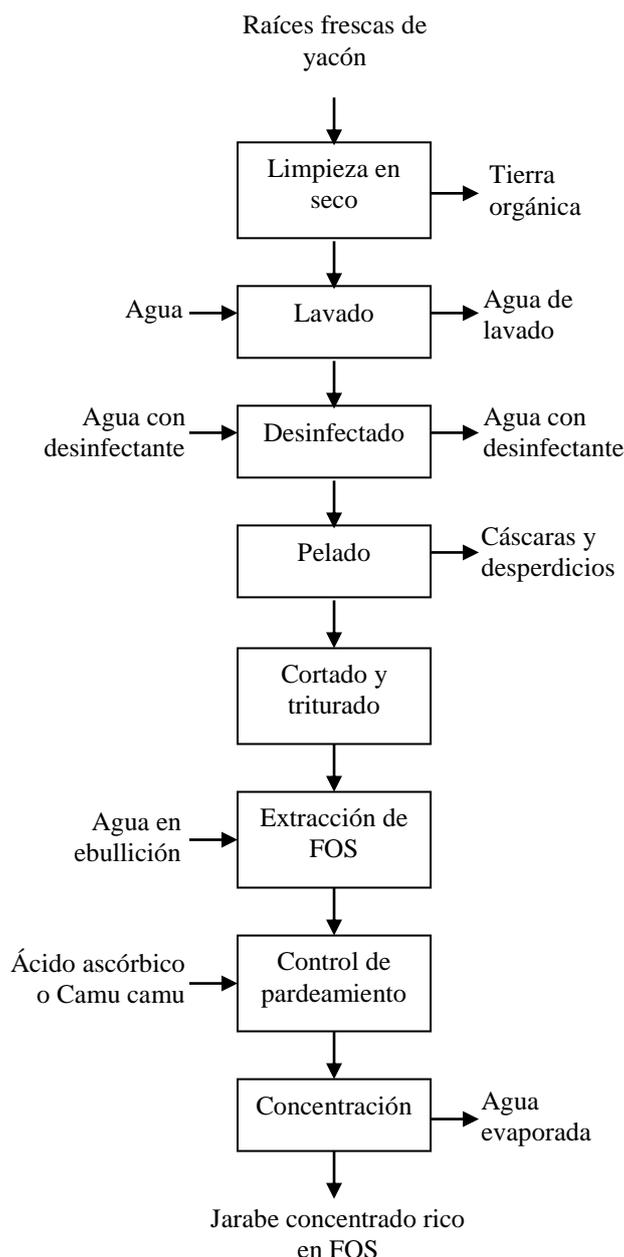


Figura 4 - Diagrama de Flujo del Proceso

5.5 Caracterización de los productos

El producto final obtenido fue un jarabe concentrado rico en fructooligosacáridos presentado como una miel de sabor agradable, dulce y ligeramente ácido. Su composición se presenta en la Tabla 6.

TABLA 6 - COMPOSICIÓN QUÍMICA DE 100 G DE JARABE DE YACÓN

Característica	Unidad	Variedad blanca		Variedad morada	
		Base húmeda	Base seca	Base húmeda	Base seca
Agua	g	30	0	30	0
Fructooligosacáridos	g	44,6	63,7	44,9	64,2
Sacarosa	g	12,1	17,3	9,24	13,2
Glucosa	g	9,00	12,86	7,78	11,11
Fructosa	g	4,29	6,13	8,03	11,47
Ácido ascórbico	mg	1 624	2 320	1 568	2 240

Con estudios de conservación, se determinó que la miel de yacón debe ser almacenada bajo refrigeración. De esta manera se mantienen sus características organolépticas y se evita la degradación de los FOS presentes.

La composición en base seca del bagazo de yacón, subproducto del proceso de filtrado, se presenta en la Tabla 7. La mayor parte se compone de fibras, que pueden usarse como complementos alimenticios no calóricos.

TABLA 7 - COMPOSICIÓN QUÍMICA POR CADA 100 G DE BAGAZO DE YACÓN EN BASE SECA

Característica	Unidad	Variedad blanca	Variedad morada
Fibra dietética	g	65,0	70,3
Fibra cruda	g	19,5	24,0
Proteína	g	2,59	2,03
Almidón	g	2,14	3,03
Ceniza	g	5,10	4,40
Carbohidratos y otros	g	25,2	20,3

5.6 Diseño de planta

Para la producción de la miel de yacón, se diseñó una planta industrial con capacidad de 1 000 TM anuales de producto terminado. Este tamaño de planta es adecuado al mercado nacional, donde la demanda se estimó entre 1 964 y 13 423 TM/año a lo largo de 10 años de operación del proyecto [20].

Esta capacidad máxima de planta, representa un requerimiento de 6 350 toneladas anuales de yacón fresco. Para esto se necesitarían 318 hectáreas de superficie cultivada, fácilmente disponibles en el área de Colomi, Cochabamba.

Empleando el método cuantitativo por puntos, la localización óptima de la planta resultó la ciudad de Sacaba. En su diseño se consideró la utilización de una tecnología genérica simple y no específica. Para lograr una producción continua, se cumplirían tres turnos diarios de 8 horas cada uno, durante 300 días al año [20].

En un inicio, el 90% de la producción de miel de yacón se destinaría a un mercado industrial, como un aditivo alimenticio intermedio para la elaboración de productos nutraceuticos. El restante 10%, sería distribuido en mercados tradicionales, como una miel funcional dirigida a consumidores directos.

5.7 Evaluación financiera

La implementación del proyecto requiere una inversión inicial de 847 020 \$US. El financiamiento proyectado es 60% de aporte propio y 40% de préstamo bancario, a una tasa de interés anual de 21% [20].

Los costos e ingresos estimados a 100% de uso de la capacidad de planta, se muestran en la Tabla 8. Se Consideró un precio de compra de la materia prima de 200 \$US/TM, 85% mayor al precio actual y un precio de venta de 2 700 \$US/TM de miel de yacón, determinado en base a la prospección de mercado.

El proyecto considera la aplicación del Comercio Equitativo, destinando el 5% de las utilidades brutas al fomento y mejora de la producción, así como para tareas comunitarias: educación, salud pública e inversiones sociales y culturales.

TABLA 8 - DETALLE DE INGRESOS Y COSTOS ESTIMADOS

INGRESOS (\$US/año)	2.715.000
Ventas miel de 1 kg	285.000
Ventas miel de 20 kg	2.430.000
COSTOS (\$US/año)	1.727.648
Materia prima e insumos	1.447.590
Mano de obra directa	87.837
Servicios	62.478
Costos fijos	129.743

La evaluación financiera, con flujos de caja actualizados a una inflación anual de 4%, presenta un valor neto presente (VAN) de 1 069 046 \$US, una TIR del 41,9 % y un periodo de recuperación de las inversiones, de 4 años y 3 meses [20].

6. CONCLUSIONES

Las etapas críticas identificadas en todo el proceso son: La extracción de FOS y la concentración del jarabe. La extracción influye en el rendimiento de FOS del proceso y la concentración determina la calidad final del producto.

El producto final es una miel concentrada de 70° Brix, que contiene un promedio de 45% de FOS. Por su alto contenido de fructanos, posee buenas oportunidades de mercado, tanto a nivel nacional como internacional. El subproducto, bagazo de yacón, también presenta interesantes oportunidades de industrialización, como en la elaboración de productos funcionales con elevado contenido de fibra.

Por el Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno de la evaluación financiera, el proyecto es rentable, logrando recuperarse el capital invertido en un plazo de 4 ¼ años.

El proyecto puede fomentar el desarrollo sostenible de una zona del subtrópico de Cochabamba y otras zonas bolivianas productoras de yacón, donde puede lograrse un ingreso bruto para el agricultor de 4 000 \$US por hectárea por año, mayor a los ingresos actuales por otros cultivos tradicionales.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Hermann y J. Heller. *Andean Roots and Tubers: Ahipa, Arracacha, Maca and Yacon*; International Plant Genetic Resources Institute IPGRI, Italia, 1997.
- [2] C. Fernandez et al. Screening Of Yacon (*Smallanthus Sonchifolius*) in the Bilbao Rioja and Charcas Provinces of Departament Potosí in Bolivia, *Agricultura Tropica Et Subtropica*, vol. 38, no. 1, 2005.
- [3] Fundación Milenio, Informe sobre la Economía 2006, N° 22, 2007.
- [4] R. Bustillos y O. Calderón. (Marzo 2004). *Diagnóstico Ambiental Agropecuario*, Ministerio de asuntos campesinos y agropecuarios, [On line] La Paz – Bolivia. Internet: <http://www.maca.gov.bo/agrobolivia/documentos/DIAGN-AMB-AGR.pdf> [Octubre 2005]
- [5] D. G. Alfaro. *Principales resultados de los últimos 10 años*, Programa de Alimentos y alimentos naturales, UMSS, Cochabamba - Bolivia, 2004.
- [6] M. E. Castillo Alfaro y S. A. Vidal Melgarejo. (2005). *El Yacón: una nueva alternativa en la prevención y tratamiento de la salud*. [On line] Available: http://infoagro.net/es/apps/news/record_view.cfm?vsys=a5&id=8641 [Octubre 2005]
- [7] J. Seminario et al. *El yacón: Fundamentos para el aprovechamientos de un recurso promisorio*, Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca y Agencia suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), Lima – Perú, 2003.
- [8] M. Valderrama. *Yacón ¿Solución para la Diabetes?*, Alimentación sana, Argentina. Disponible: <http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/novedades/yacon.htm>.

- [9] Iván Manrique. *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, 2005.
- [10] *Yacón (Smallanthus sonchifolius)*, Univ. Agraria La Molina, Programa de investigación y proyección social en raíces y tubérculos, Perú. Available: <http://www.lamolina.edu.pe/Investigacion/programa/yacon/Yacon.htm#arriba> [Octubre 2005].
- [11] N.F. Quiruchi. *Estudio comparativo y control del pardeamiento enzimático del yacón y la yuca*, Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología, Carrera de Licenciatura en Química, Programa de Alimentos y Productos Naturales, Cochabamba, Noviembre 2003.
- [12] H. Rubio. *Camu Camu*, Estudio económico productivo del Perú, Segunda Edición, Perú, 2000.
- [13] Chemedía EL Portal de la Ciencia y de la técnica en Iberoamérica, *Los Fructooligosacáridos*. Disponible: <http://www.chemedia.com/frutooli.htm> [Octubre 2005].
- [14] M. Díaz Castañeda. *Oligosacáridos en Fórmulas Infantiles: La inulina y la oligofructosa, nuevos ingredientes funcionales en alimentos*, NEOLAC, 2003. Disponible: <http://www.uanl.mx/publicaciones/respyn/especiales/ee-5-2003/conferencias/09.pdf> [Octubre 2005].
- [15] P. Liboni y P. Yong Kun. *Fructooligosacáridos: implicaciones na saúde humana e utilização em alimentos*, Ciencia Rural, Santa Maria, vol. 33, no. 2, pp. 385-390, Brasil, 2003.
- [16] Bioplanet, *Transforman inulina en fructooligosacáridos (FOS): Desarrollan innovador método para producir compuestos prebióticos*; Chile. Disponible: http://www.bioplanet.net/magazine/bio_marabr_2005/bio_2005_marabr_fia1.htm [Octubre 2005].
- [17] Nutrar El Portal de la alimentación. *La inulina y la oligofructosa favorecen el bienestar general*, Intramed, Argentina. Disponible: <http://www.nutrar.com/detalle.asp?ID=4269> [Octubre 2005].
- [18] Orafti, Filial de Raffinerie Tirlemontoise, *BENEEO* ®. Disponible: <http://www.beneo.com/beneo/beneo.nsf/webhtml?readform&country=spain&lang=spanish&qu=whatis> [Octubre 2005].
- [19] T. Ohyama et al. *Composition of storage carbohydrate in tubers of Yacon (Polymnia sanchifolia)*, Faculty of Agriculture, Nigata University; National Institute of Agro-environmental Sciences and Ibaraki University, Japón, Soil Sci. Plant Nutr., vol. 36, no.1, pp. 167-171, 1990.
- [20] D. L. López Torrez. *Estudio Técnico - Financiero para la obtención de un jarabe rico en fructooligosacáridos a partir de la raíz de yacón (Smallanthus sonchifolius P&E)*, Carrera de Ingeniería de la Producción, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Privada Boliviana, Cochabamba, Octubre 2006.