

EXTRACCIÓN, CRISTALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE INULINA A PARTIR DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) PARA SU UTILIZACIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA Y FARMACÉUTICA

EXTRACTION, CRYSTALIZATION AND CHARACTERIZATION OF INULIN FROM YACON (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) FOR TO BE USED IN FOOD AND FARMACEUTIC INDUSTRY

OSCAR ARANGO BEDOYA¹, GINNA PAOLA CUARÁN², JUAN CAMILO FAJARDO³

PALABRAS CLAVE:

Inulina, yacón, extracción, *Smallanthus sonchifolius*, fructooligosacárido.

KEYWORDS:

Inulin, yacón, extraction, *Smallanthus sonchifolius*, fructooligosaccharide.

RESUMEN

*La tendencia hacia la adopción de una alimentación sana y balanceada que incluya elementos naturales y benéficos es creciente. Se plantea el aprovechamiento del yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.)), planta silvestre de la región andina de Nariño, por su alto contenido de inulina, fructooligosacárido utilizado en la industria alimentaria y farmacéutica para la elaboración de edulcorantes para diabéticos y como fibra en alimentos refinados. Este estudio reporta la optimización del proceso de extracción sólido-líquido, con agua caliente, de inulina a partir de raíces de yacón. La cuantificación de inulina presente en el extracto se hizo a través de refractometría. Varias combinaciones de tiempo, temperatura y relación solvente-materia prima fueron analizadas empleando un diseño experimental compuesto 2³ más puntos estrella. Se alcanzó un rendimiento óptimo de 20.7% de inulina bajo unas condiciones de extracción de 23 min a 82.2 °C y relación solvente-materia prima de 4.5 l/500 g. La técnica para la separación de los cristales a partir de la solución rica en inulina tuvo un rendimiento del 17.3% con relación al peso en fresco del material experimental. Los cristales fueron caracterizados bajo propiedades físicas, químicas y organolépticas.*

Recibido para evaluación: Abril 7 de 2008. Aprobado para publicación: Julio 10 de 2008

- 1 Ing. Agroindustrial. MSc. Ingeniería Ambiental. Docente tiempo completo Facultad de Ingeniería Agroindustrial. Grupo de Investigación: Tecnologías Emergentes en Agroindustria – TEA. Universidad de Nariño. Pasto – Colombia
- 2 Estudiante investigadora X semestre. Programa Ingeniería Agroindustrial. Facultad de Ingeniería Agroindustrial. Grupo de Investigación: Tecnologías Emergentes en Agroindustria – TEA. Universidad de Nariño. Pasto – Colombia.
- 3 Estudiante investigador X semestre. Programa Ingeniería Agroindustrial. Facultad de Ingeniería Agroindustrial. Grupo de Investigación: Tecnologías Emergentes en Agroindustria – TEA. Universidad de Nariño. Pasto – Colombia.

Correspondencia: Oscar Arango: e-mail: oscar769@hotmail.com, Juan Camilo Fajardo: e-mail: camilof9@yahoo.es

ABSTRACT

*The tendency toward a health and balanced feeding, which include natural and beneficent elements is growing. Was established the use of yacon (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.)), an uncultivated plant of the andina region in Nariño, which for his high level of inulin, fructooligosaccharide use in the food and farmaceutic industry for the edulcorant manufacture for diabetics and as fiber in refined food. This estudy report the optimization of the solid-liquid extraction process, with hot water, of inulin provided by yacon root. The quantification of inulin in the extract is made through refractometry. Several combinations of time, temperature and solvent-raw material relationship were used in the experimental design using a 2³ central compaind design plus star points. Using the response surface methodology is determined that it will be able to gain an excellent output of 20.7% of inulin under extraction conditions of 23 min to 82.2 °C and solvent-raw material relationship of 4.5 l/500 g. The technical for crystal separation starting a solution rich on inulin obtained an output of 17.3% in relation to fresh weight of experimental material. The crystals were characterized under physical, chemical and organoleptic properties.*

INTRODUCCIÓN

El yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.)) es una raíz autóctona de la región andina, poco estudiada y subutilizada, perteneciente a la familia *Compositae* [1].

En países andinos de Latinoamérica como el Perú, la planta de yacón es cultivada de forma extensiva, mientras que en Colombia se encuentra en peligro de extinción en sus centros de producción históricos, debido al poco conocimiento que las comunidades locales tienen sobre sus propiedades alimenticias, medicinales y ecológicas [2].

A diferencia de los tubérculos que almacenan la energía en forma de almidón, el yacón la almacena en forma de fructooligosacáridos (FOS) [1], reconocidos y utilizados en alimentos como prebióticos, estimulantes del crecimiento de la flora intestinal no patógena, al cumplir con todos los criterios de clasificación y seguridad alimentaria [3]. El principal FOS presente en el yacón es la inulina, encontrándose en un alto porcentaje de hasta el 20% [4].

Cuando un FOS presenta de manera predominante o incluso exclusiva la unión β (2- > 1) fructosil-fructosa (enlace inulina), recibe el nombre genérico de inulina. Estos enlaces son los responsables de que la inulina no sea digestible como lo sería cualquier carbohidrato, lo que a su vez tiene como consecuencia que tenga un bajo valor calórico y una funcionalidad nutricional como fibra dietética [3].

La preparación industrial de alimentos los refina cada vez más, empobreciéndolos en fibras alimentarias naturales, lo que debilita el sistema inmune y provoca el aumento de ciertas patologías gastrointestinales (cáncer de colon y recto) y metabólicas (diabetes mellitus tipo 2) [5], de aquí que los expertos recomienden incluir en la dieta alimentaria fibras solubles no gelificantes como la inulina [6].

La inulina ofrece beneficios para la salud humana cuando se incorpora en la dieta alimentaria, contribuye a diluir los carcinógenos fecales y los promotores tumorales simplemente por la presencia de un mayor volumen fecal y por su capacidad para inducir la secreción colónica, es reconstituyente de la microflora intestinal y corrige el estreñimiento, mejorando el balance intestinal y contribuyendo de esta manera a reducir el contacto de agentes carcinógenos con el epitelio colónico y por ende a prevenir el desarrollo de cáncer de colon [7]. Se ha observado también un aumento en la absorción de cationes, calcio y magnesio, aumento en la excreción de azufre y disminución de la uremia [8].

Las técnicas utilizadas para el aislamiento de inulina a partir de material vegetal emplean de forma general una etapa de trituración y solubilización con agua caliente [3] [4].

Por todo lo anteriormente expuesto, el propósito de este estudio fue la optimización de la técnica de extracción de inulina de yacón, su cristalización y caracterización de los cristales obtenidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material experimental. Se utilizaron tubérculos de yacón, adquiridos en la Reserva Natural "Raíces Andinas" vereda El Carrizo, municipio del Encano, Nariño y en el cantón de Pujilí en la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi, Ecuador. Los tubérculos se cosecharon a los 10 meses de su siembra en un periodo no superior a 48 horas antes de los experimentos de extracción.

Variables del proceso. Las variables experimentales seleccionadas fueron la temperatura de extracción, el tiempo de extracción y la relación solvente/materia prima, todas trabajadas en dos niveles, máximo y mínimo, basados en el estudio de Lingyun [9]. (Tabla 1)

La variable respuesta del diseño fue el rendimiento de inulina en el extracto, cuantificado utilizando la técnica de refractometría que resulta sencilla, rápida y económica para la determinación de FOS en una solución [1].

Diseño experimental. A través del paquete estadístico Statgraphics plus versión 5.0 se utilizó un diseño compuesto central 2³ más puntos estrella y puntos centrales para la optimización del proceso de extracción a través de la metodología de superficie de respuesta. De esta manera el diseño experimental contó con 18 experimentos que se realizaron por triplicado para aumentar la confiabilidad de la variable respuesta.

Procedimiento. 500 g de raíces previamente lavadas, desinfectadas, escaldadas, peladas y troceadas se depositaron en un recipiente de aluminio con agua potable, en cantidad variable de acuerdo al experimento. El recipiente se ubicó en el equipo de agitación conformado por un motor de 1 HP tipo BD 6222, acoplado a un agitador elaborado en acero inoxidable ref. 304 para alimentos con regulador de velocidad operando a 90 rpm y temperatura constante, de acuerdo al expe-

rimiento, utilizando como fuente de calor una estufa de una boquilla marca HACEB ref. EM-1.

El control de temperatura se hizo a través de un termopar tipo J con selector de canales marca LUTRON ref. TM-903 y un refractómetro de ABBE marca BAUSCH & LOMB sirvió para registrar los datos refractométricos de las soluciones extraídas.

Identificación cualitativa y medición cuantitativa de inulina en el extracto. El extracto previamente filtrado a vacío a 25°C se sometió a una identificación cualitativa de inulina por el método de cromatografía en capa fina según reporta Lingyun [9] en su estudio: el solvente se compone de butanol, isopropanol, agua y ácido acético (7:5:4:2), la solución reveladora contiene anilina, difenilamina, ácido fosfórico y acetona (1:1:5:50), finalmente la placa se calentó a 85 °C durante 10 min.

Para la identificación se utilizó placa de sílica gel con base en aluminio. Como muestra patrón se utilizó una solución de inulina pura de ágave en polvo.

Para la identificación cuantitativa a través de la técnica de refractometría, se realizó una curva de calibración utilizando inulina pura de ágave en polvo, así se pudo estimar el porcentaje de inulina presente en los diferentes extractos obtenidos del material vegetal para cada experimento realizado.

Separación de la inulina. Optimizado el proceso de extracción, la inulina se separó del medio acuoso en el extracto luego de una evaporación a vacío de 20 in.Hg bajo una temperatura de 70 °C +/- 3 °C, hasta alcanzar una reducción del 80% de su volumen de agua obteniendo una concentración aproximada de 22 °Bx.

La solución obtenida fue distribuida uniformemente sobre placas metálicas de secado ubicadas en una estufa de secado por convección de aire forzado marca DIES THERMOLAB a una temperatura constante de 90 °C +/- 2 °C durante aproximadamente 4 horas. Luego de este tiempo la lámina de inulina se retiró de las placas y fue macerada.

Caracterización de los cristales obtenidos. Los cristales se caracterizaron valorando algunas de sus propiedades físicoquímicas y organolépticas como, morfología y tamaño haciendo uso del microscopio NIKON y AXIOSTAR PLUS respectivamente, densidad

Tabla 1. Variables del proceso de extracción

Variables Independientes	Unidades	Codificación de niveles	
		Máx	Mín
Temperatura de extracción	°C	65	85
Tiempo de extracción	min	15	25
Relación solvente /Materia prima	cc/500g	3	7

aparente, punto de fusión y solubilidad a través de pruebas de laboratorio y color, apariencia, textura y sabor a través de paneles de degustación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

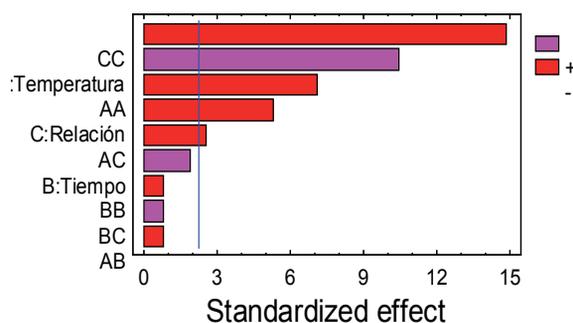
Optimización del proceso de extracción. La tabla ANOVA mostró que el efecto del tiempo, al igual que los efectos de sus interacciones AB (Temperatura-tiempo), BB (Cuadrado del tiempo) y BC (Tiempo-relación) a diferencia del efecto de la temperatura y la relación, no son significativos sobre el rendimiento pues su P-valor es superior a 0.05. Dicho comportamiento puede relacionarse con el tamaño de partícula utilizado en la extracción.

El tamaño aparte de ser muy pequeño se trabajó homogéneo durante la fase experimental facilitando así la separación del componente de interés de la matriz sólida por la gran superficie de contacto con el solvente.

Por su parte el coeficiente de R-squared evidencia un buen ajuste indicando que el modelo diseñado explica el 91.5154% de la variabilidad en el rendimiento de inulina como variable de respuesta, esta afirmación es respaldada por el P-valor de la prueba lack of fit que corresponde a 0.6685, valor superior a 0.05, indicando que el diseño experimental no requiere ajuste lo que permite asegurar que el modelo es adecuado para describir los datos observados con un nivel de confianza del 95%.

El Diagrama de Pareto (Gráfico 1) muestra con claridad los efectos de las variables sobre el rendimiento de inulina tras la etapa de extracción.

Gráfico 1. Diagrama de Pareto para el estudio de los factores de extracción sobre el rendimiento de inulina en la solución



La superficie de respuesta que se presenta a continuación, muestra que la combinación óptima de las variables independientes para maximizar el rendimiento, se encuentra dentro de la región delimitada por los niveles mínimos y máximos de los factores.

Se observa que el mejor rendimiento se obtiene al trabajar con temperaturas entre 81 y 85 °C durante un tiempo comprendido entre los 21 y 25 min con una relación solvente-materia prima estimada en 5.

La Respuesta óptima para extracción (Tabla 2) corrobora la apreciación que permite realizar la Superficie de respuesta obtenida (Gráfico 2).

El modelo matemático que describe la extracción de inulina se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento} = -132,318 + 2,9827*A + 0,584369*B + 10,4182*C - 0,0165046*A^2 - 0,00433333*A*B - 0,0370833*A*C - 0,00709239*B^2 + 0,0216667*B*C - 0,866337*C^2$$

Gráfico 2. Superficie de respuesta para rendimiento de inulina

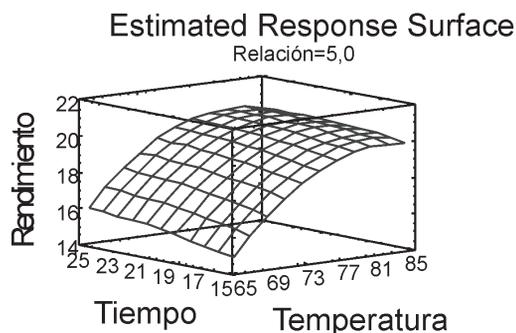


Tabla 2. Respuesta óptima para extracción

Optimize Response

Goal: maximize Rendimiento
Optimum value = 20,703

Factor	Low	High	Optimum
Temperatura	58,182	91,818	82,241
Tiempo	11,591	28,409	23,010
Relación	1,6364	8,364	4,540

Identificación cualitativa y cuantitativa de inulina en el extracto.

Figura 1. Placa de la cromatografía en capa fina para identificación de inulina en la solución



Muestra patrón – Extracto

Como se muestra en la placa (Figura 1), la presencia de inulina en la solución es positiva ya que la marca de la solución extraída (lado derecho) tiene el mismo desplazamiento que la marca de la muestra patrón (lado izquierdo).

El rendimiento óptimo que se obtuvo por la técnica refractométrica fue de 20.7%, es decir aproximadamente 103.5 g de inulina bruta /500 g de yacón, según la tabla de respuesta óptima para la extracción (Tabla 2).

Separación de la inulina. La técnica de secado del extracto permitió obtener un polvo con estructura cristalina de una manera sencilla y eficaz, las partículas obtenidas presentaron un color amarillo-verdoso que se puede atribuir a la ausencia de una etapa de clarificación del extracto.

El rendimiento obtenido tras efectuar el secado del extracto fue del 17.3%, es decir aproximadamente 86.5 g/500 g de yacón, esta diferencia de rendimientos frente a la lectura refractométrica puede ser resultado de las pérdidas que se presentaron durante el trabajo experimental y que se hacen más significativas por tratarse de un proceso a escala de laboratorio.

Caracterización de los cristales obtenidos. De acuerdo a las imágenes captadas a través del microscopio

NIKON, se sugiere que el polvo obtenido posee una morfología de estructura cristalina semejante a un sistema cúbico de clase icositetraedro o trapezoedro cuyas caras forman trapecios [10].

Como se puede observar en las fotografías (Figura 2), los cristales de inulina bien podrían ser llamados “esferocristales” como cita Franck *et al*, en su estudio [11].

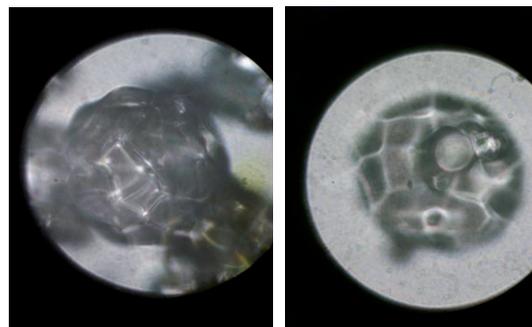
El rango de tamaño de las partículas cristalinas evaluadas con ayuda del microscopio AXIOSTAR PLUS que cuenta con un micrómetro reticular, se sugiere entre 2 y 8.5 μ m.

EL uso de la técnica de microscopía utilizada para la caracterización de los cristales en cuanto a su morfología y tamaño, resultó adecuada ya que permitió observar de manera clara la morfología característica de la inulina en la muestra patrón permitiendo luego identificar a los esferocristales de inulina entre las diferentes formaciones encontradas en la muestra de cristales obtenidos por el secado del extracto.

La cantidad de esferocristales identificados fue relativamente baja en comparación con la cantidad de partículas observadas, debido principalmente a las aglomeraciones presentes que no permitían diferenciar los cristales de manera individual y a la ruptura de los cristales causada por el método mecánico de pulverización. Fueron los cristales encontrados de manera individual, los que permitieron sugerir el tamaño aproximado de los esferocristales, de ahí su amplio rango.

Tras efectuar las pruebas de laboratorio correspondientes, se obtuvo que la densidad aparente de los

Figura 2. Vista microscópica de los cristales de inulina



Cristales de inulina patrón 40X

Cristales obtenidos por secado 40X

cristales de inulina obtenidos con una humedad del 1% corresponde a 1097,2 kg/m³. El punto de fusión de los cristales obtenidos tras dos ensayos se estimó en un rango de 150 - 160 °C, este resultado indica que los cristales de inulina poseen impurezas, las cuales causaron una disminución del punto de fusión de la inulina y que dicha fusión se dio en un rango de temperaturas.

La solubilidad que se obtuvo para los cristales de inulina a una temperatura de 21 °C fue de 60 g/l, sin embargo este resultado no puede ser calificado como característico, pues la literatura no tiene una referencia precisa del valor de solubilidad de esta sustancia.

Finalmente, el panel de degustación de entre las 5 calificaciones posibles: malo, regular, bueno, muy bueno y excelente, dio como constante predominante a los atributos de color, sabor y textura la calificación "regular" debido principalmente a las siguientes observaciones: el color amarillo-verdoso de los cristales, adherencia de los cristales a la dentadura tras la degustación y la poca capacidad edulcorante respectivamente. No obstante el atributo apariencia obtuvo la mejor valoración por parte de los panelistas gracias al aspecto cristalino de las partículas.

CONCLUSIONES

El máximo rendimiento de inulina bruta en el extracto (20.7 %) se obtuvo sometiendo el material vegetal a una extracción de 82.2 °C durante 23 minutos con una relación solvente - materia prima de 4.5 l por cada 500 g.

De las tres variables analizadas para la técnica de extracción de inulina de yacón, las más relevantes fueron la variable relación solvente – materia prima y la temperatura.

El contenido de inulina presente en las raíces de yacón, perfilan a esta materia prima como una alternativa promisoriosa para su utilización en la industria alimentaria y farmacéutica.

RECOMENDACIONES

Sería conveniente replicar este estudio considerando la influencia que podrían tener algunas variables agroclimáticas relacionadas con el cultivo del

yacón sobre el rendimiento y la calidad de la inulina obtenida.

AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de Investigaciones, Posgrados y Relaciones Internacionales – VIPRI de la Universidad de Nariño, por la financiación de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] MANRIQUE, Iván; PÁRRAGA, Adelmo y HERMANN, Michael. Jarabe de yacón: Principios y Procesamiento. En: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003), No. 8A. Lima, Perú. 2005., p. 1-31
- [2] GARCÍA, Renso. Estudio fitoquímico y nutricional de *Smallanthus sonchifolius* (poepp. & endl.) H. Robinson. Distribución geográfica y adaptación del vegetal en tres pisos térmicos colombianos. [en línea]. <URL:http://ut.edu.co/investigacion/actas/2001/12_01.pdf >
- [3] CHACÓN, Alejandro. Perspectivas agroindustriales actuales de los oligofructosacáridos (FOS). En: Agronomía Mesoamericana. Vol. 17, No. 2 (2006); p. 265-280.
- [4] SILVER, Barnard Stewart. Fracciones de inulina novedosas, proceso para la preparación de las mismas y productos alimenticios que contienen dichas fracciones de inulina. En: Oficina española de patentes y marcas. No.ES 2 198 946 T3 (2004); p. 1-14.
- [5] ARANGO, Alberto. et al. Mortalidad por cánceres del aparato digestivo en Colombia entre 1980 y 1998. En: Rev Fac Med Univ Nal Coloma. Vol. 52, No. 1 (2004); p. 19-37.
- [6] SENEI, Alessandro. 2003. Composición edulcorante soluble COB inulina. En: Oficina española de patentes y marcas. No. ES 2 195 319 T3 (2003).
- [7] BRETÓN, Lesmes. Metabolismo colónico de la fibra. En: Revista Nutrición Hospitalaria. Sección de Nutrición Clínica y Dietética. Universidad de Navarra. España. No. XVIII (2002); p. 11 – 16.
- [8] WANG, X. et al. Effects of the in vitro fermentation of oligofructose and inulin by bacteria growing in the human large intestine. En: Journal of applied Bacteriology. Vol. 75, No. 4 (1993); p. 373-380

- [9] LINGYUN, Wei. et al. Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers. En: Journal of Food Engineering. Vol. 79, (2007); p. 1087 - 1093.
- [10] RAMDOHR, P. y BRUHNS, W. Cristalografía. Quinta edición. Editorial Rabasa S.A. México. 1965. 41 p.
- [11] FRANCK, Anne et al. Inulin. [en línea]. <URL:http://www.wiley-vch.de/books/biopoly/pdf_v06/bpol6014_439_448.pdf>