

Perspectivas de la producción de inulina a partir de la tuna (*Opuntia ficus-indica*)

Perspectives of the Production of Inulin from Tuna (*Opuntia ficus-indica*)

Dr. Isnel Benítez-Cortés, Dr. Amaury Pérez-Martínez, Dr. Reynerio Álvarez-Borroto, Msc. Oscar Collado-García, Msc. Yosvany González-Díaz

Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz", Camagüey, Cuba.

RESUMEN

El presente trabajo muestra las potencialidades de producir inulina en Cuba, como suplemento alimenticio por sus excepcionales características nutricionales, a partir de la Tuna (*Opuntia ficus-indica*). Se realiza un estudio de selección de la materia prima teniendo en cuenta contenido de inulina, disponibilidad, entre otros aspectos. Se lleva a cabo un estudio experimental para obtener el modelo de rendimiento de extracción teniendo en cuenta la temperatura y tiempo de extracción, así como la relación solvente/materia y se determina la presencia de inulina utilizando la cromatografía de capa fina. Se define un esquema tecnológico de producción y se determinan los indicadores dinámicos de la inversión que demuestran su factibilidad técnica y económica.

Palabra claves: inulina, tuna, fructooligosacaridos.

ABSTRACT

The present work shows the potentialities of producing inulin in Cuba, as nutritious supplement for its exceptional nutritional characteristic, from Tuna (*Opuntia ficus-indica*). In this study, the raw material selection was carried out a study take into account the inulin content, readiness, among other aspects. An experimental study to obtain the extraction modeling under different levels of temperature and time of extraction, as well as the relationship solvent/raw material was released,

and to determinate the presence of inulin was used the thin layer chromatography (TLC). A flow sheet for the inulin production is presented and the dynamic indicators of the investment determined, demonstrate their technical and economic feasibility.

Keywords: inulin, fructooligosacarides.

INTRODUCCIÓN

Los alimentos funcionales [1] han sido diseñado para cubrir ciertos aspectos alimentarios, como pueden ser: el mejoramiento de las funciones gastrointestinales, actuar sobre el sistema redox y antioxidante, contribuir al metabolismo de macronutrientes (principalmente glúcidos, proteínas y lípidos), favorecer el metabolismo de micronutrientes (vitaminas y minerales) y fortalecer el metabolismo xenobiótico, entre otros. En los últimos años se ha manifestado un creciente interés y consumo por los alimentos funcionales, principalmente de aquellos que poseen un carácter prebiótico. Solo en Estados Unidos, por ejemplo, se estima que unos 160 millones de personas consumieron alimentos funcionales en 2010 y los gastos de la industria alimentaria en el área de alimentos funcionales superó los treinta mil millones de dólares. [2]

La inulina es un carbohidrato de reserva energética presente en muchas especies de plantas; es el nombre de una familia de glúcidos complejos (polisacáridos), cuya estructura está formada por una molécula de glucosa ligada a múltiples unidades de fructosa. Es un ingrediente natural de los alimentos y se encuentra en más de 36000 especies de plantas que almacenan carbohidratos que contienen inulina [3, 4]. Entre las familias de plantas que producen fructanos se identifican las Liliaceae (ajo, cebolla, espárrago, ajo porro, sábila, etcétera), Compositae (achicoria, patata o tupinambo, yacón, etcétera.), Agavaceae (agave o maguey, henequén, etcétera.) y Cactaceae (tuna, chumbera o nopal), entre otras.

La inulina tipo fructano, es uno de los mejores oligosacáridos utilizados por su efecto sobre las bifidobacterias intestinales y es considerado un sustrato prebiótico importante. [5, 6] Es un oligosacárido no digerible que estimula el crecimiento de un número limitado de bacterias en el colon así como contribuye con la atenuación de la glucosa en sangre, homeostasis de lípidos así como mejorar las características reológicas de los alimentos [7].

Como prebiótico, tienen un gran aporte de fibra dietética, bajo valor calórico, hipoglucemiante, mejorador de la biodisponibilidad de calcio y magnesio. Se presentan evidencias promisorias de su actuación en la regulación de parámetros lipídicos, reducción del riesgo de cáncer, refuerzo de la respuesta inmune y protección contra desórdenes intestinales. En una amplia variedad de productos alimenticios se usa la inulina y sus derivados como: espesante, agente emulsificador, gelificante, sustituto de azúcares y de grasas, humectante, depresor del punto de congelación. También se emplean en la industria química-farmacéutica y de procesamiento como excipiente, aditivo, agente tecnológico o coadyuvante; en la industria de la alimentación animal, y se está considerando su uso como constituyente de los empaques por su carácter de material bioactivo [8].

Varios reportes se han realizado de la utilización de inulina en la producción de pasteles, yogurt, galletas [9,10] y harinas [11]. También es usada en la obtención de altas concentraciones de bioetanol por sacarificación y fermentación simultáneas (83-84%), obtención de biodiesel, como hipoglucemiante para diabéticos, coadyuvante en la absorción de calcio y otros minerales para combatir la osteoporosis y otras enfermedades óseas., sustitución parcial o total de la leche materna, fortalecimiento del sistema inmunitario en neonatos y estabilización del sistema gastro-intestinal de vacunos y cerdos para combatir la diarrea entre otras aplicaciones.

MÉTODOS DE EXTRACCIÓN

La producción industrial de la inulina y sus derivados se obtiene, exclusivamente, de la raíz de la achicoria. [8] No existen reportes de su producción a escala industrial a partir de otras fuentes naturales. Dentro de los métodos de extracción se destacan la hidrólisis [12, 13, 14] y la lixiviación. [5]. Tanto en uno como en otros, existen una serie de parámetros que hay que tener en cuenta durante el proceso de extracción como la relación solvente/soluto, temperatura, tamaño de partículas, velocidad de agitación entre otros.

Por tanto, no existen reportadas tecnologías a escala industrial o piloto para la extracción de inulina a partir de la TUNA (*Opuntia ficus-indica*) por lo que este trabajo tiene como objetivo proponer un esquema tecnológico preliminar para la obtención de inulina a partir de la Tuna.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de la fuente natural de inulina

Existe una serie de plantas reportadas por la literatura que tienen un contenido de inulina variable, las cuales van desde la Bardana o Lampazo (*Arctium lappa*) con un 27-45%, continuando con el Agave (*Agave spp*) entre 16-25% hasta el Espárrago (*Asparagus officinalis*) con contenido de inulina entre 2-3%. Existen otras especies de plantas que su alto valor alimenticio compite comercialmente para utilizarlas como fuente de extracción de inulina. Dentro de estas se destacan al ajo, la cebolla, la yuca y el ñame. En este trabajo se decide realizar el estudio a partir de la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) teniendo en cuenta el alto contenido de inulina, alta disponibilidad en Cuba así como condiciones de cultivo y crecimiento de la plantas, al no requerir grandes recursos, específicamente hídricos y su gran adaptación a los climas cálidos, formando de esta forma, parte de la economía agrícola en muchas zonas áridas y semiáridas del mundo.

Extracción a partir de la Tuna (*Opuntia ficus-indica*)

Se diseña un experimento con el objetivo de estudiar la influencia de varias variables en el rendimiento de inulina en base seca durante el proceso de extracción, utilizando el software Statgraphics Centurion XV 15.1.02. Se obtienen un diseño compuesto central, más puntos estrella y puntos centrales para obtener el modelo empírico del proceso de extracción, a partir de un diseño 23. Las variables independientes son: la temperatura de extracción entre 70-90°C, el tiempo de extracción fijado en 30-45 minutos y la relación solvente/materia prima

entre 5-10 ml/100g. [15] El cálculo de la variable dependiente rendimiento se calcula como se muestra en la ecuación 1.

$$\text{Rendimiento} = \left[\frac{m_{\text{inulina}}}{mS_{\text{planta}}} \right] 100 \quad (1)$$

Procedimiento experimental

Molienda. Se toman las pencas de Tuna frescas (cortadas el mismo día) y se lavan, pelan (eliminación de la corteza) y se muelen finamente hasta obtener una solución gelatinosa de color verde. El producto de la molienda se designa como material crudo.

Extracción. Para la extracción de las sustancias solubles se toman en todos los casos 100g de material crudo, se tratan con agua destilada según el diseño experimental y se colocan en Baño de María a una temperatura de 90°C, acompañado de una ligera agitación para favorecer la transferencia de masa, según el diseño experimental.

Decantación. Los cristales son separados cuidadosamente por decantación del resto del material.

Secado. Los cristales húmedos son sometidos a un proceso de secado en una estufa, a 80°C durante un tiempo de 25 min.

Identificación cualitativa de la sustancia obtenida

Para la identificación cualitativa de la sustancia se realizan tres etapas: examen físico, evidencias organolépticas e identificación final.

Dentro del examen físico se tienen en cuenta dos aspectos fundamentales, el punto de fusión, el cual se determina en una Microplatina WRS-2A y la forma física de la sustancia, la que se observa a través de un Microscopio Trinocular, marca Novel. Luego, se pasa a analizar la evidencia organoléptica donde se describen su color, su sabor y su olor. Por último, se procede a la identificación final de la sustancia mediante la realización de pruebas cualitativas de identificación como la reacción de Molish, reacción con yodo o lugol y reacción con el reactivo de Benedict.

Para establecer la identidad final de las muestras se utiliza la cromatografía de capa fina utilizando un solvente compuesto por butanol, isopropanol, agua y ácido acético (7:5:4:2), la solución reveladora contiene anilina, difenilamina, ácido fosfórico y acetona (1:1:5:50). La placa se calienta a 85°C durante 10 min. Como muestras patrones se utilizaron soluciones de glucosa y fructosa ya que, según la bibliografía consultada, la inulina contiene estos azúcares libres. Al no contar con un patrón de inulina, se calcula el factor de retención (Rf) de la muestra y se compara con la de la Inulina. Se conoce que el factor de retención de esta es de 0,873.

Propuesta de flujo tecnológico

A partir de los estudios realizados así como de la revisión bibliográfica, se propone un esquema tecnológico de extracción de inulina a partir de la Tuna, se realizan los balances de masa de cada una de las etapas, los cuales son utilizados para el dimensionamiento de los equipos de una planta a escala piloto. Con estos

resultados, se realiza un análisis económico de la propuesta tecnológica, donde se determina el costo de adquisición de los equipos, de inversión y de producción según criterios de Peter y Timmerhaus [16] así como los indicadores dinámicos de la inversión. Se determina el precio de venta de la inulina que permita la factibilidad del proceso a partir de la determinación de los indicadores dinámicos de la inversión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Obtención del modelo experimental de extracción

Los análisis estadísticos de los resultados experimentales del proceso de extracción, muestran que el efecto del tiempo y la relación solvente- materia prima, al igual que el resultado de la interacción temperatura-tiempo, temperatura-relación solvente-materia prima y la relación tiempo-relación solvente-materia prima son significativas sobre el rendimiento, pues sus valores de probabilidad son inferiores a 0, 01.

Por su parte el coeficiente de R-cuadrado evidencia un buen ajuste indicando que el modelo diseñado explica el 98,1655 % de la variabilidad en el rendimiento de inulina como variable de respuesta.

Esta afirmación es respaldada por el valor de P inferior a 0, 01, indicando que el modelo es adecuado para describir los datos observados con un nivel de confianza del 99 %.

El Diagrama de Pareto que aparece en la figura 1 muestra con claridad los efectos de las variables sobre el rendimiento de inulina tras la etapa de extracción. Se observa que el mejor rendimiento dentro de los rangos establecidos se obtiene al trabajar con la temperatura de 90 °C durante un tiempo comprendido de 45 minutos con una relación solvente-materia prima estimada en 10.

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

$$\text{rendimiento} = 7,74800 - 0,052612T - 0,0924639t + 0,0989693RSMP + 0,00103462Tt - 0,00267494TRSMP + 0,00488045tRSMP \quad (2)$$

dónde

T: temperatura

t: tiempo, RSMP: relación solvente/materia prima

Tt: combinación temperatura-tiempo

TRSMP: combinación temperatura-relación solvente/materia prima

tRSMP: combinación tiempo- relación solvente/materia prima

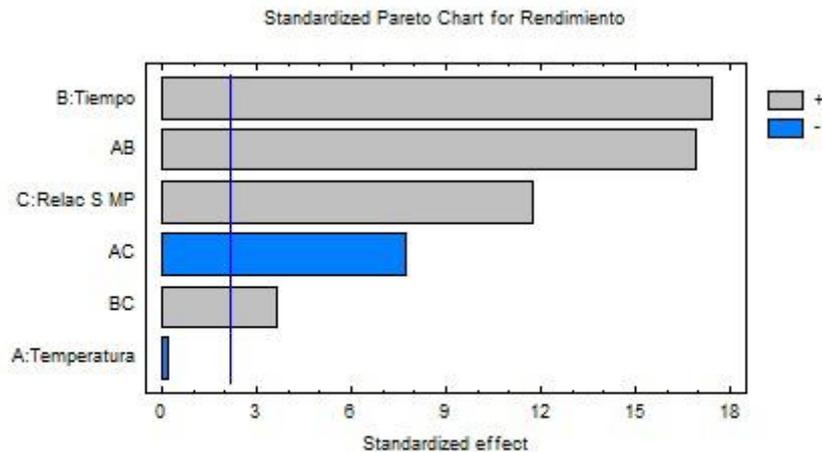


Fig. 1 Diagrama de Pareto para el estudio de los factores de extracción sobre el rendimiento de Inulina

Identificación de la inulina

Después de haber sometido los cristales obtenidos a las diferentes pruebas para su identificación se obtiene que el sólido posee las mismas características que las reportadas en la bibliografía para la inulina, es decir, en cuanto a las organolépticas: color blanco, insípido e inodoro. En cuanto a las evidencias físicas se obtiene que su punto de fusión es de 423,5 K, (muy similar al de la Inulina que es 423 K), lo cual se debe a la presencia de impurezas. Con respecto a su forma en la figura 2 se aprecia que es esférica descartando de esta manera que el polisacárido sea almidón, ya que este presenta una estructura amorfa.



Fig. 2 Estructura de la muestra

Según las pruebas cualitativas de Molich, Yodo o Lugol y Benedict se comprueba que la sustancia obtenida es un polisacárido. La cromatografía de capa fina (figura 3) da como resultado que el compuesto obtenido, en su composición, posee fructosa, glucosa y aparece un tercer componente, al cual se le determina el factor de retención. El valor obtenido es de 0,87. Una comparación con el valor de Rf obtenido, permite inferir que la sustancia obtenida es inulina, una vez que se conoce que el factor Rf es constante e igual para cada tipo de sustancia.

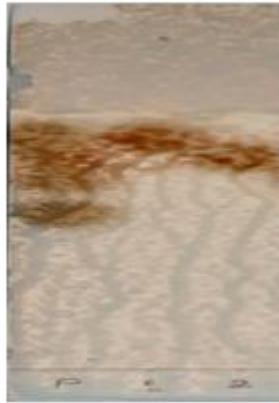


Fig. 3 Resultados de la cromatografía de capa fina

Esquema del flujo tecnológico propuesto

La figura 4 muestra la propuesta del proceso tecnológico para la extracción de inulina a partir de la Tuna. El diseño preliminar de la planta para la obtención de inulina, parte de la utilización de 105 kg de materia prima en dos lotes por día. Esto implicaría el uso de 55 440 kg/a de materia prima basado en la idea de producir cinco días a la semana por 11 meses al año. Con esta carga de materia prima se espera obtener 3 896,64 kg de inulina lo que representa el 7,38 % de la materia prima.

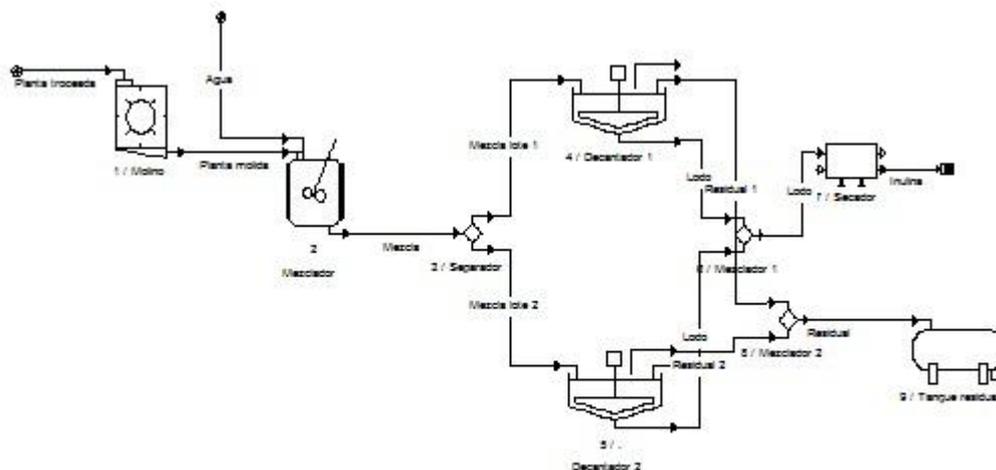


Fig. 4 Esquema tecnológico de la planta de producción de inulina a partir de la Tuna

El proceso comienza con la recepción de la materia prima en un tanque receptor, la cual debe estar previamente lavada, desinfectada y pesada, y está constituida por la parte aérea de la planta (hojas). Al salir de este tanque de almacenamiento, la materia prima es troceada manualmente y luego es introducida en un molino triturador desintegrador con el objetivo de disminuir el tamaño de partículas para aumentar la superficie de contacto. Posteriormente, pasa a un tanque mezclador donde se le adiciona agua para extraer la inulina presente en la planta mediante un proceso de lixiviación. El resultado del proceso de extracción consiste en la formación de tres fases, una capa sobrenadante formado por las sustancias insolubles, una solución acuosa y una cierta cantidad de cristales que precipitaron

en el fondo del recipiente. En este tanque debe mantenerse la temperatura de 90°C para lograr una mejor disolución de la inulina en el agua.

Una vez disuelto el contenido de inulina en agua, se procede a una etapa de reposo y decantación el que se lleva a cabo en un tanque, con el fin de que dicha mezcla alcance la temperatura ambiente, ya que según literatura la inulina presente en esta precipitará a esta temperatura y de esta forma separarla del medio acuoso. Luego de la decantación, el lodo obtenido pasa a un secador de tambor rotatorio donde se pierde la humedad residual formándose los cristales de inulina con un bajo contenido de humedad. El residual puede utilizarse como abono para la agricultura aunque se puede estudiar la posibilidad de su utilización como alimento animal.

Análisis económico

Partiendo de la metodología propuesta, se realiza la selección de los equipos involucrados y se detemina su capacidad, partiendo de los resultados de los balances de masa. La tabla 1 muestra los resultados de los balances de masa. Con estos resultados se diseñan los equipos a la capacidad deseada y se obtienen los costos de adquisición según Peter [16]. Estos son actualizados a partir de los índices de costo. Los resultados actualizados aparecen reportados en la tabla 2.

Tabla 1
Resultados de los balances de masa

Equipos	Flujo de entrada	Flujo de salida
Molino	105 kg de planta	100 kg de planta molida
Mezclador	100 kg de planta y 1 095,6 kg de agua	1 195,6 kg de mezcla
Tanque para la decantación	1 195,6 kg de mezcla	1 085, 66 kg de agua– residuo+10,33 kg de Inulina húmeda
Secador	10,332 kg de Inulina húmeda	7,38 kg de Inulina seca+2,92kg de agua

Tabla 2
Costo de adquisición del equipamiento

Equipos	Variable de Diseño	Costo de adquisición (USD)
Molino Triturador - desintegrador	Flujo (t/ h)	8 000,00
Mezclador	Volumen (m ³)	8 300,00
Tanque para la decantación (2)	Volumen (m ³)	6 000,00
Secador de Tambor Rotatorio	Flujo (kg/ h)	6 818,00
Total		37 300,00

La figura 5 muestra los resultados de las partidas del costo de inversión. Los resultados muestran un costo de inversión de la tecnología de 157 406 USD. No es posible realizar una comparación con costos de inversión de tecnologías ya establecidas en el mundo, ya que no existen reportes de plantas químicas de extracción de inulina a partir de la Tuna.

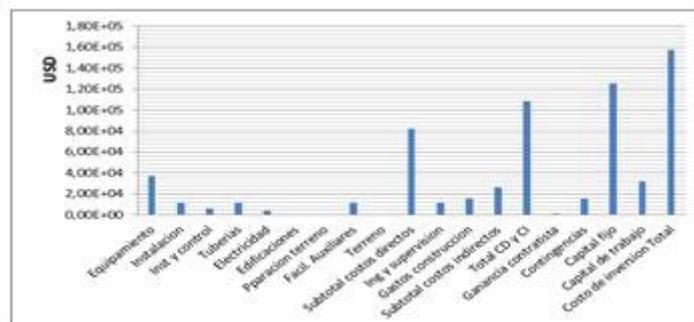


Fig. 5 Partidas del costo de inversión (USD)

Para el cálculo de los costos de producción, se parte de la metodología establecida por Peter [16] donde se establecen los porcentajes de cada una de las partidas en el costo total de producción, a partir de la determinación de los costos fijos, variables y los gastos. La figura 6 muestra los resultados.

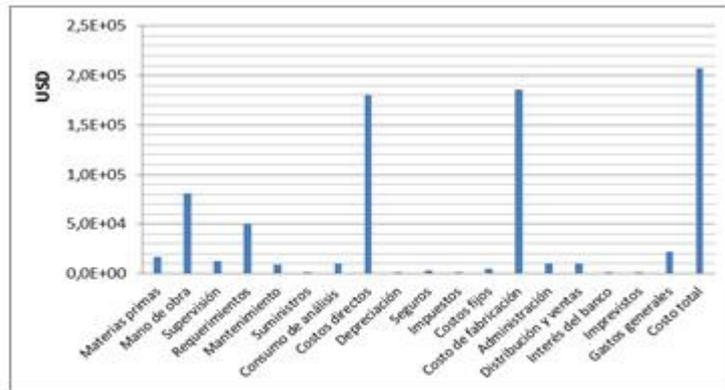


Fig. 6 Resultados de los costos de producción (USD)

En cuanto a los ingresos, según bibliografías consultadas, el precio de la inulina es muy variable, reportándose valores entre 25-300 CUC/kg en dependencia de su pureza. Para realizar los cálculos de los indicadores dinámicos de la inversión se parte de un precio de venta de la Inulina variable que oscila entre 5-300 USD/kg. Los cálculos se realizan tomando en cuenta la producción de dos lotes diarios con un consumo de materia prima de 105 kg/lote. Esto representa, al año, un consumo total de 55 440 kg/año. Según el índice de consumo 0.0738 kg de inulina/kg de materia prima, este consumo produciría un total de 3 897 kg de Inulina/año. Con este resultado, se trabaja en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, variando los precios de venta hasta lograr que el proyecto sea factible económicamente, definido por el valor de la Tasa Interna de Retorno mayor del 30 %, el cual se logra para un precio de venta de 145 CUC/kg de inulina. En este punto, se obtienen los valores de Valor Actual Neto mostrados en la figura 7, recuperándose la inversión en un tiempo aproximado de 3,7 años.

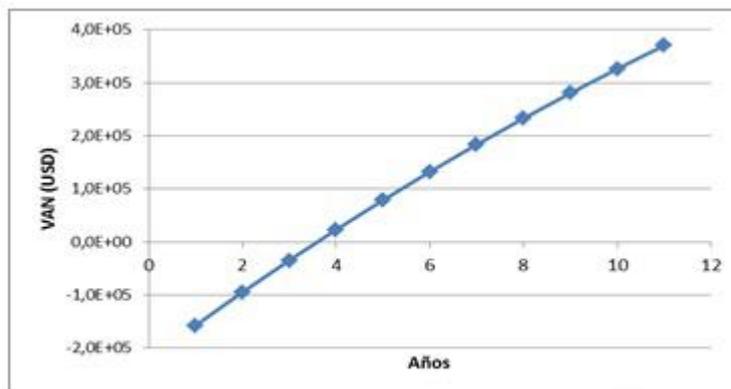


Fig. 7 Resultados del VAN y PRI

CONCLUSIONES

1. Los resultados experimentales demuestran la presencia de inulina en la Tuna y el desarrollo de un modelo que permite establecer el rendimiento del proceso de extracción ante la influencia de diferentes variables de operación.

2. La propuesta tecnológica para la extracción de inulina de la Tuna resulta factible desde el punto de vista técnico y económico.

BIBLIOGRAFÍA

1. ROBERFROID, M. "Inulin-type fructans and the modulation of the intestinal microflora". *British Journal of Nutrition*. 2005, vol. 25.
2. BURDOK, G. "The importance of GRAS to the functional food and nutraceutical industries". *Toxicol*, 2011, vol. 10.
3. AZZA, Abou-Arab, et al. "Physico-chemical properties of inulin produced from Jerusalem artichoke tubers on bench and pilot plant scale". *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2010, vol 5, núm. 5, p. 1297-1309.
4. CARPITA, N., et al. "Linkage structure of fructans and fructan oligomers from *Triticum aestivum* and *Festuca arundinacea* leaves". *Journal Plant Physiol*. 1989, vol. 134, p. 162-168.
5. GAAFAR, A. M. "Extraction Conditions of Inulin from Jerusalem Artichoke Tubers and its Effects on Blood Glucose and Lipid Profile in Diabetic Rats". *Journal of American Science*. 2010, vol. 6, núm. 5.
6. VOS, P. A. et al. "A specific prebiotic oligosaccharide mixture stimulates delayedtype hyper sensitivity in murine influenza vaccination model." *International Immuno- Pharmacology*. 2006, vol. 6, p. 1277 - 1286.
7. TAHA, H. S. et al. "In vitro studies on Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) and enhancement of inulin production. *Journal of Applied Sciences Research*. 2007, vol. 3, núm. 9, p. 853-858.
8. MADRIGAL, Lorena; SANGRONIS, Elba. "La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos Funcionales, *Archivos Latinoamericanos de Nutricion, Organo Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición*. 2007, vol. 57, núm. 4.
9. HERNANDEZ, Renata. et al. "Iogurte" de soja suplementado com oligofrutose e inulina". *Ciênc. Tecnol. Aliment*. 2005, vol. 25, núm. 1, p. 175-181.
10. ROMÁN, Luis, et al. "Ensayo clínico aleatorizado y doble ciego con una galleta enriquecida en inulina en el patrón de riesgo cardiovascular de pacientes obesos". *Nutrición Hospitalaria*. 2010, vol. 25, supl. 2.
11. MOSCATTO, Janaína, et al. "Farinha de yacon e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate". *Ciênc. Tecnol. Aliment*. 2004, vol. 24, núm. 4, p. 634-640
12. CARNITI, Paolo, et al. "Hydrolysis of inulin: a kinetic study of the reaction catalyzed by an Inulinase from *Aspergillus ficuum*". *Biotechnology and Bioengineering*. 1991, vol. 37, p. 575-579.

13. HY, Huaxi, et al. "Extraction and enzymatic hydrolysis of inulin from jerusalem artichoke and their effects on textural and sensorial characteristics of yogurt". Food Bioprocess Technol. 2010, vol. 3, p. 315-319.

14. MONTAÑEZ, J., et al. "Extracción, caracterización y cuantificación de los fructanos contenidos en la cabeza y en las hojas del Agave tequilana Weeber Azul". Bioagro, 2011, vol. 23, núm. 3, p. 199-206.

15. LINGYUN, W. "Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers". Journal of Food Engineering. 2007, vol. 79, núm. 3, p. 1087-1093

16. PETERS, M. S.; TIMMERHAUS, K.D. Plant Design and Economics for chemical Engenieers. 4ta ed. Nueva York, McGraw-Hill, 1991, 923 p. ISBN 0-07-100871-3.

Recibido: Noviembre 2014

Aprobado: Febrero 2015

Dr. Isnel Benítez-Cortés. Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz", Camagüey, Cuba.