



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

ESCALAMIENTO DE LA PRODUCCIÓN DE BEBIDAS FUNCIONALES A PARTIR DE PRODUCTOS VEGETALES NO TRADICIONALES

Luis Eduardo Jiménez Cucaita

Trabajo final presentado como requisito parcial para optar al título de
Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Directora:
PhD. María Soledad Hernández

Línea de trabajo:
Ingeniería y Tecnología

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Bogotá D.C., Colombia
2017

Resumen

Durante esta investigación bibliográfica se estableció el potencial de productos vegetales no tradicionales para la preparación de bebidas funcionales tipo néctar o jugo y se propuso una metodología que permite el escalamiento de las diferentes etapas involucradas en la transformación del producto vegetal en una bebida funcional. La revisión bibliográfica inicia desde la precisión del concepto de alimento funcional o nutraceutico, productos vegetales no tradicionales, hasta la consulta de los requisitos legales y especificaciones técnicas de las bebidas listas para beber (RTD). Así mismo, se presenta un caso de estudio para aplicar la metodología de escalamiento de la producción de bebidas funcionales tipo néctar o jugo de yacón (*Smallanthus sonchifolius*).

Abstract

During this literature review the potential of non-traditional vegetable produces for the preparation of functional beverages such as nectar or juice was established and a methodology was proposed which allows the scale-up of the different stages involved in the transformation of vegetal produces into functional beverages. The literature review goes from the concept of functional or nutraceutical food, non-traditional vegetable produces, to the consultation of legal requirements and technical specifications for RTD beverages. Likewise, a case study is presented to apply the methodology of scale-up during the production of functional drinks such as nectar or juice from yacon (*Smallanthus sonchifolius*).

Palabras claves: Yacón, escalamiento de procesos, néctar, jugo, alimento funcional o nutraceutico.

Contenido

Resumen.....	1
Lista de figuras.....	3
Lista de tablas.....	4
Introducción.....	5
Metodología.....	6
1. Alimentos funcionales y nutraceuticos.....	7
1.1 Clasificación de compuestos nutraceuticos.....	8
1.2 Bebidas funcionales.....	10
2. Productos vegetales no tradicionales.....	10
2.1 Arazá.....	11
2.2 Copozú.....	11
2.3 Carambolo.....	12
3. Zumos y néctares.....	13
3.1 Definición de zumo y néctar.....	13
3.2 Escalamiento de la producción de alimentos.....	13
4. Caso de estudio: Yacón.....	14
4.1 Caso de estudio: Yacón.....	14
4.1.1 Generalidades del yacón.....	14
4.1.2 Propiedades funcionales del yacón.....	15
4.1.3 Características fisicoquímicas y componentes bioactivos.....	17
4.1.4 Usos y aplicaciones del yacón como matriz alimentaria.....	18
4.1.5 Agronomía.....	19
4.1.6 Efecto del procesamiento en la calidad y valor nutricional.....	19
4.1.7 Publicaciones sobre el Yacón en los últimos años.....	20
4.2 Metodología para el escalamiento de la producción de zumos y néctares de Yacón.....	22
4.2.1 Definición del producto: Bebida Funcional de Yacón.....	23
4.2.2 Síntesis preliminar del proceso de producción de bebidas de yacón.....	24
5. Conclusiones y recomendaciones.....	27
Bibliografía.....	28
Anexo: Resumen de estudios sobre los beneficios del yacón para la salud.....	30

Lista de figuras

Figura 1. Diagrama esquemático de las diferentes clasificaciones y modos de asociación de los alimentos.	7
Figura 2. Algunos ejemplos de alimentos funcionales.	8
Figura 3. Fruto de arazá en grado de madurez para procesamiento.	11
Figura 4. Fruto de copoazú en óptimo estado para procesamiento.	12
Figura 5. Fruto de carambolo en óptimo estado para procesamiento.	12
Figura 6. Planta de yacón.	15
Figura 7. Número de publicaciones en revistas indexadas por año.	20
Figura 8. Número de publicaciones por tipo de fuente.	21
Figura 9. Publicación de artículos de investigación por país.	21
Figura 10. Temas de investigación.	21
Figura 11. Bebida funcional tipo néctar de yacón preparada	24
Figura 12. Pelado del yacón.	25
Figura 13. Diagrama de bloques de las diferentes operaciones.	26

Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación de algunos compuestos nutraceuticos de acuerdo a su función biológica y estructura química.....	8
Tabla 2. Algunas aplicaciones industriales del yacón reportadas en la literatura.....	18
Tabla 3. Algunos estudios realizados en términos del procesamiento del yacón.....	19
Tabla 4. Formulación de una bebida funcional tipo néctar de yacón.	23

Introducción

Existe una creciente demanda de productos funcionales o neutracéuticos como resultado de la preocupación de los consumidores por la calidad de los alimentos y los cambiantes estilos de vida de nuestra sociedad moderna. Estos alimentos brindan un beneficio para la salud más allá de la función de los alimentos: nutrir. El yacón, una matriz alimentaria de los Andes, tiene gran potencial como alimento funcional debido a su alto contenido de fructooligosacáridos (FOS), que promueve el desarrollo de microorganismos en el colon. El consumo regular de yacón puede beneficiar a pacientes con enfermedades digestivas, problemas de diabetes y síndromes metabólicos. Esta revisión bibliográfica surge como iniciativa para promocionar y divulgar las estrategias para el aprovechamiento de productos vegetales no tradicionales debido a sus contenidos importantes de compuestos bioactivos, de manera que sirva de base para investigaciones profundas o negocios de emprendimiento.

Objeto de investigación

Objetivo general:

Desarrollar una bebida funcional tipo jugo a partir de una matriz alimentaria como lo es el Yacón, estableciendo las condiciones de operación necesarias y sus efectos en los componentes bioactivos para escalar el proceso de producción.

Objetivos específicos:

- Revisar la literatura para establecer los compuestos bioactivos del yacón y sus efectos sobre la salud humana.
- Revisar metodologías para escalar el proceso de producción del producto
- Proponer alternativas para valorar productos vegetales no tradicionales en la preparación de bebidas funcionales.
- Formular una bebida funcional a partir de un producto vegetal.

Metodología

La metodología de estudio implicó una investigación de tipo teórica o documental, realizando una revisión bibliográfica consultando las principales revistas indexadas de Ciencia e Ingeniería como Science Direct, Springer Link, ACS Publications, Wiley Online Library y Scielo. La búsqueda se realizó aplicando los siguientes criterios de búsqueda: yacón, yacon, *Smallanthus sonchifolius* y la información se organizó con ayuda del gestor de bases de datos Mendeley. Después de la revisión bibliográfica se aborda un caso de estudio para proponer una metodología para el escalamiento de las diferentes etapas involucradas en la transformación del producto vegetal en una bebida tipo néctar o jugo a partir de yacón (*Smallanthus sonchifolius*).

1. Alimentos funcionales y nutraceuticos

Con frecuencia los términos “alimentos funcional y nutraceutico” se usan indistintamente para describir a los alimentos que ejercen una función sobre la salud apoyando las funciones básicas del organismo humano. Sin embargo, dependiendo del autor o del ente regulador de cada país se establece inclusive una clara diferencia entre: alimento convencional, alimento funcional, alimento nutraceutico y suplementos dietarios (ver figura 1). A lo largo de este escrito se considera que los alimentos funcionales son aquellos a los que se le han adicionado componentes nutraceuticos o se le han eliminado componentes bioactivos dañinos o tóxicos para la salud.

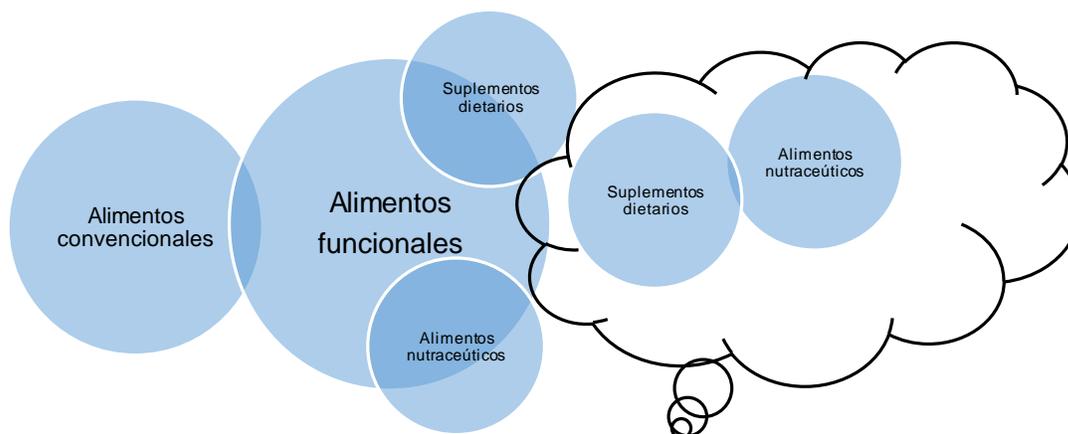


Figura 1. Diagrama esquemático de las diferentes clasificaciones y modos de asociación de los alimentos.

El ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar Japonés fue quien primero delimitó en 1980 a un conjunto de alimentos benéficos para la salud bajo la denominación FOSHU (Food for Specified Health Uses), pues estos alimentos contienen ingredientes con funciones saludables para los cuales se aprueba que declaren sus efectos fisiológicos en los consumidores (Illanes, 2015)

El Consejo de Nutrición y Alimentación de la Academia de Ciencias de los Estados Unidos los define como: “Alimentos modificados o que contengan un ingrediente que demuestre una acción que incremente el bienestar del individuo o disminuya los riesgos de enfermedades, más allá de la función tradicional de los nutrientes que contiene”

El Instituto Internacional de Ciencias de la Vida (ILSI, por sus siglas en inglés) definió los alimentos funcionales como “alimentos que, por virtud de la presencia de componentes fisiológicamente activos, proveen beneficios para la salud, más allá de la acción clásica de los nutrientes”

Mientras el Centro de Información Internacional de Alimentos (IFIC) los define como “aquellos productos a los cuales intencionalmente se les adiciona un compuesto específico para incrementar sus propiedades saludables” y define como alimentos saludables a aquellos que, en su estado natural o con un mínimo de procesamiento, tienen compuestos con propiedades beneficiosas para la salud.

Araya & Lutz en su artículo Alimentos Funcionales y Saludables, realizan la distinción entre estos dos tipos de alimentos y definen alimentos saludables a aquellos alimentos naturales que cumplen las definiciones de la Academia de Ciencias de los Estados Unidos y de ILSI. Por su parte, el término de alimentos funcional se deja para aquellos que experimentan un procesamiento que implique aumento de sus propiedades saludables (Araya L & Lutz R, 2003).

Del artículo Alimentos funcionales y Biotecnología de Andrés Illanes: “Los alimentos son considerados funcionales si, más allá de su efecto nutricional, favorecen una o más funciones fisiológicas en el cuerpo humano, mejorando la condición física general y/o reduciendo el riesgo de enfermedad. Un aspecto esencial es que la cantidad y forma de consumo debe ser la habitual en la dieta, por lo que el alimento funcional es ante todo un alimento y no un fármaco. No obstante, los alimentos funcionales pueden contribuir a la prevención y tratamiento de enfermedades en cuyo caso se les denomina nutraceuticos” (Illanes, 2015).

Algunos ejemplos de alimentos funcionales son zumos enriquecidos, leches enriquecidas, yogures fermentados con cultivos probióticos, cereales fortificados, pan enriquecido, huevo enriquecido, margarinas enriquecidas, sal yodada, etc.



Figura 2. Algunos ejemplos de alimentos funcionales. Fuente: <http://www.foodinsight.org/>

1.1 Clasificación de compuestos nutraceuticos

La palabra “nutraceutico” fue introducida en el año de 1989 por el Dr. Stephen L. DeFelice y surge de la unión de las palabras nutrición y farmacéutico, y se refiere a los compuestos bioactivos que consumidos junto con una dieta balanceada benefician la salud de los seres humanos. Estos compuestos bioactivos se encuentran presentes en el reino vegetal, sobre todo en frutas y verduras, sin embargo, también pueden sintetizarse para emplearse como aditivos en productos alimenticios.

Los nutraceuticos pueden ser de origen animal, mineral y vegetal (fitoquímicos) y se clasifican dependiendo de su función biológica o de su estructura química (ver tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de algunos compuestos nutraceuticos de acuerdo a su función biológica y estructura química. Adaptado de: (Salvador Badui, 2013)

Clasificación por función biológica	Clasificación por su estructura química	
	Fitoquímicos	Otros nutraceuticos
<i>Anticancerígenos</i>	Carotenoides	Probióticos y prebióticos
<i>Hipocolesterolémicos</i>	Polifenoles	Aminoácidos y proteínas
<i>Antiinflamatorios</i>	Antocianinas	Hidratos de carbono
<i>Osteogénicos</i>	Flavonoides	Lípidos
<i>Antibacteriales</i>	Derivados azufrados	Vitaminas
<i>Antioxidantes</i>	Fitoesteroles	Minerales

Probióticos y prebióticos:

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define los probióticos (del latín *pro*, a favor, y *bios*, vida) como “bacterias que permanecen activas en el sistema digestivo y potencian un efecto inmunológico y de protección contra patógenos”. Así, estos microorganismos fortalecen la microflora benéfica del intestino grueso, mientras reducen la microflora dañina, como salmonellas y clostridium, brindando protección inmunitaria al sintetizar inmunoglobulina y al facilitar la proliferación de linfocitos y macrófagos. Los microorganismos más comunes son: *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus casei*, *Bifidobacterium infantis*, *Bifidobacterium bifidum* y *Bifidobacterium longum*. De estos microorganismos las bifidobacterias son más efectivas como probióticos que los lactobacilos (Salvador Badui, 2013).

Los probióticos deben cumplir los siguientes requisitos para que sean efectivos:

- a) Mantenerse activos en el alimento, pues las altas temperaturas los destruyen.
- b) Ser habitantes normales del intestino.
- c) Sobrevivir las condiciones extremas del estómago: pH de 2.2 y los ácidos biliares, para llegar a su destino a una elevada concentración.
- d) Reproducirse rápidamente.
- e) Sintetizar compuestos antimicrobianos.

Por su parte, los prebióticos (del latín *pre*, antes y *bios*, vida) son “ingredientes alimenticios no digeribles que afectan de forma benéfica al hospedero, estimulando selectivamente el crecimiento y la actividad de una o más bacterias benéficas del colon y mejorando la salud del hospedero”. Estos compuestos deben resistir la acidez del estómago, no ser atacados por las enzimas digestivas del intestino delgado y estimular de forma selectiva el crecimiento de los probióticos. Entre los principales ingredientes prebióticos se encuentra: fibras dietéticas, lactitol, lactulosa, inulina y oligofructosa (FOS) (Salvador Badui, 2013).

El consumo de fructooligosacáridos (FOS) e inulina mejora el crecimiento de bifidobacterias en el colon, mejora la absorción de minerales y el metabolismo gastrointestinal y juega un papel importante en la regulación del colesterol sérico. Además, la literatura reporta que el consumo de estos probióticos mejora positivamente la modulación del sistema inmune, mejorando la resistencia a infecciones y a reacciones alérgicas. Ciertos estudios han demostrado el potencial del yacón como alimento funcional para pacientes con condiciones de salud que requieren cambios en su dieta alimenticia (Choque Delgado, da Silva Cunha Tamashiro, Maróstica Junior, & Pastore, 2013).

Polifenoles:

Los compuestos polifenólicos son una gran familia de metabolitos secundarios en los que se incluye a las antocianinas, flavonoides (isoflavonas, flavononas y flavonoles), los taninos y los lignanos. La estructura química principal de los polifenoles corresponde al fenol y se les ha atribuido efectos antioxidantes, antiinflamatorios, cardioprotectores y antimicrobianos. Las antocianinas son pigmentos fitoquímicos que pueden regular la glucosa sanguínea, proteger contra la cardiopatía coronaria y la hipertensión y tener un efecto antiinflamatorio. Los

flavonoides en la planta desempeñan una doble función, como protección contra depredadores herbívoros y patógenos y además para favorecer la polinización (Salvador Badui, 2013).

Fibra dietaria:

La Asociación Americana de Químicos del Cereal (AACC, por sus siglas en inglés) definió en el año 2000 la fibra dietaria como la parte comestible de la planta que es resistente a la digestión y a la absorción en el intestino delgado por acción de enzimas alimentarias, sino que más bien es fermentada total o parcialmente en el intestino grueso del hombre. La fibra dietaria incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas. La fibra dietaria ha sido consumida por los seres humanos desde siglos y es reconocida por brindar beneficios a la salud. Se clasifica como fibra soluble e insoluble, de acuerdo a su solubilidad en agua. La fibra insoluble incluye la celulosa, hemicelulosa y la lignina, mientras la fibra soluble incluye pectinas, gomas y mucílagos (Dhingra, Michael, Rajput, & Patil, 2012).

1.2 Bebidas funcionales

Una bebida funcional es una bebida no alcohólica que es formulada con ingredientes nutraceuticos como frutas, hierbas, vitaminas, minerales, aminoácidos y todos los demás compuestos bioactivos que brindan beneficios específicos para la salud humana (Chandra, Hegde, Dhillon, & Sarma, 2014).

Las bebidas funcionales están ganando mayor interés debido a los beneficios asociados a su consumo, considerando la alta demanda de alimentos de calidad y las recientes tendencias como alimentos naturales, funcionales, bajos en calorías, etc., la inclusión de yacón como fuente de prebióticos representa una gran oportunidad de innovación como alimento funcional o como suplemento dietario.

De todos los productos funcionales que hoy día se ofrecen en el mercado, las bebidas son las más emergentes de todas las categorías, por su conveniencia y posibilidad de satisfacer las necesidades de los consumidores en términos de contenido, tamaño, forma y apariencia, por su facilidad de distribución y almacenamiento, por su larga vida útil y por la oportunidad de incorporar nutrientes y componentes bioactivos fácilmente. Existen diferentes tipos de productos comerciales como: (1) bebidas lácteas incluyendo bebidas probióticas y bebidas enriquecidas con minerales y omegas, (2) bebidas de frutas y vegetales, y (3) bebidas energizantes y deportivas (Corbo, Bevilacqua, Petrucci, Casanova, & Sinigaglia, 2014).

2. Productos vegetales no tradicionales

Los productos vegetales no tradicionales y las frutas tropicales son fuentes importantes de vitaminas hidrosolubles, fitoesteroles, ácidos grasos tipo omega 3, fibra, prebióticos y probióticos, polifenoles y otros compuestos antioxidantes. Dentro de las frutas tropicales que cuentan con concentraciones elevadas de compuestos bioactivos se destacan el camu-camu (*Myrciaria dubia*), la acerola (*Malpighia puniceifolia*) por ser la fruta comestible con mayor contenido de vitamina C, cajú o marañón (*Anacardium occidentale*), el asaí, el arazá, el copazú, el carambolo, entre otros (Dionisio et al., 2016).

2.1 Arazá

El arazá es una fruta amazónica de la familia Myrtaceae. Se distinguen dos subespecies, la *stipitata* y la *sororia*, la primera es de frutos más pequeños y algo más rústicos, mientras que la segunda es de frutos de mayor tamaño, mayor rendimiento y pulpa de aroma y sabor atractivos. El arazá es una baya carnosa con epicarpio pubescente, fino y amarillento, de sabor atractivo y su forma es entre ovalada y redonda. El fruto se comercializa fresco, aunque usualmente es comercializado en forma de jugo, néctar, bocadillos, mermeladas y en conservas. La literatura reporta que composición de la fruta depende de la subespecie considerada, sin embargo, contiene entre 8-10.75% de proteínas, 5-6.5% de fibra, 69-72% de carbohidratos, 0.16-0.21% de calcio, fósforo, potasio, magnesio y zinc. En 100 g de fruta hay aproximadamente 7.75 mg de vitamina A, 9.84 mg de vitamina B1 y 7.68 mg de vitamina C (duplicando los valores del jugo de naranja). Los compuestos bioactivos podrían brindar beneficios para la salud humana debido a su potencial antioxidante y propiedades de eliminación de radicales libres. Aunque los mercados locales recomiendan el consume de arazá para tratamientos del intestino, la vejiga y para aliviar resfriados, no existe investigación científica que soporte tales beneficios para la salud (Fernández-Trujillo, Hernández, & Carrillo, M. & Barrera, 2011).



Figura 3. Fruto de arazá en grado de madurez para procesamiento. Fuente: (Barrera & Hernández, 2004)

2.2 Copoazú

“El copoazú (*Theobroma grandiflorum* Wild Ex Spreng Schum) se conoce como cacao silvestre. Es una baya drupácea elipsoidea u oblonga, de extremos redondeados, con una longitud aproximada de 15-32 cms y de 10-15 cm de ancho; su peso promedio es de 1500 g; posee un epicarpio (cáscara) leñoso y quebrantable. La pulpa que envuelve la semilla es comestible, de coloración amarilla, cremosa, sabor ácido. La semilla contiene una grasa aromática parecida a la manteca de cacao con un punto de fusión de 32°C, índice de saponificación de 188 y un índice de yodo de 45. Respecto al fruto se conocen diferentes variedades que, en términos generales, se caracterizan por su forma o según su cáscara o corteza, y se distinguen tres grupos:

- COPOAZÚ REDONDO: Es la variedad más común de la Amazonia brasilera, los frutos presentan extremos redondeados y su cáscara tiene de 6 a 7 mm de grosor.
- COPOAZÚ MAMORANA: Sus frutos son los de mayor tamaño en todas las variedades conocidas, sus extremos son puntudos y su cáscara es más gruesa, entre 7 y 9 mm, y puede alcanzar un peso de 4 Kg.

- COPOAZÚ MAMAU: Su mayor característica es la carencia de semillas también recibe los nombres de copo sin semilla o copoazú sin semilla.

Sus características organolépticas como sabor, color y aroma son agradables, ofreciendo perspectivas muy favorables para la aceptación de nuevos productos mediante su transformación. En el futuro la industrialización de esta fruta exótica constituirá un paso importante para el aprovechamiento del bosque húmedo tropical, trayendo consigo beneficios socioeconómicos para la región amazónica” (Barrera & Hernández, 2004).



Figura 4. Fruto de copoazú en óptimo estado para procesamiento. Fuente: (Barrera & Hernández, 2004)

2.3 Carambolo

“El fruto de carambolo es una baya carnosa, de forma ovoide o elipsoidal, de dimensiones variables que van desde 5 hasta 25 cm de longitud y desde 3 hasta 10 cm de diámetro. Se caracteriza por presentar 5 costillas longitudinales que le dotan de una típica sección transversal en forma de estrella, debido a la cual recibe el nombre de star fruit.

La epidermis es delgada, suave y con una cutícula cerosa. La pulpa es translúcida, de color amarillo claro o amarillo oscuro, muy jugosa, sin fibra. Su sabor es dulce- ácido. Posee cualidades aromáticas que lo hacen potencialmente comercial en jugos y bebidas de frutos. El carambolo es bajo en calorías (36-75 cal/100g) y constituye una buena fuente de potasio y de vitamina A y moderada de vitamina C. El carambolo es vendido principalmente como fruto fresco, consumiéndose en rodajas, jugo, ensaladas o como aderezo. Igualmente es utilizado en la preparación de postres, tartas, salsas y bebidas. En procesamiento se utiliza para la elaboración de encurtidos, salsas, vinos, gelatinas y licores, entre otros. Las características deseables en el fruto son: forma característica de 5 aristas, color amarillo intenso, escaso número de semillas, contenido de sólidos solubles de 10 Brix, acidez inferior a 5 meq/100g, textura crujiente, costillas gruesas y ángulos anchos” (Barrera & Hernández, 2004).



Figura 5. Fruto de carambolo en óptimo estado para procesamiento. Fuente: <http://www.vix.com/es/imj/salud/5423/por-que-consumir-carambola>

3. Zumos y néctares

3.1 Definición de zumo y néctar

Jugo o zumo de fruta: De acuerdo al *Codex Alimentarius*, es el líquido sin fermentar, pero fermentable, que se obtiene de la parte comestible de frutas en buen estado, debidamente maduras y frescas o frutas que se han mantenido en buen estado por procedimientos adecuados. El contenido de sólidos varía desde 8-10° Brix dependiendo del tipo de fruta utilizada. Por su parte, la *resolución 7992 de 1991* lo define como el líquido obtenido al exprimir algunas clases de frutas frescas, maduras y limpias, sin diluir, concentrar o fermentar. También se considera jugos los productos obtenidos a partir de jugos concentrados, clarificados, congelados o deshidratados a los cuales se les ha agregado agua, en cantidad tal que restituya la eliminada en su proceso.

Néctares: Los néctares son mezclas de pulpa de fruta y agua, a los cuales se les aplica un tratamiento térmico para evitar el crecimiento microbiano. Según la *resolución 7992 de 1991*, néctar de frutas es un —producto elaborado de jugo, pulpa o concentrado de frutas adicionado de agua, aditivos e ingredientes permitidos en la resolución. Por su parte, el *Codex Alimentarius* lo define como es el líquido sin fermentar, pero fermentable, que se obtiene añadiendo agua con o sin la adición de azúcares de miel y/o jarabes, y/o edulcorantes según figuran en la *Norma General para los Aditivos Alimentarios* (NGAA). Pueden añadirse sustancias aromáticas, componentes aromatizantes volátiles, pulpa y células, todos los cuales deberán proceder del mismo tipo de fruta y obtenerse por procedimientos físicos.

3.2 Escalamiento de la producción de alimentos

El escalamiento de la producción de alimentos inicia con la experimentación a nivel de laboratorio, continúa con la evaluación a nivel piloto y finalmente, termina en la producción a escala industrial. A medida que se aumenta la escala de producción aumenta la escala de escrutinio y se observan nuevos problemas en el procesamiento y diferencias con la experimentación a escala laboratorio, esto es cierto pues los sistemas alimentarios son sistemas polidispersos complejos en los que interactúan diferentes fases y no existe una ecuación matemática que modele todos los *fenómenos de transporte* al tiempo (transferencia de movimiento, masa y energía). Los ingredientes pueden comportarse de manera diferente, los sabores, la textura, aroma y apariencia pueden cambiar con el aumento de escala. Existen diferentes metodologías para el escalamiento de procesos sin embargo no todas implican una aproximación sistemática, por ejemplo, la metodología de *ensayo y error* resulta ser simple al usar datos históricos de plantas y equipos existentes, pero costosa en la medida que no garantiza resultados óptimos y puede llevar tiempo. De otro lado, una metodología basada en modelos teóricos de *fenómenos de transporte* puede ser compleja, innecesaria y poco confiable para flujos turbulentos complejos. Existen otras metodologías sistemáticas menos complejas, uno de estos enfoques se basa en la evaluación de las diferencias en las *constantes de tiempo características* para cada fenómeno que tiene el potencial de controlar el rendimiento en una escala mayor. Otra metodología implica la identificación de la propiedad física o mecánica específica que es más crítica para el desempeño del proceso (denominada *criterio de escalamiento*) y se mantiene

constante a escala. Los criterios de escalamiento más comúnmente identificados son la velocidad de transferencia de una sustancia, la mezcla, el esfuerzo cortante y, en menor grado, el régimen de flujo. El criterio de escalamiento de elección depende de las circunstancias específicas y el ingeniero de diseño deberá utilizar la experiencia profesional para juzgar el criterio óptimo (Clarke, 2013).

Cuando se utiliza un criterio de escalamiento, el escalamiento se lleva a cabo de acuerdo con el principio de similitud geométrica entre las escalas grande y pequeña. La similitud geométrica implica relaciones geométricas idénticas del recipiente en ambas escalas, es decir, las proporciones de altura del recipiente al diámetro del recipiente, altura del recipiente al diámetro del impulsor, etc., permanecen constantes en ambas escalas. De esta manera se puede evaluar el efecto de diferentes escalas comparando una longitud característica, por ejemplo el diámetro del impulsor (D). Si bien la similitud geométrica es una aproximación relativamente simple y sistemática, es axiomático que, si se quiere mantener la similitud geométrica, otros parámetros distintos del criterio de escalamiento no permanecerán constantes (Clarke, 2013).

4. Caso de estudio: Yacón

4.1 Caso de estudio: Yacón

4.1.1 Generalidades del yacón

El yacón (*Smallanthus sonchifolius*) es una raíz autóctona ampliamente cultivada en la región andina, que se pela y se come fresca y es muy refrescante por su alto contenido de agua. Es considerado un alimento nutracéutico o funcional como consecuencia de sus componentes bioactivos: compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes, fructooligosacáridos (FOS) con propiedades prebióticas y compuestos antimicrobianos. La palabra Yacón se deriva de la lengua Quechua, que significa Yakku “sin sabor” y Unu “agua”. En Brazil se conoce como papa de dieta, en Perú y Ecuador se llama aricama o jicama, y en Estados Unidos se conoce como “yacon strawberry” (Hudsara Aparecida de Almeida Paula, Monise Viana Abranches, 2015).

El yacón ha sido parte de la dieta andina desde tiempos pre-colombinos, en la última década del siglo XX el cultivo de yacón se expandió a diversos países como Nueva Zelanda, Europa, Estados Unidos y Japón, por los usos médicos y alimenticios de las raíces y las hojas de la planta (Choque Delgado et al., 2013). Su ruta migratoria empezó en 1960, cuando fue transportado desde Ecuador a Nueva Zelanda. En 1985, se llevó desde Nueva Zelanda hasta Japón, donde se desarrollaron los primeros estudios para determinar su composición química y sus efectos benéficos para la salud. Desde Japón, el yacón llegó en 1989 a Brazil traído por inmigrantes japoneses. Actualmente, también se cultiva en Europa Central, particularmente en República Checa (Hudsara Aparecida de Almeida Paula, Monise Viana Abranches, 2015).

El yacón es vendido en mercados y ferias en las regiones andinas. En Perú, Bolivia, Ecuador y Argetina se consume en fiestas religiosas, como el Corpus Christi y el día de las Almas. La raíz generalmente se consume fresca, como una fruta y en ensaladas de frutas junto con bananos, naranjas y papayas. Además, el yacón puede ser cocinado en horno o consumido en forma de bebida refrescante por extracción de su jugo (Choque Delgado et al., 2013).

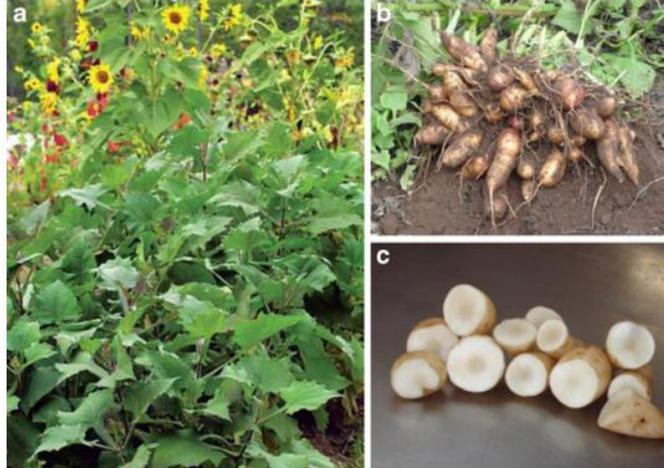


Figura 6. Planta de yacón. a) Órganos vegetativos y reproductivos, b) raíces de yacón, c) rodajas de yacón. Fuente: (Choque Delgado, da Silva Cunha Tamashiro, Maróstica Junior, & Pastore, 2013).

Las raíces de yacón pueden pesar entre 200 a 500 g, encontrándose incluso raíces de hasta 2 kg. Cada planta produce un racimo de 2-20 raíces, con un rendimiento de hasta 5 kg por planta (Figura 2). La raíz recién cultivada es insípida, pero después de 3 a 5 días de exposición a la luz solar, se vuelve jugosa y dulce. El sabor del dulce de yacón ha sido descrito similar al de la manzana o sandía frescos.

4.1.2 Propiedades funcionales del yacón

Esta raíz cada vez gana más protagonismo en el mercado por su alto contenido de oligosacáridos no digeribles, como los fructooligosacáridos y la inulina, que son un tipo especial de azúcar que aporta pocas calorías y no eleva el nivel de glucosa en la sangre, así como por el contenido de compuestos fenólicos que han sido asociados con la prevención de ciertas enfermedades crónicas como la aterosclerosis y la diabetes. Así, el jarabe de yacón se ha usado como endulzante natural que además permite balancear la flora intestinal, con las hojas se prepara té como parte de dietas bajas en calorías y los pueblos andinos le han atribuido propiedades anti-diabéticas a las hojas secas.

Además de los prebióticos, el yacón contiene flavonoides, ácidos fenólicos y triptófano, que ejercen actividad antioxidante, antiinflamatoria, antimicrobiana y anticancerígena. Los compuestos fenólicos del yacón protegen biomoléculas, como el ADN, lípidos y proteínas, frente al daño causado por los radicales libres. Diversos artículos muestran que existe una mejora en la respuesta del sistema inmunológico como resultado del consumo de fructanos, se ha demostrado que el consumo regular de este tipo de compuestos aumenta la resistencia a infecciones por patógenos intracelulares reduciendo de esta manera alergias en el tracto digestivo (Choque Delgado et al., 2013).

Los compuestos fenólicos y los flavonoides a pesar de generar el pardeamiento enzimático, pueden modular la peroxidación lipídica involucrada en la aterogénesis, trombosis y carcinogénesis por medio de su actividad antioxidante frente a los iones superóxido O_2 .

Características prebióticas y salud gastrointestinal

Los compuestos prebióticos como los FOS se definen como ingredientes alimenticios no digeribles que estimulan el crecimiento y la actividad de un número limitado de bacterias en el intestino del huésped. Por su parte, los probióticos son definidos como microorganismos adicionados a la dieta que benefician el crecimiento microbiano en el colon. Por el contenido de fructooligosacáridos (FOS) y de inulina, el yacón ha mostrado importantes características prebióticas, estos compuestos resisten la digestión intestinal y son hidrolizados y fermentados por las bacterias del colon, como *Lactobacillus* y *Bifidobacteria*. Igualmente, se ha demostrado que existe sinergia entre prebióticos y probióticos proporcionando beneficios para el tracto intestinal. Las bifidobacterias inhiben el crecimiento de bacterias putrefactivas en el colon (*E. coli* y cocos anaerobios), estimulan el sistema inmunológico y promueven la absorción de Ca^{2+} y PO_4^- así como la síntesis de vitamina B. En este sentido, el consumo de raíces de yacón incrementa los niveles de ácidos grasos de cadena corta que protegen el colon contra el cáncer (Pedreschi, Campos, Noratto, Chirinos, & Cisneros-Zevallos, 2003).

Diabetes:

Los fructooligosacáridos (FOS) reducen de los niveles de glucosa en la sangre y diferentes lípidos séricos en humanos y modelos animales. (Pedreschi et al., 2003). Un estudio de modelos de roedores diabéticos muestra que el consumo de FOS mejora la liberación de insulina. Los autores comentan que el consumo regular de harina de yacón ejerce un efecto hipolipemiante al activar la enzima lipoproteín lipasa e incrementa los niveles de insulina plasmática en ayunas (Habib, Honoré, Genta, & Sánchez, 2011). Valentová et al., 2006, mencionan que los sacáridos presentes en el yacón, particularmente (β -2 \rightarrow 1) fructooligosacáridos, pueden modular el síndrome metabólico que ocurre en la diabetes tipo 2 y la dislipidemia, que se consideran factores de riesgo para la aterosclerosis.

De otro lado, los compuestos fenólicos podrían alterar el metabolismo de la glucosa y la actividad antihiper glucemiante, actuando como agentes antidiabéticos. Este efecto sobre el metabolismo de la glucosa puede estar mediado por el efecto similar a la insulina o por la mejora del estado antioxidante. En este sentido, los extractos fenólicos de hojas de yacón fueron capaces de reducir la producción de glucosa en hepatocitos de rata mediante el aumento de la expresión de ARNm de glucoquinasa (Katerina Valentová, Nhu, Moncion, De Waziers, & Ulrichová, 2007).

Actividad antioxidante:

Los compuestos polifenólicos son de gran importancia por su actividad antioxidante, al proteger las membranas celulares contra el daño por radicales de oxígeno. Además, estos compuestos juegan un papel importante en el tratamiento de enfermedades cardiovasculares y del cáncer (Neves & Da Silva, 2007). El extracto etéreo de hojas de yacón ha demostrado ejercer actividad antioxidante y citoprotectora contra hidropéroxido de terc-butilo en un modelo de daño oxidativo en hepatocitos de rata (Simonovska, Vovk, Andrenšek, Valentová, & Ulrichová, 2003). Experimentos en humanos también han reportado actividad antioxidante de los compuestos fenólicos presentes en las hojas de yacón, actuando en la prevención de enfermedades crónicas, como aterosclerosis, una enfermedad que involucra radicales libres para su desarrollo (Padla, Solis, & Ragasa, 2012).

Absorción de calcio y otros minerales:

El pH bajo y la producción de ácidos grasos de cadena corta (SCFA) debido al consumo de prebióticos generan hipertrofia de las células de la mucosa, agrandamiento de la superficie intestinal y mayor solubilidad de los iones minerales. El consumo de Yacón durante períodos relativamente cortos generó mayor absorción intestinal de minerales y masa ósea, favoreciendo las propiedades biomecánicas del hueso en ratas. La ampliación de la pared cecal observada después del consumo de yacón parece contribuir al aumento de la absorción mineral en esos animales. De hecho, algunos estudios muestran que el consumo diario de una combinación de fructanos de tipo inulina de cadena corta y larga aumenta significativamente la absorción de calcio y la mineralización ósea durante el crecimiento puberal. Los efectos de estos factores dietéticos sobre la absorción de calcio parecen ser modulados por factores genéticos, incluyendo el polimorfismo genético de un receptor específico de vitamina D. Se ha observado que el consumo de fructanos de tipo inulina también reduce la progresión de la osteoporosis al aumentar la biodisponibilidad del calcio, con un aumento significativo de la densidad ósea y de la masa mineral ósea (Choque Delgado et al., 2013).

4.1.3 Características fisicoquímicas y componentes bioactivos

Los compuestos bioactivos del yacón han generado interés por su importancia en la vida humana. Las principales sustancias constituyentes son agua y carbohidratos, los cuales son almacenados principalmente en forma de fructooligosacáridos (FOS) y otros azúcares libres como glucosa y fructosa.

El porcentaje de agua de las raíces es alrededor del 83 al 90% del peso fresco, 0,4 a 2,2% de proteína, y 20% de azúcares. Debido al alto contenido de agua, el valor energético de la raíz es bajo. Este factor también reduce su vida útil en condiciones ambientales –aproximadamente 7 días- ya que los tejidos internos de las raíces son muy delicados; característica que los predispone a sufrir grietas o romperse fácilmente durante la cosecha, el embalaje y el transporte (Santana & Cardoso, 2008).

El nivel de azúcar de las raíces de yacón puede variar dependiendo de factores como la localización, temporada de crecimiento, condiciones y manejo poscosecha. En Brasil, los carbohidratos del yacón están compuestos de 34-55% de FOS, 7-9% de glucosa, 13-14% de fructosa y 10-13% de sucrosa. Sin embargo, en Perú, los investigadores han encontrado raíces con carbohidratos compuestos de 40-70% de FOS, 5-15% de sucrosa, 5-15% de fructosa y menos del 5% de glucosa (en base seca) (Choque Delgado et al., 2013).

El yacón contiene β -oligosacáridos de baja polimerización, inulina, pequeñas cantidades de vitaminas y minerales y no contiene almidón. Los minerales más abundantes del yacón son calcio y potasio. Los compuestos bioactivos importantes del yacón son compuestos fenólicos, derivados de éster, metil ésteres y glucósidos.

El jugo de yacón es rico en aminoácidos esenciales libres, contiene 850 ppm de compuestos polifenólicos como ácido clorogénico, el cual es considerado el principal antioxidante del yacón, además del triptófano y de los derivados del ácido cafeico. Los ácidos fenólicos parecen ser los responsables de algunas de las actividades funcionales del yacón, incluyendo sus efectos antihiperglicémicos y citoprotectores así como de eliminación de residuos.

4.1.4 Usos y aplicaciones del yacón como matriz alimentaria

Actualmente existe una gran variedad de productos derivados de las raíces de yacón, como jugos, purés, endulzantes tipo jarabe con alto contenido de FOS, harina, productos deshidratados, snacks tipo rodajas e inclusive té a partir de las hojas secas.

Tabla 2. Algunas aplicaciones industriales del yacón reportadas en la literatura.

APLICACIÓN INDUSTRIAL	ARTÍCULO	AÑO	AUTORES
Obtención de FOS por ultrafiltración (UF)	OBTAINING FRUCTOOLIGOSACCHARIDES FROM YACON (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) BY AN ULTRAFILTRATION PROCESS	2016	Brites, M. L.; Noreña, C. P. Z.
Yogur formulado con pulpa de yacón	Optimization of synbiotic yogurts with yacon pulp (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) and assessment of the viability of lactic acid bacteria	2017	PADILHA, V. M., ANDRADE, S. A. C., VALENCIA, M. S., STAMFORD, T. L., & SALGADO, S. M.
Yogur bajo en calorías añadido con harina de yacón	Yogur bajo en calorías añadido con harina de yacón: desarrollo y evaluación físico-química	2012	Mileib, C., Rodrigues M., Valéria P., & Paes, J. B.
Bebida funcional de frutas tropicales y yacón	Estabilidade de uma bebida funcional de frutas tropicais e yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) durante o armazenamento sob refrigeração	2016	Dionisio, A. P., Wurlitzer, N. J., Goes, T., Borges, M., Garruti, D., & Araújo, I. M.
Barra dietética funcional a partir de harina de yacón	Formulación de barra dietética funcional prebiótica a partir de harina de Yacón (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	2013	Valdez, C. G. A., Margalef, M. I., Gómez, M. H.
Mermelada de yacón	Desarrollo de jalea de yacón de reducido valor calórico: caracterización físico-química, microbiológica y sensorial	2012	Carvalho, S., Aline, D., Mileib, V., Christiane, D. V., Maria Cristina, M. R. R., Sônia, N. E., Bárbara, N., Julia D, & Stampini D. M., Hércia.
Pan de harina de yacón	Glycemic profile and prebiotic potential "in vitro" of bread with yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) flour	2011	Rolim et al.
Galletas con harina de yacón	Cake developed with Yacon flour	2009	Severo da Rosa, Ruffo De Oliveira, Bordin Viera, Gressler, & Viega,

APLICACIÓN INDUSTRIAL	ARTÍCULO	AÑO	AUTORES
Galletas de chocolate con harina de yacón	FARINHA DE YACON E INULINA COMO INGREDIENTES NA FORMULAÇÃO DE BOLO DE CHOCOLATE	2004	Moscatto, Prudencio-Ferreira S. H., & Haully
Dulces de yacón	Efecto de gelificantes en la formulación de dulce de yacón	2008	Maldonado & Singh

Considerando el alto contenido de fructooligosacáridos (FOS), las raíces de yacón pueden llegar a ser una alternativa importante para la obtención de FOS frente a fuentes tradicionales como la alcachofa de Jersualén o las raíces de achicoria.

4.1.5 Agronomía

El yacón pertenece a la familia Asteraceae y cultivado en los Andes de Sur América, específicamente de los valles andinos de Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y el noroeste de Argentina. Es cultivado en zonas comprendidas entre los 800 y 2800 m.s.n.m., en latitudes tropicales (0-24°C); entre los 900 a 3500 m.s.n.m en Perú, entre 600 a 2500 m.s.n.m en Bolivia y en Ecuador, y entre 600 a 800 m.s.n.m. en Argentina. La madurez de la planta se alcanza entre los 6 y 12 meses luego de su siembra, en este momento la planta florece y alcanza una altura de 1.0 a 2.5 m.

4.1.6 Efecto del procesamiento en la calidad y valor nutricional

Las raíces de yacón rara vez son cocidas debido a las reacciones de pardeamiento enzimático que ocurren rápidamente una vez se remueve su cáscara, inclusive, la raíz se pardea durante el almacenamiento en condiciones de baja temperatura. Estas reacciones de pardeamiento parecen estar relacionadas con el contenido de compuestos fenólicos, especialmente con los contenidos de ácidos cafeico y clorogénicos y por la actividad de la enzima polifenol oxidasa (Choque Delgado et al., 2013).

Los polifenoles que se encuentran en las hojas y en los tallos del yacón producen un sabor ácido y astringente, a la vez que le imparten su olor particular. Estos compuestos fenólicos que originan el pardeamiento enzimático sufren reacciones de condensación con aminoácidos y reacciones de polimerización.

Tabla 3. Algunos estudios realizados en términos del procesamiento del yacón.

ESTUDIO	ARTÍCULO	AÑO	AUTORES
Lixiviación de Inulina por blanqueo de la raíz de yacón	YACON INULIN LEACHING DURING HOT WATER BLANCHING	2016	Scher, C. ., Brandelli, A., & N., C. Z.
Evaluación de la combinación de ácido ascórbico, cítrico y L-cisteína en la inhibición del oscurecimiento del yacón.	Prevention of enzymatic browning of yacon flour by the combined use of anti-browning agents and the study of its chemical composition	2014	Rodrigues, O. R. L., Asquieri, E. R., & Orsi, D. C.

ESTUDIO	ARTÍCULO	AÑO	AUTORES
Estudio del envejecimiento de yacón fermentado	Study of the aging of fermented of yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) and sensory profile and acceptance	2014	Brandão, C. C., Asquiere, E. R., Attaran, S., & Damiani, C.
Optimización del pelado químico de raíces de yacón	Optimization of chemical peeling of yacon roots	2010	Berges da Silva, Dos Santos Ferreira da Silva, Karam, & Bileski Cândido
Potencialidad de cultivo, aspectos tecnológicos y nutricionales	Raiz tuberosa de yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>): potencialidade de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais	2008	Santana & Cardoso, 2008

4.1.7 Publicaciones sobre el Yacón en los últimos años

Se consultaron las revistas indexadas más importantes en términos de Ciencia e Ingeniería y se consultó el número de patentes publicadas por medio de la herramienta Google Patents, la búsqueda se realizó aplicando los siguientes criterios de búsqueda: yacón, yacon, *Smallanthus sonchifolius*. A continuación se presenta el análisis de la información con el ánimo de establecer las tendencias de investigación, los países con mayor número de publicaciones y el tipo de publicación predominante. En la figura 7 se muestra que el número de publicaciones ha aumentado en los últimos años, probablemente, como resultado del interés que ha generado los alimentos funcionales y la creciente preocupación por el cuidado de la salud. Es sorprendente que el mayor número de publicaciones corresponde a patentes, esto es el 76% del total de publicaciones, mientras el 21% corresponde a artículos de investigación publicados en revistas indexadas. De los países que han publicado artículos de investigación, el país que más ha generado conocimiento en el área es Brasil, seguido de Perú, Argentina, China y Japón (Figura 9). En términos de temas de investigación se encontró que la investigación se ha enfocada en igual proporción en áreas como Ciencia y Tecnología de Alimentos, Ciencias Agrarias y Ciencias de la Salud (Figura 10).

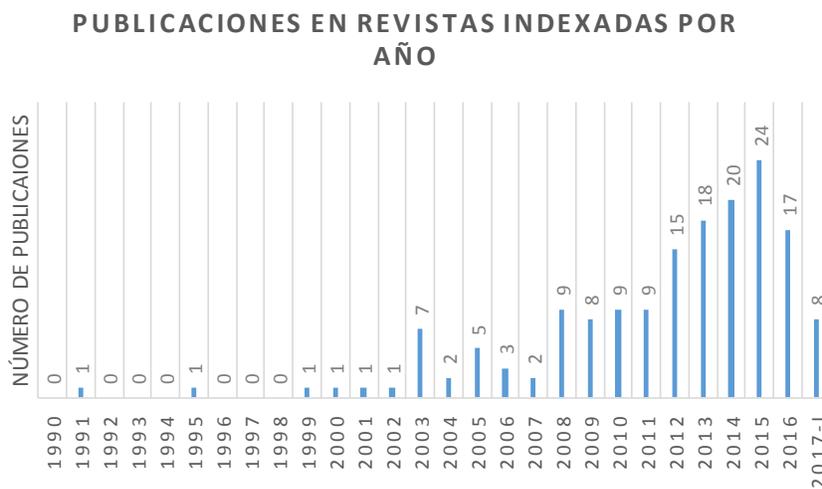


Figura 7. Número de publicaciones en revistas indexadas por año.

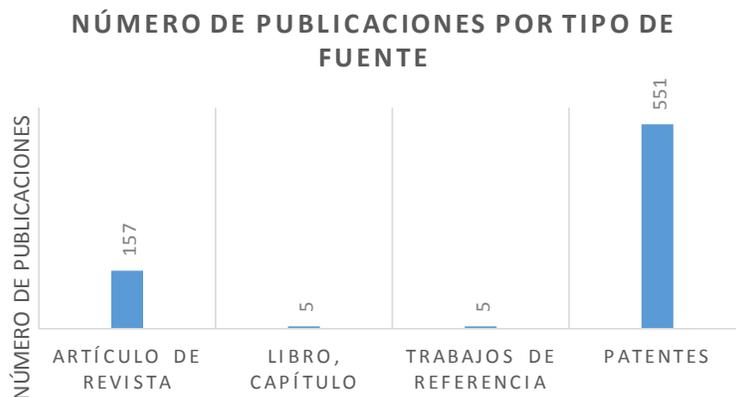


Figura 8. Número de publicaciones por tipo de fuente.

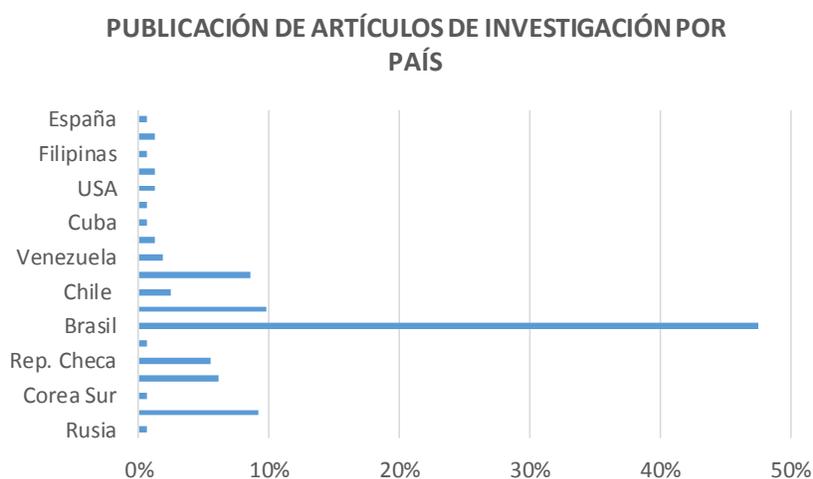


Figura 9. Publicación de artículos de investigación por país.

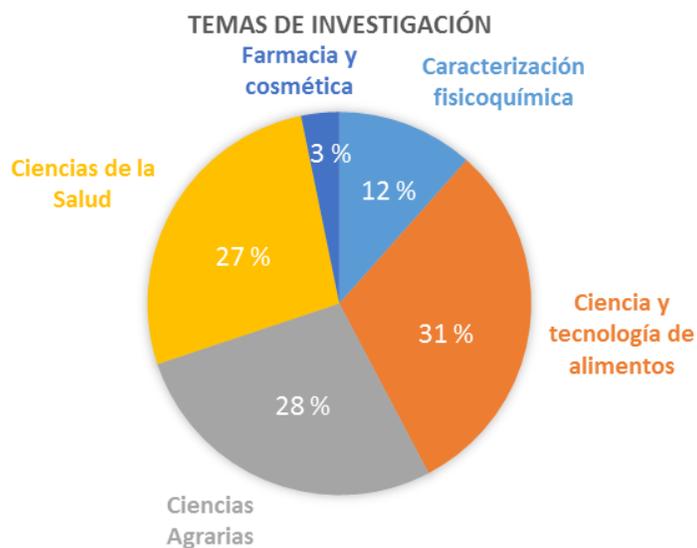


Figura 10. Temas de investigación.

4.2 Metodología para el escalamiento de la producción de zumos y néctares de Yacón.

El *diseño y desarrollo del producto* implica una serie de etapas interrelacionadas pues tales etapas tienen como entrada los resultados de la etapa anterior. Las siguientes pueden considerarse como las etapas requeridas para el *diseño y desarrollo del producto*:

- Diseño y desarrollo del proceso
 - Ingeniería conceptual: permite definir la viabilidad del proyecto.
- Diseño de la planta de proceso
 - Ingeniería básica: genera documentos necesarios para la ingeniería de detalle.
 - Ingeniería de detalle: genera documentos para la construcción de la planta.
- Construcción y puesta en marcha de la planta de proceso
- Arranque y operación de la planta
- Actualización y optimización de la planta

Peters, 2003; Sinnott & Towler, 2013, proponen una metodología propuesta para el diseño y desarrollo del producto, la cual se ha modificado para los objetivos planteados y se presenta a continuación:

- a) Detectar una necesidad de la sociedad o ingenieril
 - Realizar un análisis del mercado para el nuevo producto
- b) Generar soluciones potenciales a esta necesidad
 - Investigación bibliográfica y de patentes
 - Identificar los datos preliminares necesarios
 - Definición del producto
 - Requerimientos técnicos del producto
 - Evaluación del cumplimiento de especificaciones y necesidades
- c) Realizar una síntesis preliminar del proceso de producción
 - Definición de las operaciones de reacción, separación y condiciones de operación
 - Identificar factores de salud, seguridad y medio ambiente
- d) Determinar la rentabilidad del proceso preliminar
- e) Refinar los datos de diseño
 - Establecer las propiedades de materias primas y productos
 - Verificar experimentalmente aspectos desconocidos
- f) Preparar un diseño detallado
 - Desarrollar un caso base
 - Preparar el diagrama de flujo
 - Integrar y optimizar el proceso
 - Verificar la controlabilidad
 - Dimensionamiento y *escalamiento* de equipos
 - Estimar el capital de inversión
- g) Determinar la rentabilidad del proceso
- h) Revisar nuevamente los aspectos de salud, seguridad y medio ambiente

- i) Realizar los reportes de diseño
- j) Completar el diseño final
 - Organización y dimensión de equipos
 - Diagramas de tubería e instrumentos
 - Preparar cotizaciones de equipos
- k) Diseñar y construir equipos
- l) Proporcionar el acompañamiento en la etapa de construcción
- m) Colaborar en las pruebas de arranque
- n) Iniciar la producción

Durante este escrito se avanzó en las primeras etapas de esta metodología, específicamente en los ítems a, b y c, pues en estas etapas se define parte de la ingeniería conceptual del proyecto, sin embargo, no se definió la rentabilidad ni se realizó el dimensionamiento de cada uno de los equipos de la planta de procesamiento, que es el momento en donde se realiza el *escalamiento* de las diferentes operaciones de transformación involucradas.

4.2.1 Definición del producto: Bebida Funcional de Yacón

Se propone la producción de una bebida funcional tipo néctar de yacón con el ánimo de satisfacer la demanda de productos naturales y alimentos funcionales. Esta bebida se prepara sin azúcares ni edulcorantes artificiales, contiene menos calorías que otras bebidas refrescantes pues solo contiene los azúcares naturales del yacón; es una bebida refrescante por su alto contenido de agua, proporciona fibra dietaria prebiótica considerando que el yacón contiene fructooligosacáridos (FOS) y además brinda otros beneficios para la salud, los cuales se han descrito ampliamente en la sección 4.1.2.

Tabla 4. Formulación de una bebida funcional tipo néctar de yacón.

Materia prima	Función	% Masa
Jugo de yacón	Principio activo	90%
Ácido ascórbico	Antioxidante	0.2%
Ácido cítrico	Acidulante	0.5%
Sorbato de potasio	Conservante	0.04%
Pectina	Estabilizante	0.73%
Citrato de sodio	Regulador de acidez	0.10%
Agua	Disolvente	c.p.s

En la tabla 4 se presenta la formulación de la bebida funcional tipo néctar de yacón que se propuso y que se preparó en la planta de vegetales del ICTA de la Universidad Nacional de Colombia. El producto final presenta un pH de 3.7 y un contenido de sólidos totales solubles (SST) de 15°Brix, el jugo es de color amarillo verdoso y de sabor dulce y agradable con consistencia típica de un néctar (ver figura 11).



Figura 11. Bebida funcional tipo néctar de yacón preparada en la planta de vegetales del ICTA- Universidad Nacional de Colombia

4.2.2 Síntesis preliminar del proceso de producción de bebidas de yacón

Para la producción del néctar de yacón se proponen las siguientes etapas u operaciones de procesamiento:

a) Selección: Se deben seleccionar raíces sin daños mecánicos o pudrición, sin contaminación microbiana, frescas y en la medida de lo posible recién cultivadas pues después de la cosecha los fructooligosacáridos (FOS) se degradan convirtiéndose en glucosa y fructosa. Considerando que no siempre es posible contar con raíces frescas se recomienda procesar la misma proporción de raíces frescas y raíces 'maduras', además de que de esta manera se garantiza un 'sabor dulce' adecuado en el producto final.



b) Lavado y desinfección: se retira abundante tierra y materia orgánica adherida a la raíz. Para la desinfección se deben sumergir las raíces en solución acuosa de 200 ppm de hipoclorito de sodio, para así reducir la carga microbiana. Se estima que se requieren *2.81 kg de agua por kg de raíz* para el lavado y la misma cantidad de agua para la operación de desinfección.

c) **Pelado:** durante esta operación es importante retirar totalmente la cáscara pues en esta se encuentra el mayor contenido de sustancias que pardean el jugo y resinas que transfieren sabores picantes. De otro lado, por la acción mecánica del pelado se libera la enzima polifenoloxidasa, la cual es responsable de la oxidación de los polifenoles. De modo que para controlar el pardeamiento, la raíz pelada debe sumergirse inmediatamente en agua si se va a procesar el mismo día, pero si se desea almacenar la raíz, debe usarse ácido cítrico como agente antioxidante. Se estima que durante esta operación se tienen pérdidas entre el 15-20%.



Figura 12. Pelado del yacón.



d) **Extracción de zumo:** puede utilizarse un extractor de jugo tipo horizontal y para controlar el pardeamiento enzimático debe adicionarse una solución de ácido ascórbico al 0.2% durante la operación. De las raíces frescas peladas se obtiene un rendimiento del 40% en jugo o zumo de yacón.

e) **Filtración del zumo:** se deben usar mallas finas (poro menor a 100 μm) para retener la pulpa insoluble que se ha pasado al zumo. A nivel industrial debe usarse un filtro prensa para este propósito. Se obtienen alrededor de 22% de residuos retenidos durante la filtración, con respecto a las raíces frescas peladas.



f) **Concentración o evaporación:** a nivel piloto se realiza la evaporación en una marmita que cuente con chaqueta de calentamiento hasta obtener un contenido de sólidos solubles totales de 20°Brix. A nivel industrial se debe usar un evaporador de varios efectos con el ánimo de evitar que la temperatura se eleve por encima de 120°C y que los fructooligosacáridos se degraden. Además de la concentración, si este proceso se realiza a ebullición se estaría realizando simultáneamente un proceso de pasteurización.

g) Envasado y enfriado: el envasado se debe realizar a temperatura mayor a 85°C para evitar la contaminación cruzada y siempre evitando la formación de espuma.

h) Almacenamiento: el producto se debe almacenar preferiblemente en refrigeración.

La figura 13 que se muestra a continuación, es un resumen de las diferentes operaciones involucradas en el procesamiento del yacón.

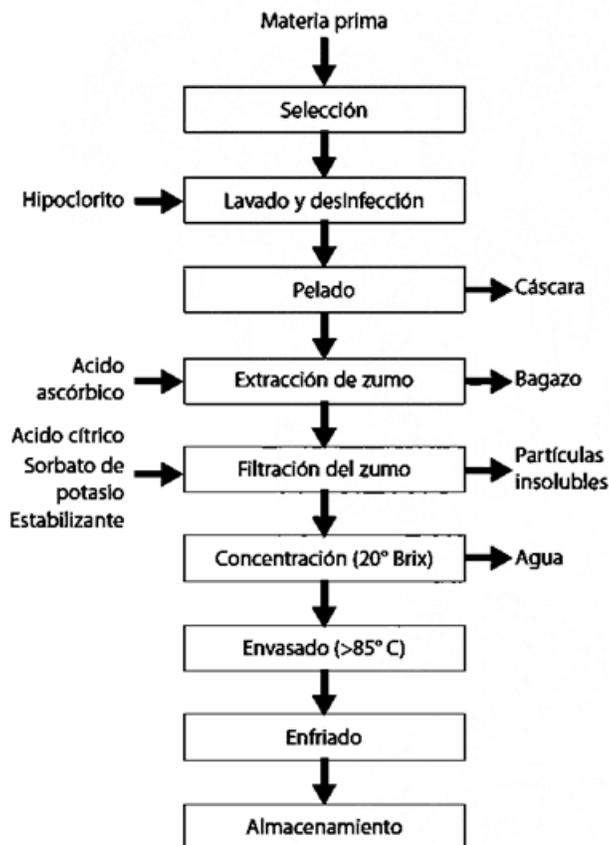


Figura 13. Diagrama de bloques de las diferentes operaciones involucradas en el procesamiento del néctar de yacón (Manrique, Parraga, & Hermann, 2005).

Para el *escalamiento* de la producción de la bebida funcional tipo néctar de yacón se requiere determinar la eficiencia o el rendimiento de cada una de las etapas de la figura 13. El rendimiento corresponde a la relación de masa obtenida de producto deseado con respecto a la masa que entra a cada etapa, por ejemplo, rendimiento de raíz pelada, rendimiento en la extracción y en la filtración del jugo. Estos parámetros de eficiencia y rendimiento se convierten en los *criterios de escalamiento* que se requieren cuantificar por medio de experimentación a nivel de laboratorio o nivel piloto. Por su parte, las operaciones de evaporación y mezclado requieren considerar la transferencia de energía y de momento para el escalamiento, respectivamente.

5. Conclusiones y recomendaciones

- El yacón, como producto vegetal no tradicional, cuenta con gran potencial para convertirse en una matriz alimentaria para la producción de alimentos funcionales tipo bebidas listas para beber (RTD), al considerar su alto contenido de fructooligosacáridos (FOS), compuestos fenólicos y compuestos antimicrobianos. De esta manera, se hace posible la proclama de alimentos con alto contenido de FOS, actividad prebiótica, bajo en calorías, especial para cierto tipo de diabéticos y personas con problemas digestivos, solamente, en la medida que existan estudios clínicos serios.
- Se requieren estudios clínicos serios para evaluar in-vivo cada uno de los beneficios que se le han atribuido al yacón desde tiempos de nuestros ancestros, además, para evaluar la seguridad del uso de yacón como suplementos dietarios en todo tipo de poblaciones.
- La raíz de yacón también puede ser aprovechada para la producción de otros productos alimenticios como endulzantes tipo jarabe, harina, productos deshidratados, snacks tipo rodajas e inclusive bebidas fermentadas con probióticos, para aprovechar la fermentación como estrategia de conservación y biodisponibilidad de compuestos bioactivos.
- El escalamiento de la producción de bebidas funcionales tipo néctar de yacón requiere la medición de criterios de escalamiento como eficiencias y rendimientos de operaciones, para asegurar las características del producto terminado a una escala industrial. Las operaciones de evaporación y mezclado requieren considerar la transferencia de energía y de momento para el escalamiento, respectivamente.
- Durante el procesamiento del yacón, el factor más crítico a tener en consideración tiene que ver con el control del pardeamiento enzimático que sufre el producto. Así, se requiere investigar estrategias novedosas para el control del pardeamiento durante el procesamiento industrial.

Bibliografía

- Araya L, H., & Lutz R, M. (2003). ALIMENTOS FUNCIONALES Y SALUDABLES. *Revista Chilena de Nutrición*, 30(1), 8–14. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182003000100001>
- Barrera, J. A., & Hernández, M. S. (2004). *Bases Técnicas para el Aprovechamiento Agroindustrial de las Especies Nativas de la Amazonia*. Editora Guadalupe Ltda., Bogotá, Colombia. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:BASES+TECNICAS+PARA+EL+APROVECHAMIENTO+AGROINDUSTRIAL+DE+ESPECIES+NATIVAS+DE+LA+AMAZONIA#1>
- Berges da Silva, E., Dos Santos Ferreira da Silva, R., Karam, L. B., & Bileski Cândido, L. M. (2010). Optimization of chemical peeling of yacon roots (*Polymnia sonchifolia* Poepp.). *Ciencia E Agrotecnologia*, 34(5), 1301–1305.
- Chandra, N., Hegde, K., Dhillon, G. S., & Sarma, S. J. (2014). *Fruit based functional beverages: Properties and health benefits*. *Agricultural Research Updates*.
- Choque Delgado, G. T., da Silva Cunha Tamashiro, W. M., Maróstica Junior, M. R., & Pastore, G. M. (2013). Yacon (*Smallanthus sonchifolius*): A Functional Food. *Plant Foods for Human Nutrition*. <https://doi.org/10.1007/s11130-013-0362-0>
- Clarke, K. G. (2013). 9 – *Bioprocess scale up*. *Bioprocess Engineering*. <https://doi.org/10.1533/9781782421689.171>
- Corbo, M. R., Bevilacqua, A., Petrucci, L., Casanova, F. P., & Sinigaglia, M. (2014). Functional Beverages: The Emerging Side of Functional Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12109>
- Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., & Patil, R. T. (2012). Dietary fibre in foods: a review. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0365-5>
- Dionisio, A. P., Wurlitzer, N. J., Goes, T. D. S., Borges, M. D. F., Garruti, D., & Araújo, I. M. da S. (2016). Estabilidade de uma bebida funcional de frutas tropicais e yacon (*Smallanthus sonchifolius*) durante o armazenamento sob refrigeração. *Archivos Latinoamericanos De Nutrición*, 66(2), 148–155.
- Fernández-Trujillo, J. P., Hernández, M. S., & Carrillo, M. & Barrera, J. (2011). *Arazá (Eugenia stipitata McVaugh). Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits. Volume 2: Açai to citrus*. <https://doi.org/10.1533/9780857092762.98>
- Habib, N. C., Honoré, S. M., Genta, S. B., & Sánchez, S. S. (2011). Hypolipidemic effect of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) roots on diabetic rats: Biochemical approach. *Chemico-Biological Interactions*, 194(1), 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2011.08.009>
- Hudsara Aparecida de Almeida Paula, Monise Viana Abranches, C. L. de L. F. F. (2015). Yacon (*Smallanthus Sonchifolius*): A Food with Multiple Functions. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(1), 32–40. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.645259>
- Illanes, A. (2015). Alimentos funcionales y biotecnología. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 17(1), 5–8. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v17n1.50997>
- Maldonado, S., & Singh, C. (2008). Efecto de gelificantes en la formulación de dulce de yacón Efeito de gelificante na formulação do doce do yacon. *Ciência E Tecnologia de Alimentos*, 2008(2448), 429–434. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000200025>
- Manrique, I., Parraga, A., & Hermann, M. (2005). Jarabe de yacón: Principios y procesamientos. *Conservación Y Uso de La Biodiversidad de Raíces Y Tuberculos Andinos: Una Decada de Investigacion Para El Desarrollo (1993 - 2003)*, 31. <https://doi.org/10.3917/ridp.743.0747>

- Moscatto, J. A., Prudencio-Ferreira S. H., & Haully, M. C. O. (2004). Yacon meal and inulin as ingredients in chocolate cake preparation. *Ciencia E Tecnologia de Alimentos*, 24(4), 634–640. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612004000400026>
- Neves, V. A., & Da Silva, M. A. (2007). Polyphenol oxidase from yacon roots (*Smallanthus sonchifolius*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(6), 2424–2430. <https://doi.org/10.1021/jf063148w>
- Padla, E. P., Solis, L. T., & Ragasa, C. Y. (2012). Antibacterial and antifungal properties of ent-kaurenoic acid from *Smallanthus sonchifolius*. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 10(6), 408–414. [https://doi.org/10.1016/S1875-5364\(12\)60080-6](https://doi.org/10.1016/S1875-5364(12)60080-6)
- Pedreschi, R., Campos, D., Noratto, G., Chirinos, R., & Cisneros-Zevallos, L. (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. <https://doi.org/10.1021/jf0344744>
- Peters, M. S. (2003). *Plant design and economics for chemical engineers. Plant Design and Economics for Chemical Engineers*.
- Rolim, P. M., Salgado, S. M., Padilha, V. M., Livera, A. V. S., Andrade, S. A. C., & Guerra, N. B. (2011). Glycemic profile and prebiotic potential “in vitro” of bread with yacon (*Smallanthus sonchifolius*) flour. *Ciência E Tecnologia de Alimentos*, 31(2), 467–474. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000200029>
- Salvador Badui. (2013). *Química Alimentos*. México: PEARSON EDUCATION.
- Santana, I., & Cardoso, M. H. (2008). Raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidade de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. *Ciência Rural*, 38(3), 898–905. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000300050>
- Severo da Rosa, C., Ruffo De Oliveira, V., Bordin Viera, V., Gressler, C., & Viegas, S. (2009). Cake developed with Yacon flour. *Ciencia Rural*, 39(6), 1869–1872. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000131>
- Simonovska, B., Vovk, I., Andrenšek, S., Valentová, K., & Ulrichová, J. (2003). Investigation of phenolic acids in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) leaves and tubers. *Journal of Chromatography A*, 1016(1), 89–98. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(03\)01183-X](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(03)01183-X)
- Sinnott, R. K., & Towler, G. (2013). *Chemical Engineering Design. Chemical Engineering Design*. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-61216-2>
- Valentová, K., Lebeda, A., Doležalová, I., Jirovský, D., Simonovska, B., Vovk, I., ... Ulrichová, J. (2006). The biological and chemical variability of yacon. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(4), 1347–1352. <https://doi.org/10.1021/jf052645u>
- Valentová, K., Nhu, T. T., Moncion, A., De Waziers, I., & Ulrichová, J. (2007). Induction of glucokinase mRNA by dietary phenolic compounds in rat liver cells in vitro. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1021/jf0712447>

Anexo: Resumen de estudios sobre los beneficios del yacón para la salud

ARTÍCULOS RELACIONADOS CON ESTUDIOS DEL EFECTO DEL YACÓN EN DIABETES, HIPOGLICEMIA E HIPOLIPIDEMIA:

Authors	Title	Year
Xiang, Zheng; Ji, Chen-feng; Dou, De-qiang; Gai, Kuo	Anti-Diabetes Components in Leaves of yacon	2014
Dionísio, Ana Paula; Carvalho-Silva, Luciano Bruno de; Vieira, Nara Menezes; Goes, Tali...	Cashew-apple (<i>Anacardium occidentale</i> L.) and yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) functional beverage improve the diabetic state in rats	2015
Scheid, M. M A; Genaro, P. S.; Moreno, Y. M F; Pastore, G. M.	Freeze-dried powdered yacon: effects of FOS on serum glucose, lipids and intestinal transit in the elderly	2014
Baroni, Silmara; da Rocha, Bruno Ambrosio; Oliveira de Melo, Juliana; Comar, Jurandir F...	Hydroethanolic extract of <i>Smallanthus sonchifolius</i> leaves improves hyperglycemia of streptozotocin induced neonatal diabetic rats	2016
Aybar, Manuel J.; Sánchez Riera, Alicia N.; Grau, Alfredo; Sánchez, Sara S.	Hypoglycemic effect of the water extract of <i>Smallanthus sonchifolius</i> (yacon) leaves in normal and diabetic rats	2001
Habib, Natalia C.; Honoré, Stella Maris; Genta, Susana B.; Sánchez, Sara S.	Hypolipidemic effect of <i>Smallanthus sonchifolius</i> (yacon) roots on diabetic rats: Biochemical approach	2011
Oliveira, Gilberto Ornelas; Braga, Camila Pereira; Fernandes, Ana Angélica Henrique	Improvement of biochemical parameters in type 1 diabetic rats after the roots aqueous extract of yacon [<i>Smallanthus sonchifolius</i> (Poepp.& Endl.)] treatment	2013
Honoré, Stella M.; Cabrera, Wilfredo M.; Genta, Susana B.; Sánchez, Sara S.	Protective effect of yacon leaves decoction against early nephropathy in experimental diabetic rats	2012
Habib, Natalia C.; Serra-Barcellona, Carolina; Honoré, Stella M.; Genta, Susana B.; Sánch...	Yacon roots (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) improve oxidative stress in diabetic rats	2015

ARTÍCULOS RELACIONADOS CON LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL YACÓN:

Authors	Title	Year
Pereira, Juciane Abreu Ribeiro; Teixeira, Meryene Carvalho; Saczk, Adelar Aparecida; Barcelos, Maria de F...	Total antioxidant activity of yacon tubers cultivated in Brazil	2016
Campos, David; Betalleluz-Pallardel, Indira; Chirinos, Rosana; Aguilár-Galvez, Ana; Noratto, Giuliana; Pedresc...	Prebiotic effects of yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i> Poepp. & Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity	2012
Queiroz, Christiane; Mendes Lopes, Maria Lúcia; Fialho, Eliane; Valente-Mesquita, Vera Lúcia	Polyphenol Oxidase: Characteristics and Mechanisms of Browning Control	2008
Neves, Valdir Augusto; Da Silva, Maraiza Aparecida	Polyphenol oxidase from yacon roots (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	2007
de Andrade, Ariel Forville; de Souza Leone, Roberta; Ellendersen, Luciana N.; Masson, Maria Lucia	Phenolic profile and antioxidant activity of extracts of leaves and flowers of yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	2014
Quijano, F. G. Vilhena, S. M. C. Camara, F. L. A. Lima, G P P	Peroxidase and polyphenoloxidase activities during yacon postharvest storage	2002
Lago, Camila Carvalho; Nore??a, Caciono Pelayo Zapata	Kinetic and Thermodynamic of Thermal Inactivation of the Peroxidase, Polyphenoloxidase and Inulinase Activities during Blanching of Yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) Juice	2014
Yan, Xiaojun; Suzuki, Masahiro; Ohnishi-Kameyama, Mayumi; Sada, Yasutoshi; Nakanishi, Tateo; Nagata, Ta...	Extraction and identification of antioxidants in the roots of yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	1999
Oliveira, Patricia; Maurer, Patricia; Pilar, Bruna; Coelho, Riteile; da Costa Gullich, Angelica; Nunes, Vinicius; da C...	Evaluation of hypoglycemic, hypolipidemic and antioxidant effects in vivo of extracts hydroalcoholic of Yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	2015
	CAPACIDAD CAPTADORA DE RADICALES LIBRES DEL ACEITE.pdf	
Kim, Gi Chang; Kim, Hye Sun; Jo, In Hee; Kim, Kyung Mi; Kim, Jin Sook	Blanching effect on quality characteristics and antioxidant activities in yacon soaked in Doenjang sauce	2012
Castro, a; Caballero, M; Herbas, a; Carballo, S	Antioxidants in yacon products and effect of long term storage	2012
Sousa, Sérgio; Pinto, Jorge; Rodrigues, César; Gião, Maria; Pereira, Cláudia; Tavarã, Freni; Xavier Malcata, ...	Antioxidant properties of sterilized yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) tuber flour	2015
Sugahara, Shintaro; Ueda, Yuto; Fukuhara, Kumiko; Kamamuta, Yuki; Matsuda, Yasushi; Murata, Tatsuro; Ku...	Antioxidant Effects of Herbal Tea Leaves from Yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) on Multiple Free Radical and Reducing Power Assays, Especially on Different Superoxide Anion Radical Generation Systems	2015

ARTÍCULOS RELACIONADOS CON ESTUDIOS DEL EFECTO DEL YACÓN SOBRE EL CÁNCER:

Authors	Title	Year
Siriwan, Dalad; Naruse, Takayuki; Tamura, Hirotooshi	Effect of epoxides and ??-methylene-??-lactone skeleton of sesquiterpenes from yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) leaves on caspase-dependent apoptosis and NF-??B inhibition in human cervical cancer cells	2011
de Moura, Nelci A.; Caetano, Brunno F.R.; Sivieri, Kátia; Urbano, Luis H.; Cabello, Cla...	Protective effects of yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) intake on experimental colon carcinogenesis	2012
da Silva Almeida, Ana Paula; Avi, Camilla Martins; Barbisan, Luis Fernando; de Mour...	Yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) and <i>Lactobacillus acidophilus</i> CRL 1014 reduce the early phases of colon carcinogenesis in male Wistar rats	2015

ALGUNOS ARTÍCULOS RELACIONADOS CON ESTUDIOS EN SERES HUMANOS:

Authors	Title	Year
Siriwan, Dalad; Naruse, Takayuki; Tamura, Hirotooshi	Effect of epoxides and ??-methylene-??-lactone skeleton of sesquiterpenes from yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) leaves on caspase-dependent apoptosis and NF-??B inhibition in human cervical cancer cells	2011
Valentová, Kateřina; Stejskal, David; Bartek, Josef; Dvořáčková, Svatava; Křen, Vladimír...	Maca (<i>Lepidium meyenii</i>) and yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) in combination with silymarin as food supplements: In vivo safety assessment	2008
Genta, Susana; Cabrera, Wilfredo; Habib, Natalia; Pons, Juan; Carillo, Iván Manrique...	Yacon syrup: Beneficial effects on obesity and insulin resistance in humans	2009
Oliveira, Patricia; Maurer, Patricia; Pilar, Bruna; Coelho, Ritiele; da Costa Gullich, An...	Evaluation of hypoglycemic, hypolipidemic and antioxidant effects in vivo of extracts hydroalcoholic of Yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	2015

ARTÍCULOS RELACIONADOS CON LA ACTIVIDAD PREBIÓTICA DE LOS FRUCTOOLIGOSACÁRIDOS DEL YACÓN:

Authors	Title	Year
Guevara, Inga; Pallardel, Betalleluz; Noborikawa, Kina	OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE LOS FRUCTOOLIGOSACARIDOS OF YACON (<i>Smallantus sonchifolius</i>)	2015
Lobo, Alexandre Rodrigues; Cocato, Maria Lucia; Borelli, Primavera; Gaievski, Eduard...	Iron bioavailability from ferric pyrophosphate in rats fed with fructan-containing yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) flour	2011
Castro, Alejandra; C??spedes, Galya; Carballo, Sergio; Bergenst??hl, Bj??rn; To...	Dietary fiber, fructooligosaccharides, and physicochemical properties of homogenized aqueous suspensions of yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	2013
Choque Delgado, Grethel T.; Thomé, Rodolfo; Gabriel, Dirce L.; Tamashiro, Wirl...	Yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)-derived fructooligosaccharides improves the immune parameters in the mouse	2012
Amaury Junior, A	Yacon strawberry - prebiotic, medicinal and savoury	2006
Ojansivu, Ilkka; Ferreira, Celia Lucia; Salminen, Seppo	Yacon, a new source of prebiotic oligosaccharides with a history of safe use	2011
Rolim, Priscilla Moura; Salgado, Silvana Magalhães; Padilha, Vivianne Montarroyos...	Glycemic profile and prebiotic potential "in vitro" of bread with yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) flour	2011
Pedreschi, Romina; Campos, David; Noratto, Giuliana; Chirinos, Rosana; Cisneros-Zeval...	Andean yacon root (<i>Smallanthus sonchifolius</i> Poepp. Endl) fructooligosaccharides as a potential novel source of prebiotics	2003
Campos, David; Betalleluz-Pallardel, Indira; Chirinos, Rosana; Aguilar-Galvez, Ana; No...	Prebiotic effects of yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i> Poepp. & Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity	2012
D, Lpez	Valorozacion de la raiz de yacon: obtencion de un jarabe rico en fructooligosacaridos	2007
Scheid, M. M A; Genaro, P. S.; Moreno, Y. M F; Pastore, G. M.	Freeze-dried powdered yacon: effects of FOS on serum glucose, lipids and intestinal transit in the elderly	2014
Leone, Roberta de Souza; de Andrade, Eriel Forville; Ellendersen, Luciana Neves; Tais ...	Evaluation of dried yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) as an efficient probiotic carrier of <i>Lactobacillus casei</i> LC-01	2017
Sousa, Sérgio; Pinto, Jorge; Pereira, Cláudia; Xavier Malcata, F.; Bertoldo Pach...	In vitro evaluation of yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) tuber flour prebiotic potential	2015