

## Monografía: Yacón

*Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob



---

## **PROYECTO N°**

Desarrollo de monografías para cinco cultivos peruanos del  
Proyecto Perubiodiverso

Autor : Ana Muñoz Jáuregui

Revisión : Olga Lock

Coordinación : Diana Flores

Foto de la carátula : PBD-GTZ

Fecha : 30 de Junio del 2010

---

## INDICE

I	PRESENTACIÓN .....	6
1.	INTRODUCCIÓN.....	7
2.	NOMENCLATURA BOTÁNICA .....	8
2.1	Especie Botánica .....	8
2.2	Sinonimias.....	8
2.3	Nombres comunes .....	8
2.4	Distribución Geográfica y .....	8
3.	DESCRIPCIÓN HISTÓRICA Y BOTÁNICA .....	9
3.1	MORFOLOGÍA.....	10
3.2	Partes de la planta .....	10
3.2.1	Sistema radicular.....	10
3.2.2	Hojas .....	11
3.2.3	La inflorescencia.....	12
3.2.4	Fruto .....	13
4.	ASPECTOS AGRONÓMICOS .....	13
4.1	REPRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO.....	13
5.	ASPECTOS GENÉTICOS.....	18
5.1	VARIABILIDAD GENÉTICA .....	18
5.2	CENTROS DE GERMOPLASMA.....	19
5.3	PARIENTES SILVESTRES.....	19
5.4	INVESTIGACIONES .....	20
6.	COMPOSICIÓN QUÍMICA .....	22
6.1	Composición de la raíz tuberosa.....	22
6.1.1	Características organolépticas .....	22
6.1.2	Características fisicoquímicas .....	23
6.1.3	Composición.....	23
6.1.4	Factores que influyen en su composición .....	26
6.1.5	Fitoquímicos de la raíz .....	31
6.2	Composición de las hojas .....	32
6.3	Metodo de cuantificación de fos.....	35
7.	PROPIEDADES FARMACOLÓGICAS.....	35
7.1	Actividad Inmunológica .....	36
7.2	Actividad antimicótica .....	36
7.3	Actividad antibacteriana .....	36
7.4	Reduce o mantiene el nivel de Glucosa en Sangre.....	37
7.5	Reduce los riesgos de Cáncer de Colon.....	41

7.6	Proporciona alivio a los Problemas Gastrointestinales – Estreñimiento.....	41
7.7	Propiedades Hipocolesterolémica e hipotriglicéridémica.....	42
7.8	Propiedades antioxidantes.....	43
7.9	Propiedades reproductivas.....	44
8.	TOXICIDAD.....	45
9.	USOS TRADICIONALES.....	46
10.	USO INDUSTRIAL.....	47
10.1	Zumo.....	47
10.2	JARABE.....	47
10.3	OTROS PRODUCTOS.....	50
11.	COMERCIALIZACIÓN.....	58
	CONCLUSIONES.....	62
	RECOMENDACIONES.....	64
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

## INDICE DE TABLAS

Cuadro N° 1: Cultivos de YACÓN 2005-2006.....	15
Cuadro N° 2: Composición Química de Yacón por 1 Kg De Raíz Tuberosa Fresca.....	23
Cuadro N° 3: Contenido de Azúcares en Raíz Tuberosa de Yacón.....	24
Cuadro N° 4:: Actividades Biológicas Demostradas en Yacón Vinculada A Fos.....	45

## INDICE DE FIGURAS

Figura N°1: <i>SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS</i> (POEPP. ET ENDL.) H. ROBINSON.....	8
Figura N°2: YACÓN ( <i>SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS</i> ) ASPECTOS MORFOLÓGICOS (LEÓN, 1964)..	10
Figura N°3: Los Fructooligosacáridos (FOS). .....	25
Figura N°4. Flujograma De Operaciones Para la Elaboración de Jarabe de Yacón .....	49

## PRESENTACIÓN

El Proyecto **Perubiodiverso (PBD)** es financiado por la Secretaría de Estado de Economía **SECO** de la Cooperación Suiza, la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit **GTZ** de la Cooperación Alemana y las contrapartes nacionales MINCETUR, PROMPERU y MINAM. Se desarrolla en el marco del Programa Nacional de Promoción del Biocomercio del Perú - **PNPB**, cuyo objetivo general es impulsar y apoyar la generación y consolidación de los bionegocios en el Perú, basados en la biodiversidad nativa, como incentivo para su conservación, aplicando criterios de sostenibilidad ambiental, social y económica. La unidad ejecutora del Proyecto es el Programa de Desarrollo Rural sostenible (PDRS) de la GTZ

A través del **PBD**, se busca fortalecer y promover cadenas de valor de bienes de comercio y servicios de biocomercio relacionados con la biodiversidad nacional y el desarrollo rural sostenible para que la población de áreas rurales seleccionadas mejore su participación económica con orientación hacia el mercado, en condiciones de equidad.

En este contexto el proyecto ha generado información de los productos priorizados: Tara, Maca, Yacón, Sacha Inchi; y Camu camu; entre los cuales se destacan: Hojas botánicas, base de datos de información técnica, información producto de los talleres y en esta oportunidad monografías, con el objetivo de suplir la necesidad existente de elaborar un documento que contenga la información sobre las cadenas priorizadas.

El siguiente documento se presenta usando un lenguaje técnico de fácil comprensión, contiene la información procedente de las Universidades de Lima Metropolitana y de las Regiones; de las Universidades extranjeras, de los Institutos de Investigación y de las bases de datos utilizadas en el medio científico, con la finalidad de brindar conocimientos básicos a lo largo de la cadena productiva, que conjuntamente con las Normas Técnicas Peruanas sobre requisitos de los productos, BPM y BPA aprobadas, por aprobarse o en proceso de publicación ofrezcan la evidencia científica lograda hasta el momento para superar las barreras de calidad que permitan a los productos de la biodiversidad nativa acceder al mercado nacional e internacional.

Agradecemos a las instituciones académicas y de investigación que apoyaron en la elaboración de este documento.

Asimismo nuestro agradecimiento a los revisores: Dr. Olga Lock (Tara & Yacón), Dr. Gustavo Gonzales (Maca), Dra. Arilmi Gorriti (Sacha Inchi) y Dr. Artemio Chang (Camu Camu).

**Diana Flores**  
**MBA/ Química Farmacéutica**  
**Consultor PBD-Perubiodiverso**

# Yacón

## *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob

### 1. INTRODUCCIÓN

El yacón *Smallanthus sonchifolia* (Poepp. et Endl.) H. Robinson, es una especie originaria de la región Andina de Sudamérica<sup>1</sup>, pertenece a la familia de las Asteraceae (compuestas) Orden Asterales, Subclase Asteridae y representa un cultivo tradicional de la población original del Perú, utilizada en medicina tradicional<sup>2</sup>. En los Andes se cultiva a una altitud de 880 a 3500 m. Su cultivo se extiende desde Venezuela hasta noroeste de Argentina, siendo en la mayoría de los casos para consumo familiar.

En los primeros períodos de la evolución, los agricultores de los Andes ya habían reconocido las propiedades del yacón y han transformado la planta en una cosecha cultivada. Se le encuentra en los cementerios siglos antes de la Cultura Inca siendo su representación más antigua en Perú los textiles y la cerámica hallados en un yacimiento arqueológico del litoral Nazca (500-1200 Club atlético)<sup>3</sup>.

De los Andes, fue trasladado a Nueva Zelanda y Japón. Su cultivo fue introducido con éxito en Italia, Alemania, Francia y EE.UU. En Italia, las raíces tuberosas de yacón se utilizan para producir alcohol y FOS. En 1993, se introdujo en la República Checa y recientemente se ha introducido en Rusia<sup>3</sup>.

Es un cultivo perenne andino, el cual todavía está siendo utilizado y comercializado marginalmente. El interés por éste, se ha incrementado debido a las propiedades saludables de su raíz, especialmente por la gran cantidad de oligofructanos, también llamados fructooligosacáridos (FOS)<sup>4</sup> prebióticos de gran importancia en la prevención de enfermedades crónicas como diabetes, enfermedades cardiovasculares e hipertensión, fortalece el sistema inmunológico, disminuye el riesgo de desarrollar lesiones cancerosas en el colon y la presencia de sustancias bioactivas como los compuestos fenólicos tales como clorogénico, cafeico y otros flavonoides importantes estos últimos por sus propiedades antioxidantes. Así mismo los compuestos terpénicos en las hojas especialmente los sesquiterpénicos tipo melampólido se les atribuye la actividad antimicrobiana, mientras que los diterpenos tipo kaurenos son sustancias de defensa. Las hojas poseen actividad antimicrobiana, e hipoglicemiante mientras que las raíces tienen actividad antioxidante y son agentes prebióticos<sup>5,6</sup>.

## 2. NOMENCLATURA BOTÁNICA

### 2.1 Especie Botánica

*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Rob.

Familia botánica: Asteraceae (Compuestas)

### 2.2 Sinonimias

*Polymnia sonchifolia* Poepp. et Endl.

*Polymnia edulis* Wedd.

*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.)<sup>7</sup>

**2.3 Nombres comunes:** yacón (Perú, Bolivia, Argentina), llacón (de origen quechua, cuyo significado es “aguado-insípido”), llakwash, aricama, jícama y algunos derivados de éstos, como llaqon, llacum, llacuma, yacumpi, aricama chicama, jícama, shicama, jíquima, jiquimilla, llacjon, llacon, puhe, puhe. Nombres en quechua: yacón, yacuma. Nombres en aymara: Arizona, yacuma o yakuma y arikoachira<sup>3</sup> (ver figura N°1).



**Figura N° 1:** *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Robinson.

### 2.4 Distribución Geográfica

Es una planta domesticada en los Andes, habiéndose expandido de las montañas húmedas hacia el norte y sur a lo largo de los declives húmedos andinos y valles interandinos secos y la costa peruana, por lo que es cultivado en muchas localidades aisladas a través de los Andes, Ecuador, el sur de Colombia, hasta el nor-oeste argentino (provincias de Salta y Jujuy)<sup>2</sup>, entre los 1800 y 2800 msnm, en climas



templados montañosos. Sin embargo, se adapta fácilmente a una diversidad amplia de climas y suelos, desde el nivel del mar hasta los 3500 msnm<sup>2</sup>, siendo altitudes medias entre 1500 y 2000 msnm las mejores para la producción de raíces reservantes<sup>3</sup>.

En casi todos los departamentos del Perú se siembra yacón, siendo Amazonas, Cajamarca, Oxapampa, Huánuco y Puno los lugares con mayor área sembrada<sup>2</sup>. En el Perú, el área estimada de siembra con fines comerciales en el 2002 fue de 600 ha. En Bolivia y Ecuador su cultivo es menor y se destina principalmente al autoconsumo. En Argentina se siembra sólo en las provincias norteñas de Jujuy y Salta. Fuera de los Andes, Brasil (Sao Paulo) y Japón (con 100 ha) son los países con mayor área de cultivo.

En 1982 fue introducido a Nueva Zelanda y desde este país a Japón en 1985. En la actualidad se siembra también en Corea, República Checa, Inglaterra, Rusia, Taiwán y algunos lugares de Estados Unidos<sup>3</sup>.

### 3. DESCRIPCIÓN HISTÓRICA Y BOTÁNICA

Emergió hace aproximadamente 4500 años. Existen evidencias arqueológicas (cerámicas, textiles, restos de raíces) sobre el uso de yacón en las culturas Nazca (500 a.C. – 700 d.C.) tales como representaciones de las raíces en los bordados y fitomórficas en cerámicas, Nazca (500 d.C.-700 d.C.), Paracas (1500 – 500 a.C.) y Mochica (500 a.C. – 700 d.C.), en la costa peruana. Los indios lo estimaban mucho y lo consumían en regular proporción en la fiesta del Corpus Christi. Inclusive se ha encontrado restos de yacón en tumbas pre-incas. Durante la época de la Colonia los españoles lo usaban como alimento de los marineros durante los viajes de la conquista. En Argentina existen restos arqueológicos recolectados en Pampa Grande, Salta, asociados a la cultura Candelaria, que se desarrolló entre el 1 y 1000 años d.C en el noroeste de este país. En 1615 el cronista peruano Huamán Poma de Ayala la citó como llacum entre la descripción de 55 plantas cultivadas en los andes. El cronista español *del siglo XVII* Bernabé Cobo *manifestó* sobre la forma de consumo *de las raíces que era especialmente apreciado por sus características refrescantes durante la travesía en altamar.*

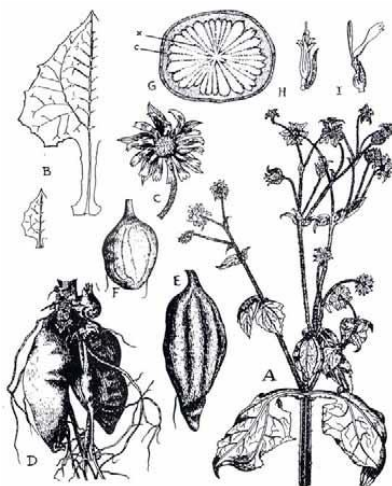
Pertenece a la familia de las Asteraceae también denominada Compositae, fue clasificado inicialmente en el marco del género Polymnia (Asteraceae, Heliantheae, subtribu Melampodinae) el cual fue creado por Linnaeus en 1751. Robinson en 1978 determinó que muchas especies del género Polymnia en realidad pertenecían al género propuesto por Mackenzi en 1933 conocido como *Smallanthus*, es así como el yacón junto con otras 21 especies es clasificado en el género *Smallanthus* (Asteraceae, Heliantheae). La nueva

clasificación, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson, es actualmente preferida, mientras que los nombres antiguos *Polymnia sonchifolia* Poepp. & Endl. y *Polymnia edulis* Wedd mencionado en otras literaturas se consideran como sinónimos.<sup>9</sup>

### 3.1 Morfología

Es una planta perenne, presenta ejes aéreos con hojas, yemas vegetativas, flores y un sistema subterráneo de grandes tubérculos de 100-500g de peso, excepcionalmente pesa más de un kilogramo. Los frutos son de color negro, de unos 2 mm pequeños aquenios<sup>1</sup>. Es capaz de crecer hasta tres metros de alto, y que posee un sistema de raíces tuberosas que llegan a alcanzar una longitud de 10 cm a 25 cm de diámetro.

Si proviene de semilla vegetativa o propágulo consta de varios tallos. Los tallos son cilíndricos, pilosos y huecos de color verde a púrpura, hueco en la madurez y densamente pubescente en la parte superior. En la figura N°2 se aprecia la morfología y estructuras de planta.



**Figura N°2: Yacón (*Smallanthus sonchifolius*) aspectos morfológicos (León, 1964).** A: Ramas de floración. B: hojas. C: inflorescencia. D-F: Raíces tuberosas. G: La sección transversal de raíz tuberosa (x, xilema, c, tejido de corteza). H: flor de disco estaminada. I: Flores pistiladas.

### 3.2 Partes de la planta

#### 3.2.1 Sistema radicular

El sistema radicular se compone de un sistema muy ramificado de raíces de absorción y de hasta 20 raíces carnosas y tuberosas de almacenaje. Las raíces de almacenaje se forman a partir de un sistema ramificado de ejes subterráneos; son mayoritariamente napiformes,

Esta constituido por un sistema subterráneo engrosado de naturaleza mixta representado por rizóforos y raíces. Todo el sistema radicular esta formado por raíces adventicias algunas permanecen delgadas y otras sufren tuberificación. El sistema subterráneo está constituido por tres partes:

- a. Los rizomas o rizóforos o corona (cepa) se forman por el engrosamiento de la parte del tallo que esta dentro de la tierra almacenan azúcares simples y FOS son ricos en fibras duras no digeribles contienen yemas que dan origen a nuevas plantas
- b. Las raíces fibrosas o delgadas cuya función es la fijación de la planta al suelo y absorción de agua y nutrientes.
- c. Las raíces reservantes o tuberosas que son la parte comestible<sup>2,10</sup>.

Estudios sobre la morfología y anatomía del sistema subterráneo de yacón concluyeron que las raíces del sistema son de naturaleza heterogénea. Los rizóforos y raíces presentaron conductos secretores de lípidos en las capas internas de la corteza, que se deriva del endodermo<sup>10</sup>. Por otro lado el engrosamiento de la raíz se debe por un incremento en la actividad del cambium vascular que se ubica entre el floema y xilema<sup>2</sup>.

### **3.2.2 Hojas**

Las hojas son opuestas, con lámina decurrente hacia el peciolo; la lámina foliar es anchamente ovoidada con la base hastada, auriculada o connada; las hojas superiores son ovoido-lanceoladas; el haz de la hoja es piloso y el envés pubescente. Hasta la floración en cada tallo se producen 13 a 16 pares de hojas despues de la floración solo hojas pequeñas<sup>1</sup> (ver figura N°2).

Se han realizado estudios de identificación microscópica de la hoja y del tallo para el control de calidad farmacognóstico. El material botánico fue colectado en Curitiba a una altitud de 930 m, luego fijado y preparado de acuerdo con las técnicas estándar de luz y microscopía electrónica de barrido. Los resultados mostraron que la hoja es anfiestomáticas, con predominancia de estomas anomocíticos. Tricomas tectores y glandulares estarían presentes, siendo el primero pluricelulares y uniseriados. Los tricomas glandulares son cortos y pluricelulares, con dos series de células. El mesófilo es dorsiventral y una nervadura central posee varios paquetes vasculares colaterales en posición céntrica.

El tallo joven presenta epidermis persistente, colénquima angular, parénquima cortical, endodermis y cilindros continuos de floema y xilema. Los

conductos secretores se encuentran en la hoja y en el tallo. El conjunto de caracteres observados como la presencia de tricomas tectores y glandulares, conductos secretores y endodermis con estrías de Caspary son útiles para el control de calidad de esta especie<sup>4</sup>.

Presenta dos sistemas de defensa en sus hojas: una red de pelos que hace que sea difícil el acceso de insectos y una alta densidad de las glándulas. La combinación de estos mecanismos es la causa que las hojas de yacón sufren menos ataques por insectos, lo que permite su cultivo, sin uso de plaguicidas, lo que conlleva a una menor contaminación del producto<sup>11</sup>.

### **3.2.3 La inflorescencia**

La rama floral es terminal de ramificación dicásica, compuesta de inflorescencia denominadas capítulos o cabezuelas. Cada rama floral puede presentar de 20 a 40 capítulos. Una planta puede llegar a producir hasta 80 capítulos. Cada capítulo esta formado por flores femeninas (14-16) y flores masculinas (80-90)<sup>1</sup>. Los capítulos son amarillos a anaranjados, con cerca de 15 flores liguladas. Las flores liguladas son femeninas, 2—3-dentadas, de hasta 12 mm de largo y 7 mm de ancho. Las flores tubulares son masculinas, con cerca de 7 mm de largo. El desarrollo floral del yacón es reducido en comparación con las formas silvestres. Es fuertemente dependiente de las condiciones ambientales y es diferente en las distintas áreas en que se cultiva. En condiciones favorables de cultivo, la floración comienza después de 6—7 meses y alcanza su punto máximo después de 8—9 meses. Se asume que el yacón presenta polinización cruzada.

La polinización mostró que la producción de semillas en flores con polinización abierta es el doble que en flores encapsuladas. La producción de semillas es bastante baja probablemente por la esterilidad del polen o el desequilibrio en el metabolismo en el que la planta debe suministrar recursos energéticos para el desarrollo de un elevado número de flores y, al mismo tiempo, para el de las raíces de almacenaje. Evidencia de ello es el mayor número de semillas formadas en las flores que se desarrollan primero. Una de las posibles razones es la latencia física de las semillas debido a la dureza de la testa. Más aún, El crecimiento de las plantas producidas por semilla es más lento que el que muestran las plantas vegetativamente reproducidas. Las flores del yacón pueden ser producidas artificialmente a través de injertos en girasol<sup>12</sup>.

### 3.2.4 Fruto

Es un aquenio que procede de un ovario ínfero con más de un carpelo. Es de forma piramidal con angulos no muy claros de base ensanchada, es exalbuminosa pesa entre 1.2 g a 0.6 g. La semilla esta unida al pericarpio atraves del fonículo cubiera de una testa de capa simple. Es de forma piramidal con angulos no muy claros de base ensanchada, es exalbuminosa pesa entre 1.2 g a 0.6 g. El embrión es una masa de células no diferenciadas<sup>2</sup>. Las dimensiones del aquenio son de 3,7 x 2,2 mm en promedio; tienen forma elipsoidal, color café oscuro, con epidermis lisa, endocarpio sólido caracterizado por el libre desprendimiento del pericarpio con un ligero frotamiento; algunos ecotipos no producen frutos y si los producen no son viables<sup>12</sup>

## 4. ASPECTOS AGRONÓMICOS

La Universidad Agraria de La Molina hizo estudios acerca de los aspectos agrónomicos de yacón. Su desarrollo óptimo ocurre entre 18-25°C. El follaje es capaz de tolerar altas temperaturas sin síntomas de daño, si se proporciona agua adecuadamente, siendo sensibles a las heladas. Temperaturas bajas nocturnas parecen ser necesarias para una formación adecuada de raíces reservantes. Tiene una buena demanda hídrica (mayores de 800 m), pero pueden sobrevivir largos períodos de sequía, siendo afectada significativamente su productividad en estas condiciones.

Se adapta a un rango muy amplio de variedad de suelos, pero responde mejor a suelos ricos, moderadamente profundos, profundos, sueltos, con buena estructura y bien drenados. Pueden tolerar un amplio rango de pH, de ácidos a ligeramente alcalinos. Su cultivo se realiza tradicionalmente bajo tres sistemas: monocultivo, asociado y huerto familiar, durante todo el año en la ceja de selva y sierra interandina, donde no hay presencia de heladas, o las heladas se presentan al final del cultivo, siendo recomendable sembrar a inicios de las precipitaciones pluviales entre los meses de setiembre y octubre en la época de inicio de las lluvias. Sin embargo, en terrenos con riego y sin presencia de heladas, la siembra se puede realizar en cualquier época del año. Numerosos factores como la altura, temperatura, el tipo de suelo afecta la longitud del cultivo en las zonas altas de los andes durando de 10-12 meses, mientras en alturas de 0-2000 metros dura de 6-10 meses.

### 4.1 Reproducción y Rendimiento

Se propaga vegetativamente por medio del rizoma, un órgano subterráneo de la planta del cual se puede obtener entre 6 a 14 propágulos siendo el enraizamiento favorecido usando reguladores de crecimiento (auxinas). El distanciamiento entre

plantas es de 0,5 a 0,6 m y entre surcos es de 1 a 1,2 m, resultando entre 10 y 12 mil plantas por ha. Otros métodos de propagación no tradicional incluyen los nudos y los esquejes de tallo. La reproducción sexual del yacón es difícil debido a la escasa formación de semilla sexual fértil<sup>3</sup>.

Para la obtención de semilla se selecciona las plantas más frondosas de donde se extraen los hijuelos sanos y robustos los cuales se desprenden manualmente de la corona. Los hijuelos seleccionados son enterrados en chacras bajo sombra de árboles frutales u otros lugares sombreados y en algunos casos con riegos ligeros, evitando la deshidratación de los hijuelos (semillas). Para la siembra se realiza un corte horizontal en la base del hijuelo. Luego en el área del corte se realiza una hendidura circular o en forma de cruz o aspa con la finalidad de estimular la proliferación de las raíces. Los cortes se cubren con ceniza o uchpa para protegerlas de enfermedades fungosas y posteriormente se colocan las semillas en lugares frescos, no expuestas directamente al sol, para facilitar su cicatrización.

Algunos cultivares tienen un rendimiento mayor que otros, en algunos lugares se acostumbra sembrar y cosechar junto al maíz, pero el medio ambiente, localidad, fertilización, época de siembra pueden modificar significativamente su capacidad productiva.<sup>1</sup>

Los primeros estudios que se realizaron en un campo experimental en Oxapampa durante los meses de agosto de 1997 a Mayo de 1998 cuya finalidad fue determinar el potencial productivo de raíces reservantes y follaje de 24 entradas de yacón y evaluar los posibles efectos entre los caracteres morfológicos y los caracteres relacionados a la producción. Los resultados mostraron una correlación positiva altamente significativa entre el peso de raíces reservantes y el número de raíces/planta, peso de propágulos/planta, número de raíces descartadas/planta, índice de área foliar, peso de área verde; así mismo los caracteres complementarios altura de planta, longitud de ramas y relación largo y ancho de hojas de rama. También se encontró correlación positiva altamente significativa entre el índice de área foliar y el peso de raíces reservantes/planta, número de raíces/planta, número de raíces descartadas/planta, y los caracteres complementarios, altura de plantas y longitud de ramas; mientras que con la relación largo y ancho de hojas de rama se encontró correlación significativa (0,05) de probabilidad<sup>13</sup>.

Otras investigaciones se han ejecutado sobre la identificación y evaluación agronómica de biotipos de yacón que crece en la Microcuenca la Gallega, Provincia de Morropón-Piura. La colección, identificación del material de propagación (semilla asexual) y evaluación experimental se desarrolló de enero a diciembre del 2003.

Los biotipos de yacón “amarillo” y “blanco” se sembraron en las zonas de Ñoma y Quinchayo Chico distrito de Santo Domingo. Para los estudios comparativos utilizaron un diseño experimental de Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones. Los resultados indicaron que los biotipos se ubican en los pisos ecológicos de 1600 (Ñoma) y 2400 (Quinchayo Chico) msnm de la microcuenca la Gallega en los distritos de Santo Domingo y Chalaco, con predominancia del amarillo. 60 días después de la siembra, el biotipo amarillo tuvo el mayor porcentaje de brotamiento, 86,65% en Ñoma y 89,25% en Quinchado chico. Asimismo el biotipo amarillo alcanzó el mayor rendimiento, 26,75 t/ha en Ñoma y 23,17 t/ha en Quinchayo Chico<sup>14</sup>.

**CUADRO Nº 1: CULTIVOS DE YACÓN 2005-2006**

MINAG	YACÓN
Superficie sembrada anual Campaña agrícola 2005-06/2006-07	365 ha
Superficie cosechada 2005	289 ha
Superficie cosechada 2006	300 ha
Producción anual 2005	4819 t
Producción anual 2006	5256 t

Fuente: Ministerio de Agricultura – Dirección de Cultivos

Otros estudios en yacón del ecotipo 'amarillo' se ejecutaron siendo cultivados en invierno en el Módulo de Hidroponía de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú bajo condiciones nutricionales marginales, donde se realizó la extracción de N, P y K. Las condiciones marginales fueron controladas por el uso de la técnica del cultivo sin suelo. Las plantas fueron cultivadas en arena de cantera y regadas con cuatro soluciones nutritivas diferentes: 1) Control (150 ppm N, 36 ppm P y 260 ppm K), 2) bajo en N (100 ppm), 3) bajo en P (20 ppm) y 4) bajo en K (100 ppm). La nutrición marginal de N, P y K no afectó significativamente el crecimiento y rendimiento del cultivo de yacón entre los 60 y 180 días después de la siembra pero sí a los 210 días. A los 210 días, el mayor rendimiento se alcanzó con los tratamientos bajo en K (1,875 kg/planta) y menor rendimiento con el control (1,083 kg). Hubo una mayor extracción de K en raíces reservantes que en hojas. A los 210 días, las raíces reservantes de yacón contienen mayor cantidad de K (4373 a 6665 mg) seguido de N (1068 a 1640 mg) y P (106 a 222 mg). El K sería más importante para la formación y llenado de raíces reservantes. Las mayores concentraciones de azúcares reductores en raíces reservantes se alcanzaron con los tratamientos bajo en K (3,40 mg/g) y N (3,00 mg/g) y, las menores concentraciones, con los tratamientos bajo en P (1,27 mg/g) y control (1,12 mg/g), lo que significa que es

posible cultivar yacón y otras plantas que producen raíces y tubérculos bajo cultivo sin suelo<sup>15</sup>. En Nueva Zelanda Con respecto al efecto del peso de los propágulos de yacón en el rendimiento de la planta ensayos realizados sobre los rendimientos de raíz tuberosa como el incremento de peso de propágulos que llegaron a aumentar de 25 a 500 g con un incremento más rápido en el rendimiento de 180 --200 g y luego un aumento más gradual hasta 500 g. Plantación de piezas de 50 g de la corona dieron un promedio en rendimiento de raíz tuberosa de 2 kg / planta, de 200 gramos dio 5 kg / planta, y de 500 gramos dio 6 kg / planta. Este aumento en el rendimiento se debió a un aumento en el número de raíces tuberosas / planta, de 17 al 57/planta en el rango de peso de propágulos, sin cambio en el peso medio de las raíces, excepto de los propágulos más pesados. Hubo una fuerte y positiva correlación ( $r = 0,83$ ,  $p = 0,001$ ) entre los números de propágulos de la raíz y el peso de la raíz tuberosa. Se recomienda que una pieza de propágulos de la corona de 180-200 g sea utilizado para establecer cultivos de yacón para la producción de raíz tuberosa. El uso de este peso de la siembra, aumento las coronas en peso 10 veces. Plantación de piezas de corona más pequeña dio una mayor multiplicación de la corona del material de plantación, pero esto fue a expensas del rendimiento del cultivo. El número de tallos/planta aumentó como el peso de propágulos se incrementó y fue positivamente relacionado con el número de raíces y el peso del follaje, pero no era lo suficientemente preciso para ser utilizado como una estimación de rendimiento. Extrapolando los rendimientos de raíces tuberosas de la población de plantas de 13300 plantas /ha fue 26,6 t/ha de las de 50 g y de 66,5 t/ha de las de 200 g de piezas, y 79,8 t/ha de las de 500 g de pieza, demostrando que el peso de los propágulos tiene un gran efecto en el rendimiento de raíz tuberosa de yacón<sup>7</sup>.

Se ha realizado una proyección de la situación real de la cosecha (de la población, explotación, y comercio) en la Rioja, Bilbao y Charcas provincias del departamento de Potosí en Bolivia, con una superficie total de 656 km cuadrados incluyendo 16 pueblos por encima de la altura de las aguas que van de 2680 a 3776 m. Del total de 2435 familias en las 16 aldeas, 51 familias cultivan yacón en áreas pequeñas y para sus propias necesidades. La población local reconocen dos variedades locales de yacón: k'ellu (amarillo) y Yurak (blanco). Dependiendo del color principal de la parte cortical de la raíz tuberosa (de pulpa), la clasificación se hizo en 5 morfotipos: blanco, blanco cristal, violeta claro, naranja y amarillo. El morfotipo blanco fue el de mayor difusión en las áreas de control, que se cultiva en 13 pueblos de los 16 totales; el ecotipo amarillo se cultiva en 10 pueblos, el blanco cristal en 3 pueblos, el naranja y el violeta claro en 1 pueblo<sup>16</sup>.



En nuestro país se aprecia según la tabla N°1 el incremento de la producción y la cosecha en los últimos años. En Sao Paulo (Brasil) se han reportado rendimientos de raíces de hasta 100 t/ha, el rendimiento promedio en condiciones alto andinas varía entre 20 a 40 t/ha. Algunos cultivares tienen un rendimiento mayor que otros, pero el medio ambiente de la localidad, fertilización, época de siembra pueden modificar significativamente la capacidad productiva<sup>2</sup>. En los años 2001-2005, las condiciones meteorológicas en la República Checa y su influencia en la producción de raíces tuberosas fueron estudiadas en las variedades de yacón originarias de Bolivia, Ecuador, Alemania y Nueva Zelanda. Los rendimientos de la raíz tuberosa alcanzó hasta 35 t/ha, siendo la variedad criolla con el rendimiento más alto (29,18 t/ha) procedente de Nueva Zelanda. El factor crucial para los rendimientos de raíces tuberosas fue la precipitación, mientras la duración del período de vegetación y la temperatura fueron secundarias<sup>17</sup>.

Es importante conocer que a la hora de seleccionar un morfotipo o cultivarlo con fines comerciales es necesario determinar caracteres diferenciales de interés como describe el estudio realizado en dos morfotipos de yacón, LIEY 97-1 y LIEY 97-2, cultivados en el Centro Universitario de Horco Molle - UNT - Tucumán, Argentina, donde se analizaron caracteres morfoanatómicos y químicos de hojas, flores y frutos, determinando caracteres de interés para la identificación, valoración farmacológica y nutricional de los mismos. Las principales diferencias halladas fueron cualitativas en hojas y morfológicas en hojas, flores femeninas y frutos. Caracteres morfoanatómicos de las hojas, del fruto y de la flor femenina, permiten diferenciar ambos morfotipos; de igual forma químicamente las hojas de ambos morfotipos muestran el perfil característico de la especie, pero con diferencias cuantitativas principalmente en las lactonas sesquiterpénicas mayoritarias Enidrina y Uvedalina<sup>18</sup>.

Algunas de las ventajas del cultivo del yacón para los productores y el medio ambiente han sido identificados tales como: presenta una alta productividad, es adaptable a una amplia gama de climas y suelos, permite el control de la erosión, tiene un uso potencial como forraje (tanto la parte subterránea y aérea), presenta amplia variedad de alternativas y tiene buena durabilidad post-cosecha si es almacenada correctamente<sup>11</sup>.

## 5. ASPECTOS GENÉTICOS

## 5.1 Variabilidad genética

Existen más de 25 especies del género *Smallanthus* conocidas en toda América Central, desde el Sur de México, América Central y los Andes (Colombia, Ecuador, México, Perú, Bolivia y el noreste de Argentina).

En el Perú, se reconoce la presencia de otras seis especies de *Smallanthus*, además de *S.*

*sonchifolius*. Dos de estas especies, *S. riparius* (H.B.K.) H. Rob. y *S. siegesbeckius* (DC.) H.

Rob., se consideran pertenecientes al mismo grupo que el yacón y están estrechamente emparentadas, sobre la base de su distribución, hábito y morfología con *S. sonchifolius*. Debido a esta problemática, los caracteres diagnósticos empleados por Wells no son siempre fáciles de interpretar, sin embargo, ya que el yacón se reproduce exclusivamente por vía vegetativa y no es recolectado en poblaciones silvestres, no existe ningún riesgo verdadero de confundirlo con las otras especies<sup>12</sup>.

Bajo condiciones controladas, los cultivares (i.e. genotipos) se diferencian significativamente en la forma y peso de las raíces de almacenaje, el rendimiento, el contenido de azúcar, fenol y ADN, y en las isoenzimas foliares. En el Perú hay dos centros de diversidad fenotípica: el sur, en la parte andina oriental de Cuzco y Puno, y el norte, en las provincias de Cajamarca y Contumazá, donde se mencionan cuatro morfotipos para el norte del país, diferenciados. Por el color del tallo y de las raíces de almacenaje, los agricultores son capaces de diferenciarlos. Aproximadamente se estima la existencia de sólo unos 20—30 cultivares.

En 1992 una red de instituciones de América Latina comenzó a recopilar y documentar de forma sistemática yacón en bancos de genes, sobre la base de un programa de colaboración de RTA (Raíces Tubérculos Andinos). En el Perú, algunos institutos comenzaron a coleccionar y conservar material genético ya que la extensión de la diversidad genética es aún desconocida, y descriptores para la caracterización son necesarios debido a la gran variabilidad de las características fenotípicas. En varios bancos de germoplasma, la identificación es determinada con parámetros subjetivos, por consiguiente es difícil comparar los datos.

Para evitar problemas de erosión genética ha sido necesaria la creación de los Bancos Germoplasma tanto in situ como ex situ. Una de las formas de conservación ex situ, se realiza mediante técnicas de conservación in vitro,

haciendo uso de estresantes osmóticas como el manitol o sorbitol adicionados a los medios de cultivo.

## 5.2 Centros de Germoplasma

En la actualidad, las siguientes instituciones están trabajando en la conservación de gerrmoplasma de raíces tuberosas andinas:

1. Una colección de 32 accesiones de yacón, que se caracterizan morfológicamente y molecularmente es dirigido por el INIAP (Instituto Nacional Autónoma de Agricultura Investigación) en Pichincha, Ecuador (3058 msnm).
2. En Bolivia, el material a partir del 30 accesiones se lleva a cabo, también in situ (17 familias), en La Paz. 3. En el Perú, 417 accesiones han sido recogidos. Sin embargo, un gran número de ellos son duplicados (Arbizu y Holle, 1997). Las colecciones de material de yacón se llevan a cabo en:
  - a) Los Baños del Inca estación de investigación de la Universidad Nacional de Cajamarca a 2536 msnm. Esta colección consta de 90 accesiones.
  - b) El Centro Internacional de la Papa (CIP), que mantiene una colección de 44 adhesiones en Lima (240 msnm) y Mariscal Castilla (2550 msnm).
  - c) El Instituto Nacional de Investigación y Tecnología de Agricultura y Alimentación (INIA) tiene 119 adhesiones en Cusco (3392 msnm).
  - d) El Centro Regional de Investigaciones de Biodiversidad Andina (criba) en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) gestiona 157 adhesiones desde el sur de Perú en Ahuabamba, Cusco (2100 msnm)<sup>2</sup>.

El INIA - Estación Baños del Inca tiene una colección Nacional de 246 entradas de Yacón dentro de las cuales hay 26 morfotipos identificados. Asimismo el Ing. Juan Seminario Cunya (Universidad Nacional de Cajamarca) ha logrado conservar 110 accesiones de Yacón. Inicialmente con la ayuda de 20 descriptores morfológicos estandarizados definió 7 morfotipos. Datos obtenidos en el Proyecto Perubiodiverso que fueron constatados en el INIA de Cajamarca

## 5.3 Parientes Silvestres

La especie mas cercana es el *Smallanthus siegesbeckius* H Robinson llamada "yarita" muy parecida morfológicamente al yacón, se encuentra en Cusco en la cuenca del río Vilcanota se desarrolla en estado silvestre. Tambien en Junín y San Martín. En otros países se distribuye en Bolivia (Santacruz), Mina Gerais, Paraná, Río de Janeiro en Brasil y Paraguay. Otra especie es *S. macroscyphus* se encuentra en los bosques de la selva de norestede Argentina y Bolivia se diferencia de la especies anterior porque la parte subterránea es menos desarrollada y presenta menos tallos<sup>2</sup>.

#### 5.4 Investigaciones

Con el objetivo de proponer medios alternativos para la conservación in vitro del yacón y prolongar los periodos entre subcultivos en los medios de propagación in vitro actualmente utilizados se evaluó el efecto de la reducción del crecimiento en tres (3) entradas de yacón del Banco Germoplasma del Centro Internacional de la Papa frente a 4 medios con diferentes concentraciones de manitol (20, 40, 60,80 g/l), 4 medios con diferentes concentraciones de sorbitol (20, 40, 60,80 g/l) y 6 medios con diferentes concentraciones de manitol-sorbitol (20-20, 20-10,10-20, 30-30,30-0,10-30 g/l). Se evidenciaron mayor reducción del crecimiento en las plántulas in vitro de yacón expuestas a altas concentraciones de los estresantes de tipo osmótico utilizados como el manitol y sorbitol. Se comprueba el efecto positivo de los medios suplementados con retardantes de crecimiento como manitol – sorbitol en la reducción del crecimiento de las plántulas de yacón en promedio de las tres entradas en estudio. Dentro de los tratamientos con diferentes concentraciones de manitol – sorbitol, el medio de cultivo mas eficiente en la reducción de la altura de las plántulas in vitro de Yacón, fue el medio que contiene 30g/l de manitol y 30g/l de sorbitol)<sup>19</sup>.

Se han realizado la caracterización molecular de 30 accesiones de yacones peruanos cultivados provenientes de departamentos del norte, centro y sur, mediante la técnica de RAPDs (marcadores Random amplified polymorphic DNA). A 0,58 de similitud se forman 7 grupos de yacones, el primero con 22 accesiones agrupa a todos los provenientes del norte y del sur y algunos del centro, los grupos restantes solamente contienen accesiones del centro.

Esto permitiría establecer que existe mayor diversidad de yacones que provienen de la zona centro. Los resultados mostraron que no habría duplicación de genotipos en la colección y habría bajos niveles de polimorfismo. Así mismo la variación interregional sería de 21,14% mientras la intrarregional 78% con una mayor diversidad de yacón en la región central del Perú<sup>20</sup>.

Otros estudios realizaron la caracterización morfológica y molecular de genotipos de 31 accesiones de yacón colectadas del departamento de Huánuco en el Centro de Investigación y Producción Canchan de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán. En algunos descriptores la percepción de los estados es más precisa que en otros, facilitando el agrupamiento de las accesiones. Se obtuvo en dendograma cualitativo un coeficiente de distancia taxonómica cero, todas las accesiones son diferentes no forman grupos. Del análisis de agrupamiento con características morfológicas se

concluye que existe 19 grupos a un coeficiente de distancia 0,57 que representa la variabilidad genética del yacón estudiado, agrupados según el lugar de procedencia en su mayoría, según lo registran los datos de pasaporte y a sus características comunes. Los caracteres morfológicos con mayor precisión y que facilitan el agrupamiento de las accesiones son: en el tallo el descriptor color secundario de tallos y su distribución; en las hojas: translape de alas y la forma de la lámina, en la flor: la forma de la flor ligulada; en la raíz reservante: color de la superficie de la raíz<sup>21</sup>.

Se han realizado ensayos con la finalidad de establecer un sistema para uniformizar las características de post-cosecha de la raíz de yacón, de acuerdo a sus características fisiológicas como peso fresco (PF), número de raíces y el índice refractométrico (IR) así como otras características fenotípicas. Los datos fueron basados en aproximadamente 200 accesiones, mantenidas en tres bancos peruanos de germoplasma de yacón: CIP (Centro Internacional de la Papa) en Mariscal Castilla-Junín; CRIBA (Centro Regional de Investigación en Biodiversidad Andina) en Ahuabamba-Cusco y UNC (Universidad Nacional de Cajamarca) en Cajamarca. El PF y el número de raíces por planta variaron considerable entre los bancos de germoplasma y también entre las accesiones. El promedio total resultó en 3 kg por planta, siendo el promedio más alto obtenido en CRIBA con 4,9 kg por planta. El promedio total del número de raíces fue de 16 raíces por planta, siendo CRIBA el banco de germoplasma que registró el promedio más alto, con 21 raíces por planta. Las accesiones con el promedio más bajo (12 raíces por planta) fueron registradas en el banco de germoplasma de UNC. El IR osciló en un rango de 7,1 – 11,7 °Brix en 50 % de las accesiones. La concentración más baja de sólido soluble fue detectada en cerca del 30 % de las raíces y la concentración más alta en 20% del total evaluado. El promedio IR del banco de germoplasma del CIP se presentó como el más alto (12,3 °Brix). Aparentemente el rendimiento, número de las raíces como el IR fueron afectados drásticamente por factores ambientales y de cultivo que por factores debidos al genotipo. Para determinarlo exactamente es necesario que las accesiones crezcan bajo condiciones ambientales controladas. Asimismo se debería realizar bioensayos o análisis moleculares para determinar en cuanto las diferencias morfológicas y fisiológicas dependen del genotipo<sup>22</sup>.

Se evaluó el efecto de diferentes medios de cultivo para inducir callogénesis y regeneración in vitro por embriogénesis y organogénesis de yacón con el deseo de tener en el futuro una herramienta que podría permitir iniciar su proceso de mejoramiento genético biotecnológico. La investigación se desarrolló en el Instituto de Biotecnología (IBT) de la Universidad Nacional Agraria la Molina con tres

accesiones de yacón: Clon AYAC-01 procedente del departamento de Ayacucho, Clon HUAN-08 del departamento de Huánuco y el tercero del departamento de Cajamarca. La regeneración indirecta, a través de callos embriogénicos se presentó al cultivar meristemas de yacón, en el medio E-8 que contiene sales y vitaminas del medio basal Murashige and Skoog (1962) modificado. La regeneración por organogénesis directa dio origen a la formación de órganos radiculares en los medios T5, T6, T7, y T8 en el clon Huanuco-08. En estos mismos medios los clones Ayacucho-01 y Cajamarca-8b formaron raíces por organogénesis indirecta. La regeneración de nuevas plántulas por organogénesis directa, a partir de discos foliares de yacón se logró en los medios T2 y T3 en el clon Cajamarca 8-8b y en T2 el clon Huanuco- 08. No se presentó este tipo de regeneración en el clon de Ayacucho<sup>23</sup>.

Otros estudios en la variabilidad en la colección de germoplasma de raíces de Norte del Perú identificaron 88 morfotipos de yacón. Así mismo determinaron que las zonas de Santa Cruz y Celendín son las zonas de mayor variabilidad para yacón<sup>24</sup>.

Recientes investigaciones describieron por primera vez la secuencia del ciclo celular de *Polymnia sonchifolia*, estableciendo la incidencia y duración de cada fase, así como de toda la mitosis en base a evaluación cíclica, para un período de 24 horas de los índices de fases e índices mitóticos parciales y totales según método propuesto por Dier. Para la muestra evaluada de yacón el número cromosómico de la muestra estudiada es  $2n=60$ . Los procesos evidenciados descritos y analizados evidenciaron que la introducción del yacón a cultivo in vitro no conlleva la aparición de alteraciones significativa a nivel genómico<sup>25</sup>. Otras investigaciones realizadas en Perú, Bolivia, Ecuador y Argentina contaron los cromosomas de 15 clones y encontraron 14 clones con  $2n=58$  y uno con  $2n=87$ , similares resultados obtuvieron otros investigadores<sup>2</sup>.

## **6. COMPOSICIÓN QUÍMICA:**

### **6.1 Composición de la raíz tuberosa**

#### **6.1.1 Características organolépticas**

Es de sabor dulce y su textura crujiente, comparable con la pera. No obstante se estima que la cantidad de fructanos se ve significativamente disminuida por el tratamiento solar dada su conversión a fructosa, por lo cual es más recomendable el uso de otras técnicas alternativas de secado o de consumo.

### 6.1.2 Características fisicoquímicas

PH: 6.35

Acidez: 0,30

Color: Tejido de almacenaje varía dependiendo del clon entre blanco, crema, rosado (estriado), lila, y hasta marrón.

Sabor: Raíz generalmente insípida y algunas variedades ligeramente dulce.

### 6.1.3 Composición

Las raíces frescas de yacón presentan principalmente 85%- 90% de agua y carbohidratos (ver Cuadro N°2). En relación a los carbohidratos, entre los azúcares encontrados están los monosacáridos fructuosa y glucosa y los oligosacáridos sacarosa y fructoligosacáridos además de trazas de almidón e inulina. Almacena esencialmente FOS ya que entre el 40 a 70% del peso seco está en forma de oligofructosa (OF) un azúcar especial que tiene varios efectos favorables en la salud y 15 a 40% está en forma de azúcares simples: sacarosa, fructosa y glucosa.

**CUADRO N°2: COMPOSICIÓN QUÍMICA DE YACÓN POR 1 KG DE RAÍZ TUBEROSA FRESCA**

Carbohidrato	promedio
Materia seca (g)	115
Fructanos (g)	62
Glucosa (g)	3.4
Fructosa (g)	8,5
Sucrosa (g)	14
Total carbohidratos (g)	106
Proteína (g)	3,7
Fibra (g)	3.6
Grasa (mg)	244
Cenizas (mg)	5,027
Calcio (mg)	87
Fosforo (mg)	240
Potasio (mg)	2,282

Hermann et al. 1999.<sup>26</sup>

Algunas investigaciones mencionan que las raíces de yacón contienen inulina como componente principal, estas referencias no son exactas ya que el yacón contiene FOS. La diferencia reside en el número de moléculas de fructuosa que tiene estas cadenas en la inulina estas varían de 2 a 60 en cuanto a los FOS presentan cadenas menores y el número varía de 2 a 10. Esto significa que los FOS pueden ser considerados como un subgrupo de inulina, expresado por algunos autores como FOS de tipo inulina para referirse con mayor precisión a la naturaleza de estos azúcares. En el cuadro N°4 se observa el contenido de azúcares y FOS en la raíz tuberosa.

### CUADRONº:3 CONTENIDO DE AZÚCARES EN RAÍZ TUBEROSA DE YACÓN

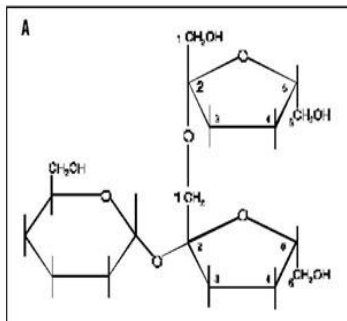
COMPONENTES	CONTENIDO mg/g peso seco
<i>Fructuosa</i>	350.1 ± 42.0
<i>Glucosa</i>	158.3 ± 28.6
<i>Sucrosa</i>	74.5 ± 19.0
<i>GF2</i>	60.1 ± 12.6
<i>GF3</i>	47.4 ± 8.20
<i>GF4</i>	33.6 ± 9.30
<i>GF5</i>	20.6 ± 5.20
<i>GF6</i>	15.8 ± 4.00
<i>GF7</i>	12.7 ± 4.00
<i>GF8</i>	9.6 ± 7.20
<i>GF9</i>	6.6 ± 2.30
inulin	13.5 ± 0.40

G = glucosa. F = fructuosa. GFn = glucosilfructuosa<sup>27</sup>.

Se realizó la determinación química de oligosacáridos en las raíces tuberosas, los oligosacáridos confirmados son de enlace  $\beta$ -(2 → 1) fructooligosacáridos con terminal de sucrosa (oligofruktanos tipo inulina)<sup>28</sup>. Los fructooligosacáridos no son azúcares reductores, tienen la ventaja de no ser susceptibles a la Reacción de Maillard. Estos compuestos son estables a valores de pH por encima de 3 y temperaturas de hasta 140 °C. Así, el FOS no se degrada en la mayoría de procesos térmicos de la industria alimentaria<sup>2,11</sup>.



Se observa en la figura N°3 que la estructura química del resto de FOS es similar a 1-cetosa, sólo varía en el número de moléculas de fructosa que pueden llegar a polimerizar (hasta 10 unidades).



**FIGURA N°3: LOS FRUCTOOLIGOSACÁRIDOS (FOS).**

Estructura química de 1-cetosa, el FOS más sencillo que existe (tiene sólo 2 moléculas defructosa).<sup>1</sup>

Ensayos químico y nutricional de las variedades de la raíz tuberosa, obtuvieron los siguientes resultados: 86,4-91,1% de humedad, 2,45% cenizas, 0,12% de grasa, y 2,05% de proteínas. Asimismo determinaron 484.13 ppm de magnesio, 25,5 ppm de hierro, 15,9 de zinc, 376 ppm de sodio y 12232 ppm de potasio, 1,27% de fibra<sup>29</sup> y 14,4% de fibra dietaria<sup>30</sup>.

La raíz tuberosa contiene azúcares reductores totales (26,32%), azúcares reductores directos (7.62%<sup>31</sup>), olifogructanos tales como 1-cetosa y nistosa<sup>31</sup>. En la tabla N° 2 se aprecia el contenido de nutrientes de la raíz. Presenta proteínas, aminoácidos como triptófano y vitaminas. El contenido medio de minerales por 100 g de la materia fresca fueron 334, 34, 12, 8,4, 0,4 y 0,2 mg de potasio, fósforo, calcio, magnesio, sodio y hierro, respectivamente. Presenta en cien gramos vitaminas B1, B2, C, β-caroteno y polifenoles en concentraciones medias de 0,07; 0,31, 5,0, 0,13 y 203 mg, respectivamente<sup>32, 31</sup>.

Otras investigaciones aplicaron el método de espectroscopía de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) para la rápida determinación de K, Na, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn, Mn, Mo, Ni en yacón, siendo los mas abundantes K, Ca y Mg<sup>33</sup>.

Se ha evaluado el contenido nutricional según zonas de procedencia en Perú donde encontraron en proteínas diferencias significativas entre 2,36%

en Junín y 4,52% en Lima. Asimismo existe diferencia significativa en el contenido de fibra, cuyos valores estuvieron entre 0,4% en Lima y 3,31% en Cajamarca, mientras las muestras provenientes de Junín (0,87%) presentaron mayor contenido de grasa el contenido de hierro fue similar en las muestras obtenidas en Puno (3,77 mg/100g.) y Lima (3,76 mg/100g.). Las muestras de yacón procedente de Lima presentaron mayor contenido de cobre (1,14 mg /100g)<sup>34</sup>.

Otro estudio reveló que la raíz tuberosa de yacón contiene aminoácidos libres que varían en los diferentes cultivares cuyo contenido fue desde 1,1 hasta 97,4 mg/100 g. El contenido de aminoácidos libres varió entre las diferentes partes del yacón siendo la concentración de los aminoácidos libres menor en la parte superior en comparación a la raíz y parte media. El total de aminoácidos libres, glutamina, arginina en polvo seco liofilizado de yacón fue de 1941,2 mg/100 g, 212,4 mg/100 g, y 994,2 mg/100, respectivamente. Los resultados muestran que arginina y glutamina son los principales aminoácidos libres funcionales<sup>35</sup>.

#### **6.1.4 Factores que influyen en su composición**

Uno de los factores que se investigaron fue el efecto del año de cultivo sobre el contenido de los glúcidos en cuatro ecotipos de yacón originarios de Bolivia, Ecuador, Alemania y Nueva Zelanda los que fueron cultivados en los campos de ensayo de la Universidad Checa de Agricultura en Praga en 1995, 1996, 2000 y 2001. Los resultados mostraron efecto estadísticamente significativo tuvieron el año de cultivo sobre el contenido de todos los glúcidos. Raíces tuberosas contenían mayor contenido de inulina y fructosa (193 g/kg muestra seca) en comparación con rizomas. No encontraron diferencias significativas para la sacarosa (alto en rizomas) y la glucosa (bajo en rizomas). El contenido de inulina y fructosa en la parte superior e inferior de las raíces tuberosas fueron recíprocos<sup>36</sup>.

En las raíces tuberosas se acumula una gran cantidad de fructanos con relativamente bajo grado de polimerización (DP). Se investigó el crecimiento estacional y fluctuaciones del contenido de carbohidratos solubles en cada parte del yacón durante el crecimiento y los períodos de latencia. Se concluyó que los fructanos son los carbohidratos solubles en agua predominante en las raíces tuberosas durante todo el período de crecimiento. La cantidad de fructanos en las raíces tuberosas aumentó rápidamente en noviembre y se mantuvo constante durante el reposo

vegetativo. Aunque la cantidad de fructanos en las raíces tuberosas aumentaron notablemente en septiembre hubo una disminución significativa en el contenido de fructanos durante el período entre octubre y marzo<sup>37</sup>.

Se ha demostrado que la concentración de azúcares simples en los primeros días de desarrollo de raíces tuberosas de yacón es muy elevada y el FOS es muy bajo. En el camino, dos enzimas son responsables de la síntesis de FOS a partir de sucrosa. La enzima sucrosa: sucrosa fructano fructosiltransferasa (SST), que cataliza la unión de dos moléculas de sacarosa para producir trisacárido 1-kestosa, el fructooligosacárido que es más sencillo y sirve como intermediario para la síntesis de FOS con un mayor grado de polimerización, además de una glucosa libre. La segunda enzima fructano: fructosiltransferasa fructano (FFT) y su función es catalizar la unión de dos oligofructanos para producir un mayor grado de polimerización. La FFT puede además transferir residuos de fructosa de otras cadenas de fructanos para una sacarosa iniciando una formación de nuevas cadenas<sup>11,38</sup>.

Se han realizado estudios como las fluctuaciones estacionales y la actividad de las enzimas relacionadas: la sacarosa: sucrosa fructano fructosiltransferasa, la fructano fructosiltransferasa y la fructano hidrolasa influyen en el contenido de fructanos en cada parte de yacón durante su período de crecimiento. Durante el verano, la cantidad de fructano acumulado en cada una de las partes es mínima, a pesar de la existencia relativamente alta de actividades específicas de sucrosa: sucrosa fructosiltransferasa y fructano: fructano fructosiltransferasa en los tallos, raíces tuberosas y rizomas. Por otra parte, desde octubre a diciembre, la cantidad de fructano en las raíces tuberosas y rizomas aumentaron notablemente, con un incremento del total de actividades de sacarosa: sucrosa fructosiltransferasa y fructano: fructano fructosiltransferasa. En setiembre la concentración de fructanos disminuyó en raíces tuberosas y rizomas. La actividad total y específica de fructano hidrolasa en las raíces tuberosas aumentó de nuevo en diciembre, al mismo tiempo, hubo una disminución en el contenido de fructano y un aumento en el contenido de fructosa<sup>39</sup>.

Diferentes estudios han demostrado que poco después de iniciada la cosecha, en las raíces se inicia un rápido proceso de cambio en la composición química de sus azúcares: Los azúcares polimerizados tienden

a despolimerizarse, es decir, los FOS son hidrolizados a azúcares por la simple acción de la hidrolasa fructano (FH)<sup>2,11,40</sup> que lo convierte en fructosa, sacarosa y glucosa. Entonces, la invertasa rompe la molécula de sacarosa resultando glucosa y fructosa libre. Después de una semana de almacenamiento a temperatura ambiente, del 30 al 40% de los FOS serán convertidos en los azúcares simples. Sin embargo, la velocidad de esta conversión es más lenta si el yacón se almacena a temperaturas de refrigeración. Las temperaturas de refrigeración también son útiles para reducir la tasa de deterioro y la degeneración de las raíces durante el almacenamiento<sup>3, 11y41</sup>. Así mismo La congelación de los brotes de las raíces a -20°C previene la degradación de FOS<sup>26</sup>.

El contenido de azúcares reductores, sacarosa y oligofructanos se modifican en función al grado de madurez y zona de procedencia. A medida que madura la raíz los azúcares reductores aumentan. Ensayos realizados en raíces tuberosas procedentes de Chachapoyas presentaron mayor contenido de fructanos y menos de azúcares reductores<sup>42</sup>.

Ensayos ejecutados en el ciclo de cultivo de yacón para obtener una mayor cantidad de fructuoligosacáridos en sus raíces tuberosas mostraron que la mayor cantidad de fructuosa total (91,84 mg/g materia fresca) se obtuvo a los 8 meses de la siembra, época en la que todavía se observó una mayor cantidad de fructuoligosacáridos. Se obtuvo una mayor cantidad de azúcares reductores en estos órganos a los 9 meses, a partir del cual se inició una tendencia a la disminución de estos carbohidratos<sup>43</sup>.

El contenido de OF después de una semana en almacenamiento a temperatura ambiente puede disminuir en un 30 a 40%<sup>2,29</sup>. Así, con el fin de obtener productos con el mayor contenido posible de OF es necesario procesar las raíces inmediatamente después de la cosecha o refrigerarlas para disminuir la tasa de degradación de OF. Por otro lado, la costumbre tradicional de solear las raíces por unos días para que se vuelvan más dulces, acelera el proceso de conversión de la OF en azúcares simples. Para evitar la degradación de OF en el procesamiento, es preferible no exceder temperaturas superiores a 120°C.<sup>2</sup>

En Brasil, en Capón Bonito - Sao Paulo dada la importancia de los fructanos decidieron determinar la mejor etapa de desarrollo de la planta a fin de obtener la mayor cantidad de oligofructanos con el fin de optimizar los

costos de almacenamiento en frío para su comercialización. La plantación se realizó el 13 de septiembre de 2001. El análisis del tiempo de peso promedio de las plantas de raíces por planta, la raíz de materia seca, azúcar perfiles de HPLC y ° Brix de las raíces se hicieron de 14 en 14 días. En relación a la productividad se encontró que el mejor momento de la cosecha se produjeron entre las semanas 33<sup>a</sup> y 35<sup>a</sup> después de la siembra. Los perfiles de los azúcares y fructanos en porcentaje de los azúcares totales y también el valor de los ° Brix no difirió significativamente durante el experimento, sin embargo, numéricamente diferencias significativas, concluyeron que el mejor tiempo de la cosecha fue entre los 31 y 35 semanas, ya que durante estas semanas los niveles de los ° Brix y el peso promedio de las raíces fueron numéricamente superior, provocando una mayor cantidad de fructanos<sup>44</sup>.

Otro factor importante es el soleado de las raíces que es una práctica tradicional y probablemente, las raíces se vuelven más edulcoradas debido a la deshidratación (pérdida de aproximadamente el 40% de su peso) y una proporción significativa de FOS, que se convierten en azúcares simples. Esto indica e que, para obtener el máximo beneficio de la FOS, la mejor manera de consumir yacón es fresca. Se ha determinado que la concentración de FOS en las raíces soleadas es lo mismo que las raíces fresca. Esto se debe al hecho de que la proporción de FOS que se convierte en azúcares simples se ve compensado por la deshidratación de las raíces. Esto significa que una persona consume la misma cantidad de FOS en 100g de yacón soleado como en 100g de yacón fresco.<sup>26</sup>

Se ha realizado experimentos sobre el manejo postcosecha de las raíces tuberosas para determinar el efecto del almacenamiento a la sombra de corta duración a 1990 y 2930 msnm en las tierras altas de la región andina y los efectos de una exposición a la luz del sol tradicional sobre la composición de carbohidratos en materia seca en raíces tuberosas de yacón. Los resultados indican que la hidrólisis parcial de oligofructanos se inicia poco después de la cosecha ya que disminución considerable de FOS en las raíces secas de yacón se produjo en sólo unos días dando lugar a grandes cantidades de azúcares simples procedentes de la despolimerización de FOS. Durante doce días de almacenamiento, la concentración de FOS, que representó el 50 - 62% de materia seca al inicio del experimento, disminuyó en alrededor de un tercio de todos los cultivares después de almacenamiento. Durante la exposición al se produjo la mayor

disminución en la concentración de FOS en la raíz seca, y la mayor deshidratación producido durante los dos primeros días. Esta conversión inicial rápida de FOS se debe probablemente al aumento de la temperatura inducida por la radiación solar, la promoción de la actividad de la enzima en un corto período de tiempo. Los resultados mostraron la mayor disminución de FOS en las raíces almacenadas en altitudes más bajas, que se atribuye al aumento de las temperaturas durante el día y la noche, lo que favorece la actividad enzimática. Después de dos semanas de almacenamiento, las tasas de conversión comenzaron a estabilizarse. La tasa más baja de la degradación de FOS, que se produjo tras los dos primeros días de la exposición al sol puede ser debido a una rápida deshidratación de las raíces, lo que podría haber conducido a una menor actividad de las enzimas responsables de la despolimerización de FOS. Es recomendable el almacenamiento en ambientes de tierras altas siempre si fuera posible aprovechar las temperaturas más frías en altitudes más altas. La exposición al sol a las raíces tuberosas de yacón con eficacia reduce la mayor parte del contenido de agua de las raíces, en este experimento, redujo el 40%, y por lo tanto permite ahorro de energía si yacón se transforma en productos deshidratados<sup>41</sup>.

Por otro lado se ha determinado la actividad de peroxidasa y polifenol oxidasa en raíces tuberosas de yacón durante el almacenamiento refrigerado a 4 ° C y humedad relativa del 85-90% con y sin embalaje de bolsas de polietileno en comparación con las raíces sin tratar mantenidas en regular estado en la sombra (12.8 a 21.2 ° C , el 75% de humedad relativa). El tratamiento de refrigeración mantuvo baja actividad de las enzimas y mantuvo un buen aspecto de las raíces<sup>45</sup>.

El tratamiento postcosecha es importante para la elaboración y composición química del producto final. Se ha evaluado el contenido de fructanos en las raíces tuberosas de yacón sometidas a uno, dos, cuatro, seis y ocho días de exposición al sol y no almacenado o almacenadas al ambiente natural, a la sombra, por dos, cuatro, seis y ocho días, analizado mediante un diseño experimental completamente al azar, con un arreglo factorial de 5X5 con tres réplicas. Se utilizó el método de antrona para cuantificar la fructuosa total, cromatografía de capa fina y HPLC. Los tratamientos provocaron disminución del contenido de fructolisacàridos y un incremento en el contenido de fructuosa, glucosa, y sacarosa. Con relación a la fructuosa total fue posible notar alteraciones en su contenido entre los diferentes

tratamientos, pero fueron las raíces almacenadas en ambiente natural por cuatro días después de la exposición al sol las que presentaron las menores alteraciones en el contenido del compuesto y también posible identificar la cadena de los fructanos con ligaciones  $\beta$ 2-1 del tipo inulina<sup>46</sup>.

Se investigaron en tubérculos de yacón, la fluctuación de fructosa, glucosa, sucrosa y oligofructano (GF2-GF9) contenidos durante el crecimiento y el almacenamiento mediante HPLC. El grado promedio de polimeración (DP) llegó a 4,3 en la cosecha, y volvió a disminuir durante el almacenamiento. La glucosa, sacarosa y GF2 disminuyeron mientras que la oligofructanos GF6 aumentó durante el crecimiento. En la cosecha el contenido de oligofructano total alcanzó a 67% de materia seca, y la proporción de GF2-GF5 representaron aproximadamente el 70% del total de azúcar. La inulina y el almidón contenido en los tuberculos eran menos del 0,23% y 0,04% de materia seca, respectivamente. Los tubérculos fueron almacenados de 3 maneras: un pozo de suelo en el campo, a 25 °C. Después de 2 semanas, el total del contenido de oligofructanos descendió 21% en el hoyo del suelo, 33% a 5 ° C y el 41% a 25 ° C de almacenamiento. El contenido de oligofructano disminuyeron gradualmente y el contenido de fructuosa, glucosa y sucrosa aumentó durante cada almacenamiento. Para obtener de manera eficiente oligofructanos de tubérculos de yacón, será necesario prepararlos de los tubérculos justo después de la cosecha<sup>47</sup>.

Es importante tomar en cuenta que la velocidad de respiración de yacón se ve influenciado por las condiciones de almacenamiento empaque y temperatura. Se ha encontrado mayor cantidad de FOS en el empaque con la película de baja densidad (FILM) y a temperatura de 5°C, mayor actividad antioxidante en caja abierta y a 22°C y mayor cantidad de fenólicos en empaque tipo film y a 22°C<sup>48</sup>.

#### **6.1.5 Fitoquímica de la raíz**

Se identificaron la presencia de cafeico, ferúlico y quercetina por cromatografía líquida de alta eficiencia acoplada a espectrómetro de masas<sup>49</sup>. Posteriormente se determinaron espectrofotométricamente cinco derivados de ácido cafeico en la raíz tuberosa como principales compuestos solubles en agua. Dos de ellos fueron ácido clorogénico (ácido 3- cafeoilquínico) y el ácido 3,5. dicafeoilquínico. Tres fueron ésteres de ácido cafeico y ácido altrárico: ácido 2,4 o ácido 3,5- dicafeoilaltrárico, ácido 2,5 dicafeoilaltrárico y ácido 2, 3,5 o ácido 2, 4,5- tricafeoilaltrárico<sup>50</sup>. Se

encontraron elevado contenido de compuestos fenólicos, cerca de 200mg/100g de materia fresca siendo el ácido clorogénico presente en 48,5ug/g de pulpa fresca<sup>27</sup>. Además se cuantificaron por HPLC compuestos fenólicos de yacón proveniente de Lima dando los siguientes resultados: 46,38 ppm de ácido clorogénico, 7,28 ppm ácido cafeico, 0,003 ppm rutina, 21,22 ppm ácido ferúlico, 0,01 ppm morina y 6,33 ppm de quercetina<sup>51</sup>.

A partir de un extracto etanólico se identificaron y cuantificaron otros compuestos fenólicos y flavonoides por cromatografía líquida reportando la presencia de 1,7 mg/l de Esculina, 6,7-dihidroxicumarina-6- $\beta$ -D-glucopiranosido, 1,2 mg/l de ácido ferúlico, 3 - (4-hidroxi-3-metoxifenil) - ácido propenoico, 49 mg/l de 4-hidroxicumarina, 4-hidroxi-1-benzopirano-2-ona y 2,2 mg/l de Esculetina, 6,7-dihidroxi-2H-1-benzopirano-2-ona y 7,9 mg/l de (+)-Catequina, trans-3,3',4',5,7 pentahidroxi-flavona esta última solo se detectó en esta parte de la planta<sup>52</sup>.

Por otro lado la raíz tuberosa presenta aceites esenciales estudiados por cromatografía de gases con detector de espectrometría de masa en columna capilar donde se encontraron 61 componentes que representan el 97,7% del aceite total y se identificaron:  $\alpha$ -pineno (33,5%), neo-abienol (15,7%), cis-abienol (15,4%), trans-abienol (7,0%) y 8,12-epoxi-14-13-labden -ol (2,8%). Se evaluó también el olor detectando la presencia de nueve compuestos bioactivos siendo responsable del olor característico del yacón el compuesto 2-acetil-1,4,5,6-tetrahidropiridina<sup>53</sup>.

Otros estudios determinaron en ocho entradas de yacón sembradas en la Molina, Lima – Perú el rango de actividad de la polifenol oxidasa de 1,33 a 72,21 (unidad enzimática) UE/g (expresado en base seca), En las entradas evaluadas la actividad enzimática de la polifenol oxidasa fue mayor influencia sobre la susceptibilidad al pardeamiento que la concentración de compuestos fenólicos. Entre las entradas estudiadas CLLUNC118 presentó la mayor concentración de compuestos fenólicos y el menor grado de pardeamiento. Sin embargo, esta entrada presentó una baja concentración de fructooligosacáridos<sup>54</sup>.

## 6.2 Composición de las hojas

Yacón presenta en las raíces y las hojas elevado contenido de hierro representando el 71% a 82% de la ingesta diaria recomendada. Por otro lado existe divergencia en



el contenido de calcio, hierro y sodio en los resultados de lo que puede ser a las metodologías empleadas, aspectos genéticos o condiciones de cultivo<sup>55</sup>.

Las hojas presentan compuestos terpénicos especialmente los sesquiterpénicos tipo melampólido a quienes se les atribuye actividad antibacteriana<sup>5</sup>. Presentan en la superficie tricomas glandulares. El exudado del tricoma glandular y la hoja son ricos en ácido ent-kaurenico (ácido ent-Kaur-16-en-19-oico). Un derivado ent-kaureno, ácido 15- $\alpha$ -angeloiloxi-ent-kaureno-19-oico 16-epóxido fue aislado de las hojas, junto con dos conocidos ácidos angeloiloxikaurénico usaron método TLC, cromatografía HPLC y <sup>13</sup>C NMR. El alto contenido de ácido ent-kaurenico en la hoja sugiere que estos di y sesquiterpenos desempeñan un papel fisiológico, ya que los tricomas glandulares exudados de otras especies funcionan como su mecanismo defensivo. Otros componentes son antioxidantes polifenólicos, especialmente los ácidos clorogénico y ácido hidroxicinámico. Un melampólido nuevo sonchifolin y tres conocidos melampolidos antifúngicos – sesquiterpenlactonas: polimatina B, uvedalina y enidrina, fueron aislados a partir de extractos de hojas de yacón. Tres grandes fitoalexinas fueron aislados: 4'-hidroxi-3'-(3-metilbutanol) acetofenona, 4'-hidroxi-3'-(3-metil-2-butenil) acetofenona y 5-acetil-2-(1-hidroxi-1-metiletil) benzofurano<sup>56</sup>.

Se analizaron tricomas glandulares de las hojas de dos variedades diferentes de yacón. El método se basa en el micromuestreo de tricomas glandulares, usando cromatografía líquida con arreglo de diodos donde se obtuvieron en sistema isocrático dos principales metabolitos aislados por métodos de preparación de un extracto de la hoja de lavado, identificados como enidrina y uvedalina, son subtipos de lactonas sesquiterpénicas<sup>57</sup>.

Se extrajeron de las hojas de yacón dos nuevos antibacterianos lactonas sesquiterpénicas tipo melampólido éster metílico del ácido 8  $\beta$ -tigloiloximelampólido-14-oico y éster metílico del ácido 8  $\beta$ -metacriloiloximelampólido-14-oico, así como de los cuatro conocidos melampolidos, uvedalina sonchifolina, enidrina y fluctuanina. El recientemente identificados compuesto, éster metílico del ácido 8  $\beta$ -methacriloiloximelampólido-14-oico, presenta potente actividad antimicrobiana contra *Bacillus subtilis* y *Piricularia oryzae*, mientras que éster metílico del ácido 8  $\beta$ -tigloiloximelampólido-14-oico mostró menor actividad. Fluctuanina exhibió la mayor actividad antibacteriana contra *B. subtilis*, entre estos seis lactonas sesquiterpénicas<sup>58</sup>.

Se aislaron de las hojas dos nuevos lactonas sesquiterpénicas tipo melampólido tipo,  $8\beta$ -epoxiangeloiloxi- $9\alpha$ -etoxi-14-oxo-acantospermolido y  $8\beta$ -angeloiloxi- $9\alpha$ -etoxi-14-oxo-acantospermolido, junto con once melampólidos conocidos: alloschkuhriolide, enhidrina, (polimatina A), fluctuanina,  $8\beta$ -angeloiloxi- $9\alpha$ -acetoxi-14-oxo-acantospermolido,  $8\beta$ -angeloiloxi-14-oxo-acantospermolido, éster metílico del ácido  $8\beta$ -methacriloloximelampólido-14-oico, uvedalina, polimatina B, éster metílico del ácido  $8\beta$ -tigloiloximelampólido-14-oico y sonchifolina<sup>59</sup>.

Otros estudios identificaron el éster metílico del ácido 9-acetoxi-10(2,3-dimetiloxirano-carboniloxi)-4-metil-12-metileno-13-oxo-3,14-dioxa-triciclo [9.3.0.02,4]tetradec-7-ene-8-ácido carboxílico principio que tiene actividad antitumoral<sup>60</sup>.

En las superficies de las hojas dañadas algunas bacterias gram-negativas epífitas son capaces de metabolizar los compuestos fenólicos de origen vegetal. La bacteria más dominante, *Pseudomonas viridiflava* tenía una alta actividad de peroxidasa en pirocatecol, mientras que la segunda mayor *Phyllobacterium myrsinacearum* produce 4-descarboxilasa hidroxycinamato<sup>61</sup>.

Otros estudios demostraron que dos bacterias, *Klebsiella oxytoca* y *Erwinia uredovora*, constituyentes de la microflora epífita de hojas de yacón, convirtieron ácidos hidroxycinámicos en hidroxiestirenos por descarboxilación. La descarboxilasa hidroxycinamato se extrajo como proteína cruda de las células bacterianas, y fue sustrato-inducible. Esta descarboxilación fue para la bacteria una detoxificación de ácidos hidroxycinámicos de las plantas, pero los metabolitos fueron tóxicos para otra prueba de bacteria y hongos, incluyendo algunos fitopatógenos<sup>62</sup>.

Se determinaron por análisis HPLC usando columnas en fase reversa compuestos fenólicos y flavonoides en extractos etanólicos de hojas provenientes de Universidad agrícola de Praga en República Checa, obteniéndose: 11 mg/l Esculina, 6,7-dihidroxicumarina- $6\beta$ -D-glucopiranosido, 38 mg/l de ácido cafeico, ácido 3,4-dihidroxicinámico, 16 mg/l de ácido ferúlico, 3-(4-hidroxi-3-metoxifenil)-ácido propenoico y 25 mg/l de Esculetina, 6,7-dihidroxi-2H-1-benzopirano-2-ona de mayor concentración este último en hojas<sup>52</sup>. Se hallaron otros flavonoides en las hojas: 5,7-dihidroxi-4'-metoxiflavonol, 3',5,7-trihidroxi-4'-metoxiflavonol, 5-hidroxi-4'-metoxi-7-O-glicosilflavona y 7,4'-dihidroxi-3,5'-dimetoxiflavona<sup>63</sup>. Además de la identificación de dos flavonoides: 3',5,7-trihidroxi-3,4'-dimetoxiflavona y 3',4',5-trihidroxi-7-metoxiflavanona<sup>64</sup>.

En hojas secadas a la sombra se identificaron los siguientes compuestos: hidrocarburos de cadena normal ( $C_{18}$ ,  $C_{25}$ ,  $C_{26}$ ,  $C_{27}$ ,  $C_{28}$ ,  $C_{29}$ ,  $C_{30}$ ,  $C_{31}$ ), neofitadieno, eicosanol, 1-hexacosanol, 1-octacosanol, 6,10,14-trimetil-2-pentadecanona,  $\gamma$ -tocopherol, los triterpenos  $\beta$ -amirina y  $\alpha$ -amirina en relación 4:1, el diterpeno ácido ent-kaur-16-en-19-oico y los fitoesteroles sitosterol y estigmasterol en relación 3:2<sup>65</sup>. Por otro lado se analizaron hojas secas de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) usando un método rápido y sencillo aplicado para extraer aceites esenciales la microextracción en fase sólida en combinación con cromatografía de gases con detección de ionización de llama (GC-FID) y usando una columna capilar fueron aislados tres compuestos:  $\beta$ -pineno, cariofileno y  $\gamma$ -cadineno. Su contenido es importante para la especificación de las variedades de yacón<sup>66</sup>.

### 6.3 Metodo de cuantificación de FOS

El comité Técnico de Normalización de Yacón recomienda los métodos: AOAC 999.03 y AACC 32.32 para medir el total de fructanos contenidos en las muestras de Yacón

## 7. PROPIEDADES FARMACOLÓGICAS

Estudios con animales indican que la oligofructanos promueve la asimilación de calcio, reduce el nivel de colesterol, fortalece el sistema inmunológico y disminuye el riesgo de desarrollar cáncer de colon<sup>8</sup>. Además, las raíces y las hojas contienen polifenoles con actividad antioxidante, compuestos que han sido asociados con la prevención de enfermedades cardiovasculares como la formación de placas o ateromas. Se ha demostrado que la infusión de las hojas ricas en polifenoles reduce el nivel de glucosa en la sangre en ratas diabéticas y no diabéticas.

Los FOS que contiene presentan un rol como prebióticos, sustancias que nutren selectivamente a los microorganismos benéficos que forman parte de nuestra flora intestinal, las llamadas bifidobacterias favoreciendo su crecimiento y frenando el desarrollo de los microorganismos perjudiciales. Las bifidobacterias a la vez, pueden aliviar la hiperlipemia o sea, el incremento de grasas en la sangre (colesterol y triglicéridos)<sup>8</sup>.

Asimismo los compuestos terpénicos en las hojas especialmente los sesquiterpénicos tipo melampólido se les atribuye la actividad antimicrobiana, mientras que los diterpenos tipo kaurenos son sustancias de defensa. Las hojas poseen actividad antimicrobiana, e hipoglicemiante mientras que las raíces tienen actividad antioxidante y son agentes prebióticos<sup>8, 5</sup>.

### 7.1 Actividad Inmunológica

El efecto regulador de los oligofructanos sobre el sistema inmunológico es indirecto, es decir, favorecen el crecimiento de los probióticos los que producen beneficios inmunológicos activando los macrófagos locales y aumentando la producción de inmunoglobulina A secretora, tanto local como sistémica, modulando el perfil de citoquinas y induciendo la disminución de la respuesta a los antígenos de los alimentos. Existen pruebas experimentales que evidencian esta propiedad.

Se han realizado ensayos en ratones inmunosuprimidos con ciclofosfamida donde presentó actividad inmunológica al estimular el aumento del número de los globulos blancos y rojos y sin evidencia de toxicidad a las dosis ensayadas<sup>63</sup>.

### 7.2 Actividad antimicótica

Un nuevo antifúngico melampólido, sonchifolina (I), así como 3 melampólidos conocidos, polimatina B, uvedalina y enidrina, se aislaron a partir de extractos de las hojas de yacón. Es la mayor actividad fungicida frente a *Pyricularia oryzae*, un hongo que causa la enfermedad del arroz y el valor ED<sub>50</sub> para la germinación de las esporas fue de 22 ppm. Es el primer informe de estos compuestos melampólidos como fungicida<sup>67</sup>.

Se han realizado ensayos sobre la actividad que presentan compuestos aislados de las hojas en el crecimiento de *Aspergillus flavus* y la producción de aflatoxina B<sub>1</sub> donde se concluyó que el flavonoide compuesto 3', 5, 7 trihidroxi-3, 4'-dimetoxiflavona a la concentración de 15 mg / ml, inhibió el 25% de la producción de aflatoxina B<sub>1</sub> (p <0,01), mientras una mezcla de enhidrina y uvedalina inhibió el 34% y el 76% del crecimiento del hongo y la producción de aflatoxina B<sub>1</sub>, respectivamente. Estos resultados mostraron que yacón puede ser utilizado para el desarrollo de agentes para controlar la producción de aflatoxina B<sub>1</sub> por *Aspergillus flavus*<sup>64</sup>.

Por otro lado la inoculación de las raíces tuberosas en rodajas con *Pseudomonas cichorii* dieron lugar a la formación de compuestos antimicóticos. Tres grandes fitoalexinas se aislaron e identificaron por métodos espectroscópicos: 4'-hidroxi-3'-(3-metilbutanoil) acetofenona, 4'-hidroxi-3'-(3-metil-2-butenil) acetofenona y 5-acetil-2'-(1-hidroxi-1-metil) benzofurano<sup>56,68</sup>.

### 7.3 Actividad antibacteriana

En las hojas de yacón se ha encontrado ésteres metílico de ácidos: 8 β -tigloiloximelampólido-14-oico y 8 β -metacriloiloximelampólido -14-oico, así como cuatro conocidos melampólidos: uvedalina sonchifolina, enidrina y fluctuanina. Se realizaron ensayos sobre la actividad antibacteriana de estos compuestos donde el compuesto, éster metílico del ácido 8 β -metacriloiloximelampólido-14-oico presentó potente actividad antimicrobiana contra *Bacillus subtilis* y *Pyricularia oryzae*, mientras

que el compuesto éster metílico del ácido 8  $\beta$  -tigloiloximelampólido-14-oico mostraron menor actividad. Fluctuanina exhibió la mayor actividad antibacteriana contra *Bacillus subtilis*, entre estos seis lactonas sesquiterpénicas<sup>58</sup>.

#### 7.4 Reduce o mantiene el nivel de Glucosa en Sangre

La raíz tuberosa almacena principalmente fructooligosacáridos (FOS), un tipo especial de azúcares con atributos enormemente beneficiosos para la salud humana porque no elevan el nivel de glucosa en la sangre, lo que ha convertido al yacón en un recurso potencialmente importante para el mercado de productos dietéticos y de personas que padecen diabetes. Excelente para las dietas hipocalóricas y para diabéticos. Tienen sabor dulce, son muy solubles en agua y están reconocidos como fibra dietética y prebiótica (alimento no digerible que afecta favorablemente la salud). Su parte aérea se utiliza en Japón y en Brasil como un componente en infusiones medicinales, mientras que los extractos acuosos de hojas han sido estudiados por su actividad hipoglucemiante en ratas normales y diabéticos. Ya se ha demostrado el alto contenido de compuestos fenólicos en extractos de hojas y su actividad antioxidante in vitro<sup>69,8</sup>.

Estudios sobre el efecto hipoglicemiante del extracto liofilizado de la raíz de yacón se realizaron mediante la prueba de tolerancia a la glucosa posprandial (PTGPP). Para ello se formaron 6 grupos de ratas machos (n=6) de 250 a 300 g. Los grupos normoglicémicos fueron A, B y C recibieron dosis de agua, 200 y 400 mg/kg respectivamente y los diabéticos D, E y F recibieron dosis de agua, 200 y 400 mg/kg respectivamente. La inducción de la diabetes experimental fue producida con estreptozotocina (50 mg/kg). Previo ayuno de 12 h, se midió la glucosa basal, se administró la dosis respectiva del extracto y, después de 1 h, la glucosa vía intraperitoneal (2 g/kg de peso); finalmente, la glicemia posprandial (después de 2 h). El extracto liofilizado de la raíz de yacón no mostró efecto hipoglicemiante posprandial en ratas diabéticas, a las dosis estudiadas<sup>70</sup>.

Investigaciones realizadas analizaron los efectos de los fructanos que contiene la harina de yacón en la morfometría de la mucosa del ciego, el balance de calcio y magnesio, y la retención de calcio en los huesos de ratas machos en crecimiento. Ratas en crecimiento Wistar macho (n =24) fueron alimentados ad libitum, ratas grupo control y ratas con dietas complementada con harina de yacón (5 o 7,5 fructooligosacáridos%) por 27 días. El equilibrio mineral se evaluó en tres periodos de 5 días (a partir de los días 4, 10 y 16). Después de que se sacrificaron las ratas, los huesos fueron retirados y la densidad mineral ósea fue medida. Se analizaron calcio de fémur y tibia izquierdo y se realizaron análisis biomecánico de fémur

derecho. El ciego fue removido y se recogieron muestras de tejidos para análisis histológico. Los resultados mostraron que la histología cecal cambió notablemente en las ratas alimentadas con harina de yacón: hubo un aumento en la profundidad y el número total de las criptas y bifurcaciones. El consumo de harina de yacón de forma significativa ( $P < 0,05$ ) resultó en un balance de Ca y Mg positiva, dando lugar a valores más altos de retención de mineral de los huesos y las propiedades biomecánicas (carga máxima y rigidez) en comparación con el grupo control. Los efectos positivos de minerales de absorción intestinal, de la masa ósea. El aumento del número de las criptas y bifurcaciones podría estar relacionado con la mayor absorción de minerales causada por la ampliación de la superficie de absorción en el intestino grueso de los animales<sup>71</sup>.

Se estudió el efecto hipoglicemiante de extractos acuoso de raíz y etanólico de hojas de yacón en ratones normales y con diabetes experimental inducida por administración de estreptozotocina. Los extractos fueron administrados oralmente. En ratones normales el extracto de hojas no produce cambio significativo de la glicemia. En ratones con diabetes moderada el extracto acuoso de raíz a dosis equivalente a 100 mg/kg, y 300 mg/kg del extracto etanólico de hojas de yacón, tienen efecto hipoglicémico significativo. La respuesta hipoglicemiante no se manifiesta en estado de diabetes severa. Ambos extractos impiden la elevación de la glicemia después de una carga oral de glucosa tanto en ratones normales como en ratones diabéticos y disminuyen los efectos hiperglicemiantes de la adrenalina<sup>72</sup>.

Se han llevado a cabo ensayos con el extracto crudo de hojas que permitieron establecer que la actividad hipoglucemiante se encuentra en la subfracción butanólica (compuestos con elevada polaridad). La fracción rica en lactonas sesquiterpénicas, principalmente enidrina, no presentaron actividad hipoglucemiante como fue expresada en otros estudios<sup>69</sup>.

Se han ejecutado ensayos sobre los efectos de dos fracciones orgánicas y dos extractos acuosos de las hojas de yacón sobre los hepatocitos de rata, en daño oxidativo inducido por el hidropéroxido de terc-butilo y el alcohol alílico, y sobre el metabolismo de la glucosa y la insulina como el efecto sobre la expresión de cytochromo P450 (CYP) ARNm. Todos los extractos probados mostraron fuerte efecto protector contra el daño oxidativo a los hepatocitos de la rata en concentraciones que van desde 1 hasta 1000 ug / ml, reducción de la producción hepática de glucosa a través de la gluconeogénesis y la glucogenólisis en 1000 ug / ml. Por otra parte, los efectos de las fracciones orgánicas (200 y 250 ug / ml) y en menor medida, la infusión de té (500 ug / ml) en ratas. Los efectos en la expresión de

CYP 2B y CYP2E de ARNm, eran comparables a los observados con la insulina. La combinación de captación de radicales, citoprotectoras y actividad antihiperlipémica predetermina a las hojas de yacón para su uso en la prevención y tratamiento de las enfermedades crónicas que afectan el estrés oxidativo, en particular la diabetes<sup>73</sup>.

Otro estudio evaluó la actividad hipoglucémica del extracto hidroalcohólico de las hojas en ratas con diabetes tipo 1 y 2. Para el estudio de diabetes mellitus tipo 1 se determinaron los niveles de glucosa e insulina en sangre. Para el estudio de diabetes mellitus tipo 2 se determinaron los niveles de glucosa en sangre. Los resultados, en la diabetes mellitus tipo 1 no hubo variación significativa de los niveles de glucosa en sangre ( $p > 0.05$ ), los niveles de insulina aumentaron significativamente ( $p < 0.05$ ). En diabetes mellitus tipo 2 los grupos de yacón y glibenclámido disminuyeron significativamente los niveles de glucosa ( $p < 0.001$ ), a nivel hematológico los niveles de hemáties, hemoglobina y hematocrito disminuyeron significativamente en el grupo del yacón ( $p < 0.05$ ), concluyendo que el extracto hidroalcohólico al 10% p/v de las hojas presenta actividad hipoglucémica en ratas con diabetes mellitus tipo 2, mejoran las concentraciones de insulina en sangre, la dosis efectiva es entre 500 y 1000 mg/Kg de peso corporal, no presenta actividad hipoglucémica en ratas con diabetes Mellitus tipo 1, no presenta efectos adversos significativos así como no es tóxico al hígado, riñón, músculo y páncreas<sup>74</sup>.

Se investigó el efecto de extractos crudos de hojas de yacón, obtenido por extracción acuosa fría (TA) o caliente (YH) o la extracción hidro-etanólica (YE), sobre la glucemia de ratas diabéticas (inducida por estreptozotocina 50 mg / kg, intraperitoneal) y las ratas no diabéticas tratadas por vía oral con los extractos (400 mg / kg) por 3, 7, 10 y 14 días. Después de este período, los animales fueron anestesiados y se tomaron muestras de sangre para la medición de la glucosa plasmática y de la creatinina y la actividad de las enzimas hepáticas (AST, ALT, fosfatasa alcalina). El tratamiento con YE durante 14 días redujo la glucemia en ratas diabéticas y no diabéticas. No hay reducción similar se observó en los animales tratados con TA o YH. Además, YE restauró la actividad de las enzimas plasmáticas que fueron alteradas, y aumento de peso en los animales diabéticos. Estos resultados muestran que la eficacia de los extractos de yacón está relacionada con el método de preparación y el tiempo de tratamiento<sup>75</sup>.

Ensayos sobre el efecto hipoglucémico de los extractos cocidos acuosos de las hojas al 10% en ratas normales y ratas diabéticas inducidas con estreptozotocina (STZ) produjeron una disminución significativa en los niveles de glucosa plasmática

en ratas normales cuando se administra por inyección intraperitoneal. En la prueba de tolerancia a la glucosa la administración única de 10% de hojas cocidas bajó los niveles de glucosa plasmática en las ratas normales. Por el contrario, una sola administración oral o intraperitoneal no produjo efecto sobre los niveles plasmáticos de glucosa de las ratas diabéticas. Sin embargo, la administración de 2% té de yacón ad libitum en lugar de agua durante 30 días produjo un efecto hipoglicémico significativo en ratas diabéticas. Después de 30 días de la administración de té en las ratas diabéticas mostró una mejora de glucosa plasmática, los niveles plasmáticos de insulina, el peso del cuerpo y renales (peso del riñón, riñón relación entre el peso corporal, el aclaramiento de creatinina, albúmina urinaria (excreción) en comparación con ratas diabéticas controles<sup>76</sup>.

Otro ensayo fue realizado en ratas albinas cepa holtzman, de 200 a 250 g de peso. Se formaron grupos de 5 ratas cada uno, a los que se les provocó hiperglicemia mediante administración, intraperitoneal, de Aloxano monohidratado a la dosis de 130 mg/Kg La glicemia fue determinada mediante tiras reactivas ACCU-CHEK® y leídas mediante el glucómetro respectivo ROCHE®. La sangre se obtuvo mediante un corte en la cola, que comprometía una de las venas marginales, evitándose la hemorragia, mediante compresión. 48 horas después de la administración de aloxano, se les tomaron una prueba basal, de glicemia, para evaluar si el nivel de glucosa se encontraba por encima de 300 mg/dL(valor mínimo para considerar diabetes química) y, a todos aquellos animales que presentaron estos valores, se les administró las sustancias en estudio, por vía oral, mediante sonda rígida. Los controles sucesivos se efectuaron a la hora, dos, cuatro y 24 horas posteriores. Los extractos atomizados de las hojas mostraron un excelente efecto hipoglicemiante frente a la hiperglicemia inducida por haloxano<sup>77</sup>.

Estudios realizados en pacientes diabéticos tipo 2 no controlada donde se evaluaron el efecto del tubérculo y hoja de yacón que se cultiva en Pachacámac sobre los niveles de glucosa sérica y hemoglobina glicosilada con el consumo de una dieta ad libitum. Se realizó durante 90 días el ensayo experimental a simple ciego a nivel de campo en 30 pacientes entre 26 y 90 años dividiéndolos en tres grupos. Al primer grupo se le administró 500g/día de fruto fresco de yacón, al segundo grupo liofilizado de yacón equivalente a 500g/día de fruto fresco y el tercer grupo bolsitas filtrantes de yacón equivalente a 1 gramo de hoja, tres infusiones diarias. La hemoglobina glicosilada disminuyó mas en el fruto fresco, seguido por el liofilizado y menos en los que consumieron te filtrante de las hojas. Hubo una disminución en la cuarta semana de glucosa sérica sin llegar a valores normales en los tres grupos teniendo mayor disminución los que consumieron te filtrante de las hojas<sup>78</sup>.



Existen estudios contradictorios sobre la respuesta a nivel glicémico con el consumo de la raíz tuberosa ya que mientras algunos afirman que el consumo de la raíz fresca de yacón reduce la respuesta glicémica posprandial<sup>79</sup> otros estudios manifiestan que mantiene los niveles de glicemia posprandial<sup>69</sup>. Se requieren estudios farmacológicos más exhaustivos con protocolos validados que permitan demostrar la efectividad del yacón en el manejo de la diabetes mellitus, que nos permitan brindar una explicación científica que justifique su uso empírico.

Yacón contiene lactonas sesquiterpénicas que son agentes antidiabetes: (R1 = H, OH, O2CCMe: CHMe, Q, O2CCMe (OH) CHMe (OH); R2 = H, OH, OAC; R3 = Me, CHO, C1-6 alcóxicarbonilo; X = sola fianza, O). Enidrina presente en yacón fue administrado por vía oral a ratas a 100 mg / kg con 1,5 g / kg de glucosa como resultado un valor de glucosa en sangre mg 140,8 / dl, frente a 216,8 mg / dl del grupo control actualmente presente en formulaciones farmacéuticas<sup>80</sup>.

### **7.5 Reduce los riesgos de Cáncer de Colon**

Los probióticos tienen la capacidad de inhibir la proliferación de bacterias dañinas en el colon, estas bacterias producen toxinas y sustancias potencialmente cancerígenas (compuestos nitrosos, aminos y amoniacos) por ello, que un adecuado consumo suplementario de FOS en la dieta genera un efecto favorable en la salud del colon. Investigaciones hechas en animales de laboratorio han demostrado que el consumo de FOS reduce el riesgo de desarrollar lesiones precancerosas en el cólon<sup>81</sup>.

### **7.6 Proporciona alivio a los Problemas Gastrointestinales - Estreñimiento**

Desde el punto de vista fisiológico, los FOS son considerados como un tipo de fibra alimentaria debido a que no pueden ser digeridos directamente por el aparato digestivo humano y deben ser fermentados completamente en el colon por bacterias intestinales. Proporciona alivio a problemas gastrointestinales.

Se han realizado estudios sobre la capacidad que tiene tres cepas conocidas de probióticos (lactobacilos y bifidobacterias dos uno) para fermentar FOS de las raíces de yacón y fueron comparadas al FOS comercial. Los resultados indican que *Lactobacillus acidophilus* NRRL-1910, *Lactobacillus plantarum* NRRL B-4496, y *Bifidobacterium bifidum* ATCC 15696 fueron capaces de fermentar FOS de la raíz tuberosa concluyendo que el consumo de FOS es dependiente del grado de polimerización y la composición inicial de FOS. *L. plantarum* NRRL B-4496 y *L. acidophilus* NRRL B-1910 completo utilizado moléculas 1-cestosa, mientras que *B. bifidum* pudo utilizar moléculas 1-cestosa, así como moléculas con un mayor grado de polimerización<sup>81</sup>.

Ensayos en humanos han demostrado que el consumo de FOS incrementa la frecuencia de deposiciones y el volumen de la masa fecal ambos parámetros ligados a una disminución del estreñimiento generando un efecto laxante.

Otro estudio evaluó el efecto de la ingesta de panecillos de mantequilla conteniendo yacón en 34 personas estudiantes mujeres sanas de 18 a 21 años se dividieron en dos grupos al azar un grupo comería panecillos con 1,4 gramos diarios de yacón en polvo seco durante cuatro semanas, los que dieron como resultado que el efecto sobre las heces es que eran mejores y menos molestias después de la defecación por el consumo de contenidos con panecillos de mantequilla en polvo de yacón seco<sup>82</sup>.

### **7.7 Propiedades Hipocolesterolémica e hipotrigliceridémica**

El yacón puede ser considerado como suplemento alimentario. Es bajo en calorías y grasas, ideal para las personas que siguen dietas para bajar de peso. Investigaciones realizadas sobre el efecto de yacón en el tratamiento de hiperlipoproteinemias e hipercolesterolemia inducida en ratas albinas, afirmaron que el nivel sanguíneo de colesterol total en condiciones basales para las ratas albinas fue de 86,66 mg/dl; éste fue elevado con la dieta con hígado de res y yema de huevo (durante dos semanas) hasta 188,88 mg/dl; y luego de administrarle el yacón durante dos semanas se redujo hasta 85,33 mg/dl. Lo mismo sucedió con las lipoproteínas de baja densidad (LDL) las cuales tuvieron un valor basal de 36,05 mg/dl; con la dieta grasa se elevó hasta 123,95 mg/dl; para que finalmente con la dieta con yacón bajó hasta valores de 62,98 mg/dl. En lo que corresponde a los triglicéridos; éstos tuvieron un valor sanguíneo basal de 166,66 mg/dl; con la dieta grasa se llevaron hasta 181,81 mg/dl; para posteriormente con la dieta con yacón se redujo hasta 36,36 mg/dl<sup>83</sup>.

Se realizaron estudios con dos niveles de ingesta diaria de harina de raíces tuberosas de yacón como suplemento dietario en ratas normales se usaron, lo que equivale a 340 mg y 6800 mg FOS / peso corporal, respectivamente durante cuatro meses produjeron una significativa reducción en los niveles post-prandiales de triglicéridos séricos. Este efecto fue acompañado de una notable actividad de la mucosa del colon y redujo significativamente los niveles de triglicéridos postprandiales de suero en las dos dosis ensayadas. Por el contrario, la reducción de colesterol en el suero no fue estadísticamente significativa. Estos resultados mostraron una cierta actividad beneficiosa metabólica en ratas normales<sup>84</sup>.

Ensayos realizados mediante administración sub-crónica de raíces tuberosas de yacón a ratas con diabetes produjo una significativa reducción de los niveles de

triglicéridos, colesterol total, LDL y VLDL colesterol en condiciones de ayuno. Estos datos bioquímicos, acompañados de hipertrofia cecal sugieren que el elevado contenido de FOS de las raíces de yacón podría inducir la proliferación del ciego, llevando a un aumento local en los niveles de péptido 1 semejante a glucagón (GLP-1), péptido intestinal que posee acciones directas sobre el metabolismo de los lípidos. Los resultados obtenidos en el modelo diabetes experimental en roedores indican que hojas y raíces de yacón poseen diferentes actividades farmacológicas que mejoran las alteraciones metabólicas propias de la enfermedad. Esto permite proponer a esta especie vegetal autóctona de América como un producto natural beneficioso para ser consumido por la población diabética o con riesgo de alteraciones metabólicas<sup>69</sup>.

Recientes estudios en mujeres pre-menopáusicas obesas con ligera dislipidemia fueron estudiados por un período de 120 días consumieron jarabe de yacón con dosis 0,14 g de fructooligosacáridos / kg / día obtuvieron como resultado una disminución significativa en el peso corporal, circunferencia de cintura e índice de masa corporal. Además, disminución de la insulina sérica en ayunas aumentó la frecuencia de defecación y la sensación de saciedad. La concentración de glucosa en ayunas y lípidos en suero no fueron afectados y se encontró en el suero niveles de LDL-colesterol disminuídos concluyendo que el jarabe de yacón es una buena fuente de fructooligosacáridos y su consumo a largo plazo de produce efectos beneficiosos para la salud en las mujeres pre-menopáusicas obesas con resistencia a la insulina<sup>85</sup>.

Actualmente se viene usando en la industria cosmética y farmacéutica ácido ferúlico y sus sales provenientes del extracto de yacón para la prevención y/o tratamiento de la obesidad y celulitis mediante su administración sistémica o local. Se ha formulado un gel conteniendo el 5% de extracto de yacón que presenta actividad lipolítica en adipocitos humanos<sup>86</sup>.

El extracto de la parte aérea y/ o ingredientes activos actúan como inhibidores de la lipasa, que inhiben la lipasa pancreática y son útiles contra la obesidad. IC50 del extracto acuoso de las hojas de yacón en contra de la lipasa pancreática porcina fue 1.7-3.1 mg / mL<sup>87</sup>.

## **7.8 Propiedades antioxidantes**

La presencia de componentes antioxidantes en las hojas y la raíz de yacón conllevaron a realizar investigaciones sobre su poder antioxidante. Se demostraron que los flavonoides de las hojas tenían actividad antioxidante usando el método DPPH<sup>63</sup>.

Se estudió la actividad antioxidante y su efecto anti-lipoperoxidativo de los extractos de las hojas de yacón. Se determinaron 10,7-24,6% de fenoles totales. Así como el coeficiente de inhibición al 50% del radical sintético DPPH (IC<sub>50</sub> 16.14-33.39 µg/ml). Mostraron actividad inhibitoria de xantina oxidasa, de la lipoperoxidación de la membrana microsomal y mitocondrial considerándose para su uso como suplemento alimenticio en la prevención de enfermedades crónicas que envuelven el estrés oxidativo<sup>88</sup>.

En yacón fresco se determinaron 67,64 mg GAE/100g de compuestos fenolicos totales, la actividad antioxidante mediante los métodos de DPPH y ABTS. Expresado en actividad antioxidante de vitamina C equivalente (VCEAC) fue 15,66 mgAAE/100g y de ARP (poder antirradical) expresados como 1000/EC<sub>50</sub> fue 5,34 y 2,22 µM/g (TEAC) actividad expresada en trolox<sup>51</sup>.

Se relacionaron la presencia de componentes antioxidantes y la actividad inhibitoria de la enzima α-glucosidasa. El extracto acuoso caliente de la parte aerea de yacón mostró potente actividad antioxidante y capacidad inhibitoria de la oxidación de los lípidos de homogenizado de cerebro de rata. La actividad antioxidante mas potente estuvo en la fracción al 50% MeOH eluída en columna DIAION HP-20 por Cromatografía. El principal componente de la fracción fue identificado como el ácido 2,3,5-tricafeoilaltrárico (TCAA). La actividad antioxidante de TCAA es superior a la de los antioxidantes naturales tales como la (±) catequina, α-tocoferol y acido elágico, y también mostró el TCAA actividad inhibitoria al 50% selectiva sobre maltasa (IC<sub>50</sub>= 49µg/ml). Los resultados mostraron que la parte aérea de yacón tiene una fuerte actividad antioxidante<sup>89</sup>.

## 7.9 Propiedades reproductivas

Ensayos realizados en la espermatogénesis con extracto etanólico al 50% en ratas tratadas con dosis de 25, 50 y 100 mg/kg/día de extracto de raíz de yacón durante 6 semanas dieron como resultado que el número de la espermatozoides fueron 1,51, 1,61 y 1,78 veces mayor que el control no tratado. Por otra parte, el efecto de la espermatogénesis del extracto de la hoja fue 1,03. Aproximadamente 1.38 veces mayor que el extracto de la raíz sugiriendo el yacón para el tratamiento de transtorno de la espermatogénesis<sup>90</sup>. Además el extracto de la raíz tuberosa actúa como inhibidor de la testosterona 5α-reductasa<sup>91</sup>. (Ver cuadro N°4)

Acción biológica	Raíces	Hojas	Referencia
(A) Prebiótico, estimulante del desarrollo de lactobacilos	+		Hébert et al. 2002 Pedereschi et al. 2003 Bibas Bonet et al. 2007
(B) Incremento en la absorción de Ca y Mg; retención de Ca óseo	+		Lobo et al. 2007 Genta et al. 2005
(C) Reducción de triglicéridos	+		
(D) Estimulación de respuesta inmune en el intestino	+		Bibas Bonet et al. 2007
(E) Ausencia de efecto tóxico subcrónico	+		Genta et al. 2005
(F) Hipoglucemiante		+ +	Volpato et al. 1997 Aybar et al. 2001
(G) Antioxidante	+	+ +	Xiaojun et al. 1999 Valentova et al. 2005 Terada et al. 2006

Cuadro N°4: Actividades Biológicas Demostradas en Yacón Vinculada A FOS<sup>6</sup>.

**Estatus Legal:** La planta aún no figura en farmacopeas. Su empleo en diabetes ha sido convalidado por la secretaria de Salud del Municipio de Diadema en San Pablo, Brasil (Petit Prieto 2002)

## 8. TOXICIDAD

Los estudios realizados de toxicidad en yacón son escasos necesitan reforzarse con protocolos estándares que demuestren la inocuidad del productos para sus diferentes aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética.

Se han demostrado que los extractos y fracciones de las hojas presentaron actividad inhibidora en el crecimiento y la producción de aflatoxinas por *Aspergillus flavus* en concentraciones no citotóxicas. En este estudio se evaluó la citotoxicidad in vitro de las subfracciones y una mezcla de lactonas sesquiterpenos de las hojas de yacón en células Vero. La citotoxicidad fue evaluada mediante el método de tinción de cristal violeta y se calculó el 50% de concentración inhibitoria para el crecimiento celular (IC50). Ambas subfracciones y la mezcla de lactonas sesquiterpénicas no mostraron toxicidad in vitro de células Vero en concentraciones biológicamente activas contra la producción de aflatoxinas

B1 por *Aspergillus flavus*<sup>92</sup>.

Se han evaluado la toxicidad del extracto acuoso de las hojas orgánicas de yacón procedentes del Instituto Rural Valle Grande (Cañete-Lima) en ratas albinas sanas, distribuidas en dos grupos ( hembras y machos), a las cuales se administró vía oral por 90 días 100, 200 y 500 mg/ kg/día, del extracto acuoso de las hojas .Se tomaron muestras de sangre del plexo orbital del ojo a los 0, 45 y 90 días para realizar análisis bioquímicos y hematológicos: Urea, creatinina, hematocrito, glucosa, albúmina, globulina, proteínas, relación albúmina/globulina, TGO, TGP. Posteriormente se ejecutaron los exámenes histopatológicos de cerebro, hígado y riñones. Los resultados no encontraron variaciones significativas en ninguno de los exámenes en comparación a las ratas controles ( $p > 0,05\%$ ). El extracto de hojas de yacón durante los 90 días no produjo signos de toxicidad en los órganos estudiados<sup>93</sup>.

Se ha analizado los efectos del consumo oral sub-crónico de harina de raíces tuberosas de yacón como suplemento dietario en ratas normales, producto que fue bien tolerado y no provocaron respuestas negativas ni toxicidad o efectos nutricionales adversos. Se ha analizado los efectos de la toxicidad subcrónica mediante el consumo oral de harina seca de la raíz del yacón como suplemento dietético normal en ratas Wistar usando dos concentraciones de ingesta diaria equivalente a 340 mg y 6800 mg FOS / peso corporal. Su ingesta fue bien tolerado y no produjo ninguna respuesta de toxicidad o efectos nutricionales adversos en ambas concentraciones. Otros estudios histopatológicos mostraron hipertrofia del ciego en ratas alimentadas con sólo dosis alta<sup>84</sup>.

Por otro lado dosis superiores a 20 g de FOS/día pueden producir flatulencia y presión abdominal, y dosis por encima de 50 g frecuentemente ocasionan diarrea. Durante la revisión de literatura consultada no se ha podido encontrar ningún reporte sobre efectos de toxicidad asociados al consumo de FOS<sup>8</sup>.

## 9. USOS TRADICIONALES

Tradicionalmente se consume como fruta fresca o deshidratada en diferentes grados<sup>1</sup>. También se consume en forma de jalea y chicha.

Las Culturas andinas atribuyen al yacón propiedades antidiabéticas y también de alivio a problemas gastro-intestinales, riñones y como rejuvenecedor de la piel. Tradicionalmente el yacón es consumido para calmar la sed de los campesinos entre 500 a 1000 g diario fresco. En algunas localidades es usado también para aliviar problemas hepáticos y renales. El de pulpa blanca, es más usado como purgante.

En Cajabamba provincia de Cajamarca Otros lo usan la raíz para el estreñimiento, inflamación, durante la menopausia. La hojas son utilizadas para la presión alta, colesterol

elevado e intoxicación.<sup>9</sup>

## 10. USO INDUSTRIAL

Actualmente se ofrecen diferentes productos procesados: jarabe, zumo, mermelada, hojuelas y té. Aunque la producción es en pequeña escala, se ha empezado a exportar yacón a otros países como Japón, Estados Unidos y algunos países europeos.

### 10.1 Zumo

En cuanto a la composición nutricional del zumo puede variar mucho, dependiendo del cultivar de yacón usado como materia prima y del tiempo en poscosecha de las raíces. El alto contenido de FOS en el zumo de yacón satisface una parte importante de las necesidades diarias de fibra del organismo y ayuda a promover una mejor salud del tracto gastrointestinal (efecto prebiótico).

Es importante tener en cuenta que para la elaboración de zumo se utilizan los cultivares que contengan sólidos solubles mayor de 10° Brix y se procede con las etapas del proceso: Selección, lavado y desinfección, pelado, extracción de jugo (agregan ácido ascórbico 1,3 g/kg de raíz evita pardeamiento), filtración (se agrega al filtrado ac. cítrico al 0,08% para regular pH, sorbato de potasio 0,04% para inhibir desarrollo de microorganismos, hongos, levaduras y , estabilizantes), concentración y pasteurización (hasta llegar a 20 Brix a temperatura inferior a 120°C), envasado, enfriado, etiquetado y almacenamiento. Para la elaboración se utilizan equipos como extractor de jugos, filtro de prensa, cocina semiindustrial, balanza, refractómetro, termómetro, potenciómetro, evaporadores, etc<sup>94</sup> (ver figura N°3 y 4)

Por otro lado el jugo de la raíz tuberosa es generalmente inadecuado para elaboración de bebidas por estar opaco, por el olor de hierba y ser coloreado. El jugo se aclaró con éxito, decolorado y desodorizado gracias al tratamiento con carbón activado en polvo se probaron Seis polvos de carbón activado, SD, BA, TW, ZN, TA, y KA, de los polvos de carbón activo ZN y TA se obtuvo casi jugo incoloro, transparente, sin olor y los fructooligosacáridos permanecieron entre 89 a 94% en el jugo. A partir de estos resultados, ZN y TA entre los 6 polvos de carbón activado son adecuados para su uso práctico<sup>95</sup>.

### 10.2 Jarabe

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

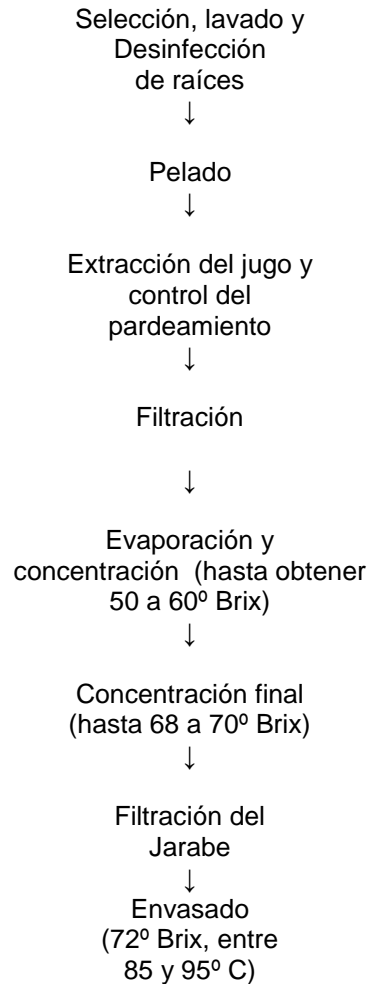
Durante las operaciones de corte y pelado de los tejidos vegetales se provoca la descompartimentación celular, lo que permite la entrada en contacto de enzimas (polifenoloxidasas) de localización citoplasmática con substratos (fenoles) de localización vacuolar. La polifenoloxidasa (PPO) cataliza la oxidación de fenoles a quinonas en un proceso conocido como oxidación enzimática<sup>95</sup> (ver figura N°5)

Para evitar el pardeamiento hay dos opciones:

La primera consiste en aplicar un tratamiento térmico al jugo que recién se extrae que debe ser superior a 60°C con el fin de desactivar las enzimas polifenoloxidasas. La otra opción es recibir el jugo en un recipiente con una solución antioxidante. El uso de 4 ml de zumo de limón (*Citrus aurantifolia* var. Sutil) por cada litro de zumo de yacón puede controlar el pardeamiento de la mayoría de cultivares de yacón. Sin embargo mejores resultados se han obtenido cuando se emplea ácido ascórbico (0,15 g por cada kg de raíces de yacón). Luego se filtra, concentra y el pre-jarabe (50 a 60° Brix) se termina de concentrar en jarabe (72 a 73° Brix) fuera del evaporador, en bandejas muy sencillas y de un tamaño mucho más pequeño.



**FIGURA 4. FLUJOGRAMA DE OPERACIONES PARA LA ELABORACIÓN DE  
JARABE DE  
YACÓN**



Se ha elaborado jarabe de yacón utilizando el tubérculo variedad morada de la provincia de Sandía, Puno el que administrado a ratas las que fueron sometidas a análisis de glucosa en la sangre de ratas, después de 4 semanas se puede concluir que el tratamiento más óptimo de jarabe de yacón incluido en su dieta diaria, es el que contiene un 31 % de jarabe de yacón, ya que induce a un menor nivel de glucosa en la sangre<sup>96</sup>.

Una etapa importante en el proceso es la filtración. Se ha realizado estudios sobre la eficacia de un proceso que combina el tratamiento de membrana de ultrafiltración (UF) y nanofiltración (NF) para la purificación y la concentración de sacáridos no digeribles (NDS) de rizomas de yacón. Después de la extracción con agua caliente seguido de clarificación UF y NF procesos de depuración, el resultado reveló que NF retienen NDS contenido en alta concentración. La pureza NDS fue planteado en

última instancia, del 81% a 98% en los procesos de membrana combinada de UF y NF (G-10 con membrana). El análisis por HPLC reveló que en las membranas de NF había especificidad de rechazo por sacáridos de particular grado de polimerización (DP). El rendimiento de rechazo se mantuvo constante durante todo el proceso de NF. En conjunto, los resultados indican que la membrana del sistema combinado de tratamiento es muy prometedora para productos de valor añadido utilizando concentrado purificado de NDS<sup>97</sup>.

Actualmente la reciente norma técnica peruana sobre el jarabe de yacón establece los requisitos y las definiciones que se aplican, procesos de preparación, parámetros de calidad fisicoquímicos y microbiológicos, almacenamiento además de características del rotulado del envase. Establece un mínimo de fructanos de 25/100g el mismo que será almacenado al medio ambiente y una vez abierto en refrigeración<sup>98</sup>.

### **10.3 Otros Productos**

Se ha elaborado una bebida a base de leche de soja y yacón que contiene 0,75-2 partes en peso de la leche de soja, 1 parte de jugo de peso yacón y 0.015-0.08 partes en peso de la miel. El jugo de yacón se obtiene al exprimir la raíz tuberosa de yacón se añadieron ácido ascórbico o su sal respectiva, pero también la FOS de la raíz tuberosa de yacón también se puede utilizar para mejorar la falta de dulzor de la leche de soja y la estabilidad de la bebidas. La miel puede enmascarar el olor de hierba y el olor a barro. Esta bebida puede complementar los defectos de la leche de soja y el jugo de yacón, respectivamente, tiene un sabor nuevo bien diferente de los sabores de la leche de soja y del jugo de yacón<sup>99</sup>.

Por otro lado se han realizaron investigaciones sobre innovaciones tecnológicas en el lavado y pelado de yacón. Mecanizar el proceso de lavado y pelado de yacón significa no solo ahorro durante el procesamiento del producto sino también reducción de mano de obra, ahorro de más del 19% de la materia prima que se introduzca en la línea de producción. El uso de cepillado para eliminar la corteza de los tubérculos también aumenta el contenido de FOS en el producto final. El método que describen es completamente natural, preservando el estado y la imagen del producto como un alimento natural de la salud. El adicionar camu camu en este método mejora la imagen del producto como un producto exótico de la salud con propiedades medicinales, sería un nuevo producto, que podría tener un mercado en Europa Occidental y América del Norte. Esta máquina tiene el potencial de ayudar a aumentar la rentabilidad de procesamiento de yacón, y por consiguiente, aumentar los ingresos de los recursos de las regiones agrícolas

pobres de yacón. La inversión que se necesita sin embargo es significativa, siendo necesario desarrollar este concepto y realizar más leños pruebas y tarde o temprano construir un prototipo a escala natural<sup>100</sup>.

Considerando la importancia de la materia prima y la corta vida útil de la raíz bajo condiciones ambientales, motivaron la realizaron de un estudio cuyos objetivos eran determinar: 1) la cinética de deshidratación osmótica de yacón, utilizando sacarosa como soluto; 2) el ajuste de la ecuación de Peleg a los datos experimentales y 3) el coeficiente de difusión usando la ecuación de Hawkes y Flink. La fruta se peló y cortó en placas de 3 x 3 x 0,3 cm. Se deshidrató osmóticamente con solución de sacarosa al 40% (p/p), hasta  $a_w = 0,97$ . El proceso se realizó a temperatura de 25 °C y con agitación continua (105 rpm). Se determinó la pérdida de peso de las muestras, la ganancia de sólidos y la retención de agua. La mayor transferencia de masa, tanto de agua como de soluto, ocurre durante los primeros 60 a 90 minutos del proceso, lográndose una ganancia media de sólidos de 9,5 [g/100 g materia fresca] y una pérdida de agua de 68,8 [g/100 g materia fresca]. Se puede asegurar que es posible aplicar satisfactoriamente el proceso de deshidratación osmótica en yacón como pre tratamiento de conservación<sup>101</sup>.

Por otro lado se ha obtenido yacón deshidratado usando como agente osmótico zumo concentrado de yacón en el siguiente proceso: selección - clasificación, lavado - desinfectado cortado (0,5 cm de espesor), rodajado, blanqueado, jarabeo, drenado, lavado, secado (1,78 horas a 60°C) y envasado.. Los rendimientos encontrados en: Zumo, zumo concentrado (76,5° Brix) y rodajas de yacón osmodeshidratado respecto a la materia prima fueron: 56,68, 6,02, y 38,81%, respectivamente. De los tres tipos de cortes evaluados: tiras, cilindros y rodajas, la evaluación sensorial otorgó el mayor puntaje en todas las características evaluadas a las muestras en rodajas. Las evaluaciones fisicoquímicas de las rodajas osmodeshidratadas reportaron en porcentaje; proteína 0,26, fibra 2,1, ceniza 0,45, grasa 0,07, carbohidratos 75,62, FOS 63, 46, glucosa 1,955, fructosa 3,105, sacarosa 7,076, ° Brix 76,26, acidez 0,97 (Ácido cítrico) y pH 4,9<sup>102</sup>.

Se evaluaron las raíces de las plantas cultivadas en las parcelas experimentales ubicado en la Finca Experimental de Lajeado en Botucatu, fueron almacenadas en sacos de PVC a 5°C. Luego utilizó un método simplificado de extracción de los hidratos de carbono en las raíces de yacón y hacer una primera retirada de los residuos y los compuestos originarios de los colores y olores, con la coagulación y la precipitación, utilizando tecnologías de bajo costo. Después del paso de la molienda y remoción de los escombros, el extracto se había incrementado a un pH de 9,5 y temperatura de 90 ° C, seguida por la sedimentación. La eliminación del

precipitado se realizó por filtración en papel después de la coagulación con diferentes concentraciones de sulfato de aluminio comercial. Se encontró que la mejor concentración de coagulante en el extracto fue de 100 ppm, la eliminación de 90,6% de los compuestos de color. El balance de masa mostraron una recuperación del 47,5% de sólidos totales y el 35,6% son en forma de hidratos de carbono, verificado a través de la concentración de carbono orgánico. El pre-tratamiento causó la hidrólisis oligofruktanos detectado por un aumento en la concentración de azúcares reductores, directamente proporcional a la concentración de sulfato de aluminio utilizado en el tratamiento de la coagulación. El análisis de GC mostró el perfil de azúcares en el hidrolizado y el grado de hidrólisis se consideró pequeño. La metodología fue fácil, barata, eficiente y aplicable a la agro-zonas de producción de esta especie de raíces tropicales<sup>103</sup>.

Otro producto aplicado como suplemento nutricional se ha elaborado a base de Silimarina que reduce el riesgo de enfermedades transmisibles, contiene como principios activos una mezcla de 10-90 % en peso en fracciones de flavonolignano normalizadas del extracto de cardo de leche y 90-10% de raíz de yacón seco<sup>104</sup>.

Se ha elaborado mermelada de yacón con mezcla por calentamiento de yacón, seguido por la mezcla con Aloe vera, oligosacáridos y azúcar este último como ingrediente opcional. El producto puede ser utilizado como diversos tipos de alimentos tales como productos de confitería, panadería, rellenos de pastel de arroz (cocido al vapor sobre una capa de agujas de pino), zumos, edulcorante o similares<sup>105</sup>. Se preparan alimentos de raíz de yacón, frutas como la mandarina, y hortalizas. El método de preparación consta de exprimir naranjas mandarinas, pulverizando raíz de yacón, mezcla, agregando otros materiales, y agitación. Con este método, el producto obtenido es el tono del color estable, buen gusto y buen sabor<sup>106</sup>.

En cuanto la viabilidad de la creación de productos dulces como caramelo de jarabe de yacón y diversas fórmulas conteniendo 72° brix con jarabe de yacón y otros ingredientes menores (almidones, productos lácteos, frutos secos) han sido ensayados en pequeños lotes utilizando métodos de cocción en estufa. Varios tipos de moldeo en pequeña escala y métodos de envasado también se intentaron. Si bien aún persisten algunas preocupaciones sobre la estabilidad de los caramelos en el tiempo, se avanzó en la creación de productos dulces aptos para la producción en pequeña escala. El análisis del consumidor preliminar conducido en el Centro Internacional de la Papa mostró un gran potencial para estos productos entre una gran variedad de grupos etarios. Sin embargo todavía es necesario buscar perfeccionar las formulaciones, así como las molduras y los procesos de envases<sup>107</sup>

Se ha realizado la comparación de dos métodos tecnológicos para la obtención de miel de yacón a nivel de Planta Piloto, una en marmita a presión atmosférica y otra utilizando un concentrador a presión a vacío. En los análisis de Fructooligosacáridos (FOS), se obtienen como resultados entre 34,55 y 41,77 g/100 g de muestra seca, para la miel de yacón producida en marmita a presión atmosférica como en un concentrador a presión de vacío, respectivamente. Los resultados de análisis sensorial, indicaron que el panel de degustación acepta mejor la miel producida a presión de vacío. El estudio económico indicó que la miel de yacón producida en un concentrador a presión de vacío es más económica que la miel de yacón producida en marmita, se obtuvo la diferencia entre los métodos de S/. 2,60 por cada frasco de 400g de miel de yacón, con un precio por cada frasco de 41,4 nuevos soles<sup>108</sup>

Se ha formulado un producto alimenticio a partir de yacón por agregado de solutos: glucosa y sacarosa y combinación de barreras de estrés. Se evaluó el efecto de gelificantes conocidos: agar-agar, pectina y goma arábica, en tres concentraciones: 0,30, 0,41 y 0,48%. Se agregó aditivos como benzoato de sodio, metabisulfito de sodio y ácido cítrico. Se desarrolló un dulce tipo pan. Se anotaron la evolución de temperatura durante el cocimiento. La formulación que alcanzó valores de textura similares a la referencia fue: 0,48% de agar-agar; 12% de sacarosa; 17% de glucosa; 23% de agua; 996,75 ppm de metabisulfito; 498,50 ppm de ácido cítrico y 1435,7 ppm de benzoato de sodio. Se realizó una prueba sensorial a través de la evaluación de los parámetros más representativos de la textura, utilizando una escala hedónica, determinando la aceptación de la formulación seleccionada<sup>109</sup>.

Se ha elaborado harina de yacón y evaluado la composición química de diferentes harinas que contenían concentraciones de harina de yacón de 10 y 20% en la preparación de tortas y el análisis sensorial de los productos desarrollados, concluyeron que la harina de yacón tiene potencial como ingrediente en la elaboración de tortas, ya que había una buena aceptabilidad y presentaron características sensoriales agradables<sup>110</sup>.

Se ha ejecutado preparaciones utilizando harina de yacón en diferentes productos de panificación. Se ha evaluado la harina de yacón y FOS como ingredientes en la elaboración de pastel de chocolate. La formulación (harina A) que contiene harina de trigo sustituida en un 20% por harina de yacón y la formulación (B) que contiene la harina de trigo sustituida en un 40% por harina de yacón y 6 % de inulina, fueron analizadas para determinar sus propiedades fisicoquímicas, aceptabilidad y estabilidad de almacenamiento en comparación con el pastel de chocolate estándar. Las formulaciones A y B mostraron propiedades fisicoquímicas, aceptabilidad y la estabilidad comparable a la formulación estándar; tiene efecto prebiótico para una serie de beneficios para la salud<sup>111</sup>.

Se ha obtenido licor fermentado a partir de las raíces tuberosas de yacón usando un método que reduzca el ennegrecimiento. El proceso comprendió las etapas de: lavado de yacón que se haya madurado a temperatura ambiente durante 2 semanas después de la cosecha, y cortando el yacón en un determinado tamaño, añadiendo una mezcla de que contiene sulfito, la enzima pectina y azúcar blanca en el preparado yacón, fermentando la mezcla a 20°C durante 12 días, luego se añadió el sulfito en el producto fermentado para eliminar impurezas, la maduración del producto fermentado fue de 5 a 10 días; luego se añadieron sulfito y bentonita en el producto madurado<sup>112</sup>.

Se ha producido vino a partir del jugo extraído de la raíz de yacón a la que se le añadieron 0,5-1,5% de ácido sulfuroso para su esterilización, levadura un 5-10% para que fermente adicionándole azúcar 15-35% luego dejaron fermentar por 3-8 horas a 20-30°C, obteniendo un vino con 10-18% de alcohol y luego se agregó 0.5-1% de clara de huevo, revolviendo para mezclar bien, reposar durante 6-12 h, recogieron el sobrenadante, y se llevó a almacenamiento durante por lo menos 2 meses en condiciones de sellado con humedad de 80-85% a 15-20°C. El preparado de vino presentó buen aspecto, gusto y sabor único, rico en vitaminas múltiples, aminoácidos, oligoelementos y fructo-oligosacáridos<sup>113</sup>.

Se ha elaborado vinagre a partir de raíces tuberosas de yacón tratado térmicamente a 100°C por 20 minutos fue picado y el jugo obtenido se filtra con paño filtrante de nylon. El etanol (3,9%) y el ácido acético (1,5%) fue introducido en el jugo de yacón, y fermentado con la acetil A. (IAM1802) a 30 ° C durante 34 días. El vinagre de yacón contiene 4,74% de ácido acético, 125 mg/100 ml de compuestos fenólicos como el ajo equiv. y 1,28% de los fructo-oligosacáridos<sup>114</sup>.

A partir de la raíz de yacón rica en fructooligosacáridos y polifenoles podemos elaborar vinagre para ellos se la raíz tuberosa pelada durante 5-60 minutos a  $\geq 80^{\circ}$  luego se presiona para obtener el jugo se calienta durante 10-30 min a 65-80 ° que se mezcla con etanol y se somete a fermentación utilizando *Acetobacter lovaniensis* produciendo ácido acético (1-6%). Se logra una manufactura de vinagre con buenas características organolépticas<sup>115</sup>.

La fermentación del zumo de yacón produce ácido acético con *Acetobacter pasteurianus* IFO 14814 reducen el olor de hierba del jugo y la posibilidad de desarrollo de vinagre del yacón conteniendo FOS natural. El proceso se llevó a cabo bajo las siguientes condiciones: 30 °C, pH inicial 5,0, concentración de etanol inicial. 5,5% (w / v) y ácido acético como precultivo de bacterias. 10% (vol. / vol.).

Como resultado, más de 4,0% de ácido acético se produce a partir YJ · OC-2 (1 d); donde una evaluación sensorial dio como resultado que el olor de hierba se ha reducido casi por completo en todos los jugos de la muestra. Por otra parte, el olor llegó a ser mejor en jugo de yacón (YJ)-OC-2 (Kyokai Yeast No.1), (1 día de fermentación) y el contenido de 2,4% (w/v) de FOS total se conservaba en el jugo manteniendo sus propiedades saludables<sup>116</sup>.

Se ha elaborado encurtido de yacón mediante la inmersión de lavado, pelado, corte y raíces tuberosas de yacón en una disolución de 0,1% de ácido ascórbico como antioxidante sumergiéndolo en una disolución de condimentos en un lugar oscuro, almacenados a 0°-10°C por un tiempo y luego se embalaron. Tuvieron buena apariencia y aceptabilidad sin deterioro de los nutrientes<sup>117</sup>.

Se ha estudiado la fermentación de los fructooligosacaridos del yacón por cinco bacterias lácticas probióticas, de las que seleccionaron tres que eran capaces de crecer en medios que contenían como fuente de carbono el extracto de yacón. La *L. plantarum* NRRL B-4496, *L. acidophilus* NRRL B-1910 *B. bifidum*. Las cepas mencionadas utilizan la glucosa, sacarosa, FOS comerciales, extracto de yacón pero no fermentan inulina. El *L. B-4496* obtuvo el máximo crecimiento en extracto de yacón en condiciones aerobias. El *B. bifidum* obtuvo máximo crecimiento en condiciones anaerobias con extracto de yacón. Las tres cepas en condiciones anaerobias crecieron substancialmente mejor en presencia de extracto de yacón. Mediante técnicas cromatográficas de filtración en gel y capa fina se demostró que *L. plantarum* NRRL B-4496 en condiciones anaerobias en presencia de FOS comerciales utilizó moléculas GF2. Las otras dos bacterias además de eso usaron las moléculas FOS GF3 y GF4 y del extracto de yacón GF2, GF4 y GF3 de manera parcial<sup>81</sup>.

Se ha analizado la producción de inulinasa a partir de cepas nativas aisladas de yacón para determinar las condiciones óptimas de producción de esta enzima a partir de *Kluyveromyces marxianus* NRRL Y-8281. Se encontró la mayor actividad inulinasa extracelular en el rango de pH 5.5 a 6.5; sin embargo, a pH 5.5 la actividad específica fue mayor, esto demuestra que a pH 6.5 se afecta la permeabilidad de la pared celular determinando la secreción al medio de ciertas enzimas contaminantes. A 30°C se obtuvo la mayor producción de inulinasa. El pH y temperatura de mayor producción se encuentran en el rango de crecimiento óptimo de la levadura. La presencia del sustrato inductor (extracto de yacón) en el precultivo incrementa la velocidad y cantidad de enzima producida; la síntesis de inulinasa en el medio donde el inoculo desarrolló en precultivo con glucosa alcanzó un valor máximo en

144 horas de fermentación y fue aproximadamente 90% del valor alcanzado en 72 horas de fermentación cuando el precultivo se realizó con extracto de yacón. Asimismo, se observó que la mayor producción de enzima se obtenía en medios con 2 a 5% (V/V), de inóculo. La purificación de la enzima se realizó en dos etapas: precipitación con acetona al 60% V/V seguido de cromatografía de interacción hidrofóbica. Con estas dos etapas de purificación se incrementó la actividad específica del sobrenadante de 1.84 U/mg a 587.28 U/mg<sup>118</sup>.

Se aislaron microorganismos con elevada actividad de inulinasa de la rizósfera del "yacón" procedente de Ayacucho, para la producción del jarabe de fructosa del yacón y finalmente se realizó el análisis físico-químico del jarabe. Se aislaron siete cepas nativas, tres bacterias, tres hongos y una levadura, mediante selección cualitativa de cuatro cepas que presentaron la formación de halo. La cepa D (bacteria) y la cepa E (hongo) presentaron zonas de inhibición más grandes evaluándolos cuantitativamente utilizando como sustrato el extracto de yacón al 10%. Reportando que la cepa D obtuvo mayor conversión de hidrólisis de oligofruktanos que la cepa E. Se identificaron a la cepa D, siguiendo los parámetros del Manual de Bergey's y las pruebas bioquímicas, siendo un bacilo gram positivo, esporulado, motilidad positiva, catalasa positiva, no hidroliza almidón, por consiguiente no pertenece a ninguna especie descrita hasta el momento del género *Bacillus* por lo que se le denominó como *Bacillus* sp. Al estudiar la optimización de las condiciones de fermentación para la producción del jarabe de fructosa los resultados experimentales muestran un mayor grado de hidrólisis de oligofruktanos a pH de 4.5, 10% de sustrato, 5% de inóculo y 72 horas de incubación. Bajo estas condiciones se obtuvo un jarabe de 69% de fructosa por lo que mediante la hidrólisis enzimática logramos obtener el 32.30% más de fructosa. En la composición físico-química del jarabe de fructosa se obtuvo 20,0 g% de humedad, 80 Brix, 69 g% de fructosa, 10 g% de glucosa, 0,71 g%. de cenizas sulfatadas, 4.3 de pH, 2.2 ppm de plomo, 4.3 ppm de cobre y arsénico no detectable, valores que están dentro de los requeridos por el Codex Alimentarius<sup>119</sup>.

Otro producto de interés comercial es el té de las hojas de yacón. Se han realizado estudios con el objetivo de lograr el procedimiento de secado de hojas más adecuado energéticamente y por calidad del producto obtenido. Se determinaron curvas de secado experimentales de hojas de yacón en laboratorio, se propusieron y experimentaron un método para cuantificar la calidad del producto seco, estableciéndose condiciones de operación adecuada: velocidad de aire, temperatura y densidad de carga. Las condiciones de operación para estos ensayos fueron: temperatura entre 38 y 40 ° C, sin luz y circulación de aire forzada a



una velocidad de entre 1,4 y 1,5 m/s. La humedad del aire se mantuvo entre 27% y 35%. La cámara de secado lleva en su interior el material dispuesto sobre bandejas con estructura de acero de construcción de 6 mm y malla de red de polipropileno tipo antigranizo, con una densidad de carga de 3 kg/m<sup>2</sup>. Con estos datos se completó el pre diseño de un secador solar activo para un grupo de productores de Salta<sup>120</sup>.

Estudios sobre el método de secado de las hojas de yacón con alto contenido de polifenoles determinaron que la pérdida de polifenoles durante el proceso de secado se da en 80° a 100°C. Sin embargo, retiene mayor contenido de polifenoles al cambiar la condición de secado a temperatura más baja en 40 a 60°C<sup>121</sup>.

Se ha estudiado la influencia de las condiciones de almacenaje del yacón fresco en sus compuestos bioactivos. Para el almacenamiento se usaron 3 temperaturas de 5°C, 10°C y 22°C, usándose 3 tipos de empaque, para cada temperatura; (a) caja de cartón sin cubierta, (b) malla de abertura en forma de cocada de 5mm de película caja de cartón cubierto con una película de polietileno de baja densidad de 45 µm de espesor (Film). y se almacenó durante 3 meses. Encontrándose que la velocidad de respiración del yacón se logra disminuir con una película de polietileno de baja densidad (film) y a 5°C; esta disminución de la velocidad de respiración bajo estas condiciones influye en la estabilidad de los fructooligosacaridos (FOS) y humedad; los compuestos fenólicos se encontraron en mayor cantidad en empaque con la película de polietileno de baja densidad (Film) y a 22°C; hubo una mayor actividad antioxidante en el empaque de caja abierta y a 22°C; para los sólidos solubles(Brix). En la industria cosmética se ha elaborado productos a base del extracto de *Smallanthus sonchifolia* para ser utilizado como inhibidor de formación de melanina, inhibidor de especies reactivas de oxígeno y lipoperoxidación. La composición es también eficaz en el mejoramiento de piel seca, eczema o piel rugosa y dar brillo a la piel o el pelo.<sup>122</sup>.

En la industria farmacéutica se ha producido fármacos que contienen extracto de yacón para el tratamiento de la esterilidad o el descenso de la función reproductiva sien efectos secundarios. Proporciona un aumento en el número de espermatozoides, promueve la secreción de hormonas masculinas en los mamíferos. Se formula en polvo o gránuloso solución es preparado con extracto de yacón. Ladosis diaria es 10-30gramos<sup>123</sup>.

## 11. COMERCIALIZACIÓN

La tendencia mundial al consumo de productos naturales y dietéticos es una oportunidad para la agroindustria del yacón. Los consumidores actuales demandan productos nutritivos con beneficios adicionales para la salud y debidamente industrializados sin dañar el medio ambiente, a través del comercio justo buscando apoyar a los pueblos con altos índices de pobreza, desnutrición y analfabetismo

Se ha estudiado la demanda de productos dietéticos, edulcorantes no caloricos y el de hierbas o sucedaneos medicinales, con el propósito de determinar las cantidades requeridas de yacón para ser exportados al Japón. Así mismo, se ha evaluado el consumo potencial del mercado nacional de este producto. El Perú puede atender una demanda de yacón, para el mercado japonés de un 10% el primer año (424 t) y en los periodos sucesivos es factible llegar hasta un 15% (1,200 t). Según manifiesta las estrategias de ingreso al mercado japonés, son el contacto y negociación con una de las tradings especializadas en Japón, las que se denominan "Sogo Shoshas". El puerto de salida sería el Callao. Se ha realizado un análisis del sector agro exportador, examinando las ventajas competitivas del Perú, teniendo en cuenta las altas exigencias en calidad y competitividad internacional para un producto como el yacón. En el Perú existiría la intención de su consumo vistas sus propiedades y características. Las pruebas de derivados del yacón realizadas fueron preliminares y requieren un mayor desarrollo tecnológico y pruebas de aceptación de productos en el mercado nacional y japonés<sup>124</sup>

Se evaluaron las características fisicoquímicas del tubérculo de yacón procedente de Huanabamba como materia prima, que permita obtener un producto con la mayor cantidad de FOS. Los resultados de los análisis físicos y químicos para la raíz del yacón, fueron los siguientes: Humedad 91,93%, proteína 0,32%, grasa 0,16%, ceniza 0,81%, fibra cruda 0,1% Glucosa libre 0,89%, fructosa libre 2,12%, sacarosa libre 0,89% y fructo oligosacáridos 8,06%. Se realizaron los análisis físico – químico y microbiológico del jarabe del yacón, así como también diferencia las características sensoriales y el rendimiento para obtener un producto de buena calidad, así como darle valor agregado a través de la difusión de este cultivo autóctono. Los análisis físico-químicos, para el jarabe de yacón fueron los siguientes: humedad 29,61%, proteínas 0,06%, grasa 1,78%, ceniza 2,06%, fibra cruda 0,2%, glucosa libre 10,42%, fructosa libre 19,52 % sacarosa libre 6,25% y fructooligosacáridos 29,95%. El costo de producción por frasco de 300g fue 18,01 y la utilidad de 20% sobre el costo, con un precio de venta por cada frasco de 22.57 nuevos soles puesto en Lima. El negocio fue rentable según lo demostraron los indicadores financieros de UANF = 26079.00 TIRF = 109%.

Sin embargo la raíz como fruta fresca tiene limitaciones y desventajas en su comercialización por su perecibilidad, disminución de su poder nutricional y susceptibilidad al daño físico por su elevado descarte debido al tamaño y presentación y por los elevados costos de transporte (90% agua), de donde se aplica su elevado precio en los supermercados de aproximadamente 5 soles por kilogramo<sup>125</sup>.

Se ha elaborado un proyecto de inversión de la empresa Andean Organic Products cuyo objetivo era proporcionar el jarabe de yacón como edulcorante orgánico para el cuidado de la salud. El proyecto obtuvo los siguientes resultados: en VAN económico de 109,394 dólares y una TIR económica de 34.13%, lo cual hace atractivo a cualquier inversionista implementar el proyecto. La TIR económica de la empresa fue la mayor al Costo de Oportunidad del accionista, lo cual demuestra que el negocio es viable. La tendencia del mercado japonés hacia el consumo de productos orgánicos va en aumento, lo cual hace posible, que surja oportunidad de negocio, puesto que el consumidor japonés reconoce el valor agregado del producto y está dispuesto a pagar un precio mayor por este tipo de producto. De acuerdo al análisis de costos efectuados, afirmaron que el cultivo de Yacón, es rentable comparado con otros productos tradicionales de los Andes, generando empleo y contribuyendo a incrementar los ingresos e el nivel de vida de los agricultores, así como disminuir los flujos migratorios a las ciudades<sup>126</sup>.

Se ha realizado un estudio sobre la producción y comercialización de yacón en comunidades rurales del noroeste argentino (Salta y Jujuy) concluye que el yacón producido en Jujuy tiene particularidades distintivas presentando mayor contenido de agua y características morfológicas diferentes a los cultivados en otras regiones de los Andes. Igualmente que la vida útil como producto fresco, no excede los 15-20 días en condiciones ambientales. La mayor proporción se vende en fresco y al mismo tiempo se desarrollan algunos productos artesanales que se comercializa en el mercado local<sup>127</sup>.

Se han evaluado la producción, usos, transformación agroindustrial, competitividad y exportaciones concluyendo que la producción del yacón en el Perú no es significativa lo que puede observarse en los cuadros estadísticos proporcionados por el Ministerio de Agricultura. No existe una información estadística oficial sobre la demanda en el mercado interno de nuestro país; las encuestas internas realizadas en la investigación demuestran que la demanda de los consumidores es muy reducida, porque hay una deficiente difusión o política de marketing por parte del estado peruano, ya que no se da la iniciativa y tampoco se cuenta con los recursos necesarios como: dinero suficiente para realizar la publicidad del producto, también los conocimientos de un estudio de mercado y las estrategias que se debe emplear para promocionar el yacón o sus propiedades curativas. A partir del año 2002 en el Perú se observa una tendencia de crecimiento en su consumo,

siembra y producción por nuestros campesinos, motivados por la demanda existente en los supermercados del extranjero en los países como: Japón, Brasil y Nueva Zelanda<sup>128</sup>.

Estudios realizados sobre factibilidad para la producción y comercialización de yacón concluyeron que el producto en el mercado no es tan conocido pero tiende a crecer conforme se propague más información sobre sus bondades terapéuticas. En lo que respecta a las industrialización puede formar parte de varios rubros en la industria así como: Industria de bebidas gaseosas (sustituto del jarabe de maíz, aplicado en este), en la Industria farmacéutica, Industria alimentaria (elaboración de néctares y harina), entre otros. En cuanto a la exportación ya sea en forma bruta o transformada, existe un gran mercado ya que estos valoran más los productos naturales (debido a la creciente interés por el naturismo y ecología)<sup>129</sup>.

Por otro lado se elaboró un Proyecto de Inversión: Néctares de yacón puro y yacón con piña "Yamix: Cultivos Andinos S.A.C. el objetivo de este proyecto era demostrar la viabilidad del proyecto, pues existe un gran potencial en el mercado nacional; Este análisis brindó información clave para la toma de decisiones. Los valores actuales netos tanto económicos como financieros resultan muy atractivos para este proyecto de inversión. Los estudios de mercado, técnico y legal realizados determinaron la viabilidad comercial, técnica y legal del proyecto. Los indicadores de análisis costo beneficio determinaron que este proyecto es una buena opción de inversión. Se identificaron numerosos factores que hicieron de Yamix una oportunidad de negocio rentable, ya que el yacón es un producto con una futura creciente demanda en el mercado nacional, en especial de las personas diabéticas, con sobrepeso u obesidad y aquellas que desean cuidar su salud. Los precios de los productos buscan ser competitivos en el mercado al cual se dirige el proyecto, pues el público objetivo eran los niveles socioeconómicos A y B de Lima Metropolitana<sup>130</sup>.

La falta de organización a nivel técnico, administrativo y comercial existente en el gremio de agricultores son las principales limitaciones para el desarrollo de la agroindustria del yacón en el Perú. No existe una institución representativa que agrupe a los agricultores dedicados a esta actividad, que brinde información técnicas y promueva su cultivo e industrialización, adicionalmente a ello no se cuenta con fuentes de financiamiento oportunas dirigidas a este segmento. En el análisis de preferencia se encontró que el consumidor, prefiere consumir el tubérculo de yacón en infusión, jarabe y hojuelas. La metodología de procesamiento del jarabe es práctica, sencilla y de bajo costo. A diferencia de otros lugares de la región andina donde se cultiva para auto consumo, fines religiones y hasta ornamentales, Cajamarca es uno de los departamentos con mayores hectáreas de sembríos para fines comerciales; además el yacón puede producir hasta 100 toneladas por hectárea. Es potencialmente valioso desde el punto de vista comercial<sup>128</sup>.

Por otro lado se ha estudiado estrategias que se requieren para fomentar la producción industrialización y comercialización de yacón como medio de desarrollo de las comunidades campesinas en las zonas andinas de nuestro país ya que el cultivo e industrialización del yacón es una actividad poco desarrollada en el Perú con gran potencial económico en beneficio de la sociedad. Las zonas más representativas se encuentran dispersas en los departamentos de Amazonas, Arequipa, Cajamarca, Cuzco, Cerro de Pasco y Junín. La interrelación entre los conocimientos técnicos y las habilidades comerciales de los agricultores debidamente capacitados serán la base para el desarrollo de esta actividad. Así mismo la actividad agroindustrial del yacón en el Perú no está en capacidad de atender con éxito los mercados internacionales debido a que no cuenta con la cantidad, calidad ni continuidad adecuada para sostener una oferta competitiva<sup>131</sup>.

Se ha evaluado el proyecto de exportación de mermelada de yacón donde requiere una inversión total de \$49 152. Los índices de rentabilidad demostraron la viabilidad económica y financiera del proyecto con un WACC de 26.91% y un COK de 30.04%. Un punto a favor este negocio es que no presentó alto nivel de riesgo debido a no ser un producto altamente perecible y no necesita inversiones grandes de dinero<sup>132</sup>.

El mercado interno del yacón y sus derivados no se encuentra desarrollado y presenta oportunidades para incrementar la demanda del producto fresco, así como la demanda industrial de jarabe del yacón como insumo edulcorante en la industria de los alimentos, por ejemplo el yogurt prebiótico y otros derivados.

La agroindustria del yacón requiere el apoyo del estado para ser competitiva. El ministerio de agricultura y de la producción a través de sus oficinas regionales tienen la responsabilidad de promover este tipo de actividades que generan valor, sin embargo debido al desconocimiento técnico del cultivo y a una deficiente gestión que esperamos que en los próximos años se mejore e incrementen su producción e industrialización con tecnología de avanzada que permita aumentar la producción de productos biotecnológicos en nuestro país en beneficio de la prevención de enfermedades.

La demanda mundial de edulcorantes naturales no calóricos se ha incrementado en los últimos años siendo una buena oportunidad la industrialización del jarabe de yacón, producto que adicionalmente tiene propiedades prebióticas

## CONCLUSIONES

El yacón ha recibido a través de su historia diferentes nombres como *Polymnia edulis* Wedd, *Polymnia sonchifolia* Poepp. & Endl. reconociéndose el nombre científico como *Smallanthus sonchifolia* (Poepp. & Endl.) H. Robinson desde 1978 cuando Robinson determinó que muchas de las especies del género *Polymnia* pertenecían a un género que Mackensi había propuesto en 1933 que es el *Smallanthus*, de acuerdo con Grau y Rea hay diferencias importantes en ambos géneros como el patrón de estrías en la superficie del fruto, ausencia de glándulas en el apéndice de la antera y otros.

Presenta un sistema subterráneo complejo encontrándose referencias que sea tubérculo, rizoma simpodial, rizoma leñoso o raíz tuberosa. A partir de los estudios realizados por Machado et al. El 2004 se definió que la planta presenta un sistema subterráneo engrosado de naturaleza mixta representado por rizóforos y raíces. Todo el sistema radicular está formado por raíces adventicias algunas permanecen delgadas otras sufren intensa tuberificación. El estudio anatómico evidencia que la organización del sistema vascular de este órgano es típica de una raíz. El sistema subterráneo está constituido por tres partes los rizomas u rizóforos que contienen las yemas que dan origen a nuevas plantas, las raíces fibrosas o delgadas que fijan la planta al suelo y absorbe el agua y nutrientes y las raíces reservantes que son la parte comestible. Con estos estudios está claro que las otras referencias de rizoma o tubérculo no son adecuadas.

Existe confusión entre diferentes autores que hacen referencia que contiene inulina como componente principal la que no es exacta porque lo que contiene es FOS ya que la diferencia reside en el número de moléculas de fructosa que tiene las cadenas, en inulina este número varía entre 2 a 60 en cuanto a FOS presentan cadenas menores y el número varía entre 2 y 10 y pueden ser considerados como un subgrupo de inulina razón por la cual hay autores que usan el término FOS de tipo inulina para referirse a su naturaleza. Así mismo en los diversos estudios se puede apreciar que la proporción de los azúcares puede variar así como las proporciones de compuestos fenólicos estando estos últimos en mayor concentración en las hojas. Se recomienda considerar una composición en base seca.

Su importancia radica en la presencia de componentes bioactivos presentes principalmente en el tubérculo y hojas de la planta que ha despertado gran interés por su contenido de oligofruktanos (FOS) y compuestos fenólicos con propiedades beneficiosas para la salud ya que la baja digestibilidad de FOS en las raíces tuberosas permite ser consumida por diabéticos porque no elevan el nivel de glucosa en sangre y su consumo está asociado a otras propiedades como reducir el colesterol y triglicéridos, mejora la

absorción de calcio, fortalece el sistema inmunológico, previene y reduce el riesgo de cáncer al colon previniendo el estreñimiento, y restaurando la flora intestinal. Estas últimas se han observado en animales. En cuanto a sus propiedades hipoglicemiantes éstas se han comprobado en hojas probablemente relacionado a la concentración de bioactivos que están incrementados en esta parte de la planta.

Existe un gran potencial de desarrollo agroindustrial alrededor de yacón que requiere fortalecerse a nivel de estado, empresa e universidades con la finalidad de demostrar que esta planta cuenta de una diversificación de productos y formas de comercialización con una aceptabilidad del mercado nacional e internacional, y con propiedades saludables e inocuas.

## RECOMENDACIONES

Se requiere ampliar las investigaciones en aspectos genéticos que nos permitan determinar sus diferentes variedades con la finalidad de optimizar las características y propiedades de las raíces y mejorar su producción agroindustrial en gran escala. Es necesario investigar con más profundidad la diversidad genética del yacón para promover variedades con ciertas ventajas para su procesamiento y uso: mayor contenido de FOS, antioxidantes, mayor rendimiento de raíces, hojas y mejorar la presencia y calidad de bioactivos en hojas y raíces.

Es necesario realizar estudios de toxicidad: genotoxicidad, citotoxicidad y pruebas de alergenicidad con diseños experimentales en estudios pre-clínicos y clínicos.

Estandarizar los productos que se elaborarían a partir de yacón e innovar nuevos como cereales, bebidas y alimentos para el desayuno.

Implementar estudios de biodisponibilidad de los bioactivos del yacón e implementar estudios con biomarcadores para establecer dosis de eficacia en cada una de sus propiedades farmacológicas.

Existen algunos estudios que son contradictorios respecto a sus propiedades hipoglicemiantes lo que estarían relacionados a los protocolos experimentales desarrollados. Asimismo es importante ampliar las investigaciones en el campo inmunológico.

Actualmente existen alegaciones de propiedades saludables en productos que contienen yacón en su formulación y que es necesario que demuestren científicamente la eficacia de sus productos.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. INEA Programa Nacional de Investigación en Recursos Genéticos. Compendio manejo tradicional de semillas de los cultivos nativos del Perú. Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria – INIEA, 2006.p48.
2. Seminario J, Valderrama M & Manrique.I. El yacón: Fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. Lima: Centro Internacional de la Papa (CIP); 2003.p.8, 20,24-40,49-50.
3. Manrique I, Hermann M y Bernet T. Yacón - Ficha técnica. Lima: Centro Internacional de la Papa (CIP); Diciembre 2004 [Acceso 12 de diciembre de 2009]. Disponible en:[http://www.cipotato.org/artc/cip\\_crops/fichatecnicyacon.pdf](http://www.cipotato.org/artc/cip_crops/fichatecnicyacon.pdf).
4. Duarte MR, Wolf SP, Gruskoski B. *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob. (yacón): identificação microscópica de folha e caule para o controle de qualidade farmacognóstico. *Rev. Bras. Cienc. Farm.* 2008; 44(1): 157-64.
5. Lock O, Rojas R. Química y farmacología de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob. ("Yacón"). *Revista de Química* 2005; XIX (1):31-35.
6. Grau A, Kortsarz A, Sanchez S, et al. El yacon como alimento, fuente de suplementos dietarios y de productos farmacéuticos: un panorama histórico, el presente y el futuro. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas - BLACPMA* 2007; 6 (5): 173 – 74.
7. Douglas JA, Follet JM, Waller JE. Effect of propagule weight on production of yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 2005; 33: 143 – 148.
8. Manrique I y Hermann M. El potencial del yacón en la salud y la nutrición [Base de datos en internet]. Lima: Centro Internacional de la Papa-CIP; 2003 [fecha de acceso 16 de Diciembre de 2009]. Disponible en: [http://www.cipotato.org/artc/docs/Manrique\\_Hermann\\_2004\\_yacon\\_en\\_la\\_salud.pdf](http://www.cipotato.org/artc/docs/Manrique_Hermann_2004_yacon_en_la_salud.pdf).
9. Mark N. Cohen, La agricultura y la presión demográfica .Lima, Editorial Ausonia Talleres Gráficos S.A., 1975.
10. Machado SR, Oliveira DM, Marícia R. e Menezes NL. Morfoanatomía do sistema subterrâneo de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson (Asteraceae). *Rev. Bras. Bot.* 2004; 27(1):115-23.
11. Santana I, Cardoso MH. Raíz tuberosa de yacón (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidade de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. *Ciência Rural*, Santa María 2008; 38(3):898-905.
12. Dostert N, Roque J, Cano A, La Torre M y Weigend M. Desarrollo de monografías botánicas (factsheets) para cinco cultivos peruanos Hojas Botánicas: Yacón – *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob. 2009. Deutsche Gesellschaft für Technische

Zusammenarbeit (GTZ) GmbH: Programa Desarrollo Rural Sostenible. Lima, Perú – PDRS p.9

13. Melgarejo PD. Potencial productivo de la colección nacional del yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poeppig & Endlicher) H. Robinson, bajo condiciones de Oxapampa [Tesis]. Lima: Facultad de Ciencias Agropecuarias.E.F.P. de Agronomía, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión; 1999.p76, 84-88.
14. Córdova, A y Galecio M. Identificación y evaluación agronómica de los biotipos de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en la microcuenca la Gallega, Provincia de Morropón-Piura. *Universalia*. 2006; 11(2)
15. Palacios JC, Efecto de la Nutrición marginal en el crecimiento y desarrollo del yacón *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson bajo condiciones de hidroponía [Tesis].Lima: Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Agraria; 2006.p. 58, 64.
16. Fernández CE, Pérez VW, Robles CH, Viehmannova I. Screening of yacón (*Smallanthus sonchifolius*) in Bilbao Rioja and Charcas provinces of department Potosí of in Bolivia. *Agricultura trópica et subtropical*. 2005; 38(1).
17. Fernández E, Viehmannová I, Lachman J, Milella L. Yacón [*Smallanthus sonchifolius* (Poeppig Endlicher) H. Robinson]: a new crop in the Central Europe. *PLANT SOIL ENVIRON*. 52, 2006 (12): 564–570.
18. Mercado MI, Di Sapio OA, Coll MV, Grau A, Gattuso MA, Catalán CA et al. Caracteres morfoanatómicos y químicos diferenciales de dos morfotipos de yacón (*Smallanthus sonchifolius*, ASTERACEAE). *Bol. Latinoam. Caribe Plant. Med. Aromáticas* 2007; 6 (5):207-8.
19. Perazzo RG. Retardo del crecimiento in vitro de yacón *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) por efecto del uso manitol y sorbitol como estresantes osmóticos [Tesis]. Lima: Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2000 p77.
20. Mansilla SR. Caracterización genética molecular de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson "yacón" mediante marcadores RAPDs [Tesis ]. Lima: Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Agraria La Molina; 2001.p.95, 97-98.
21. Tello V M. Caracterización morfológica y molecular de genotipos de yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) H. Robinson provenientes del departamento de Huánuco [Tesis].Lima: Escuela de Post Grado Especialidad de Mejoramiento Genético de Plantas, Universidad Nacional Agraria La Molina; 2002. p. 136,139.
22. Polreich S. Establishment of a classification scheme to structure the post-harvest diversity of yacón storage roots(*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson) [ Tesis ]. Kassel: *Faculty of Agriculture, International Rural Development and Environmental Protection*, University of Kassel; 2003.
23. De la Cruz LG. Inducción de callos, regeneración de plántulas in vitro y evaluación genética usando RAPD's en *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson [Tesis]. Lima:

- Especialidad de Mejoramiento Genético de Plantas, Universidad Nacional Agraria La Molina; 2003. p.72-75.
24. Sotomayor VM. Variabilidad del germoplasma de raíces andinas del INIEA del Norte del Perú (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft, *Mirabilis expansa* (Ruiz & Pavon) Standley y *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson) [Tesis]. Lima: Facultad de Ciencias. Departamento de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina: 2004.p 45.
  25. Talledo D, Escobar C. Citogenética e *Polymnia sonchifolia* “yacón”: Ciclo celular y número cromosómico. Scientia – URP.2003; 5: 113- 133.
  26. Hermann M, Freire I & Pazos C. 1999. Compositional diversity of the yacón storage root. In: Impact on a changing world, Program Report 1997-1998, The International Potato Center (CIP), Lima, Perú, p. 425-432.
  27. Valentova K, Ulrichová J. *Smallanthus sonchifolius* and *Lepidium meyeri* -Prospective Andean crops for the prevention of chronic diseases. Biomed. Papers 2003; 147(2): 119–30.
  28. Goto K, Fukai K, Hikida J, et al. Isolation and structural analysis of oligosaccharides from yacón (*Polymnia sonchifolius*) Tokio, Rev. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry 1995; 59(12): 2346 – 47.
  29. Chasquibol N, Aguirre R, Bravo M, et al. Estudio químico y nutricional de las variedades de la raíz de la *Polymnia sonchifolia* “yacón”. Revista Peruana de Química e Ingeniería Química de la UNMSM 2002; 5 (1): 37 – 42.
  30. Glorio P, Repo-Carrasco R, Velezmoro C, Anticona S, Huaranga R, Martínez, et al. Fibra dietaria en variedades peruanas de frutas, tubérculos, cereales y leguminosas. Rev Soc Quím. 2008; 74(1):46-56.
  31. Ramos ZR. Estudio químico-bromatológico de algunas variedades de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) (Poepp & Endl) H. Robinson. De la provincia de Sandia-Puno. [Tesis]. Lima: Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2007.p5.
  32. Lachman J, Fernández E, Orsák M. Yacon [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use – a review Plant Soil Environ., 49, 2003 (6): 283–290.
  33. Peng J, Gan Z, Nong Y. ICP-OES determination of trace elements in yacón by microwave digestion of samples. Quality Supervision and Testing Center of Subtropical Fruit and Vegetable, Ministry of Agriculture, Nanning, Peop. Rep. China. Guangdong Weiliang Yuansu Kexue Guangdong Weiliang Yuansu Kexue Bianjibu 2007; 14(8): 43-47.
  34. Muñoz AM, Blanco T, Serván K, Alvarado-Ortíz C. Evaluación del contenido nutricional de yacón (*Polymnia sonchifolia*) procedente de sus principales zonas de producción nacional. Revista Horizonte Médico 2006; 6(2):69-73.
  35. Mizuno T, Yamada K. Free amino acid composition in the root of yacón (*Smallanthus Sonchifolius*). Journal for the Integrated Study of Dietary Habits 2007; 18(3):283-87.

36. Lachman J, Hurland E, Fernández E, Dudjak J. Saccharides of yacón [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] tubers and rhizomes and factors affecting their content. Praga, Plant Soil Environ. 2004; 50 (9) 383 – 390.
37. Fukai K, Ohno S, Goto K and Yukihiro H. Seasonal growth and fluctuations of sugar content in yacón (*Polymnia sonchifolia*) during growth and dormancy. Tokio, Soil Science and Plant Nutrition 1995; 66(1): 233 – 37.
38. Fukai K, Miyasaki S, Nanjo F. Distribution of carbohydrates and related enzyme activities in yacón (*Polymnia sonchifolius*). Tokio, Soil Science and Plant Nutrition. 1993; 39(3): 567 – 71.
39. Fukai K, Ohno S, Goto K, et al. Seasonal fluctuations in fructan content and related enzyme activities in yacón (*Polymnia sonchifolius*) Tokio, Soil Science and Plant Nutrition 1997; 43(1): 171 – 77.
40. Wei B, Hara M, Yamauchi R, Ueno Y and Kato K. Fructooligosaccharides in the tubers of Jerusalem Artichoke and yacón. Res. Bull. Fall. Agr. Gifu Univ. 1991 ;( 56):133-8.
41. Graefea S, Hermannb M, Manriqueb I, Golombek S, Buerkert A. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacón roots in the Peruvian Andes. Field Crops Research. 2004; 86: 157–165.
42. Chirinos GR. Obtención y caracterización de los oligofructanos a partir de la raíz del yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) [Tesis]. Lima: Escuela de Post Grado. Especialidad Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional Agraria La Molina; 1999. p. 117-118.
43. Vilhena SM, Cámara FL, Piza IM, Lima GP. Contenido de fructanos en raíces tuberosas de Yacón (*Polymnia sonchifolia*). Cienc. Y Tecnol. Aliment. 2003; 4(1):35-40.
44. Álvares M y Kassumi EN. Evaluation of the development of Yacon Plants (*Polymnia sonchifolia*) and Characterization of the Carbohydrates by HPLC. Braz. J. Food Technol., 2004; 7(2):.215-220.
45. Quijano FG, Vilhena SM, Camara FL, Lima GP. Peroxidase and polyphenoloxidase activities during yacón (*Polymnia sonchifolia*) postharvest storage. Acta Hort. (ISHS) 2002; 569:213-219.
46. Carvalho S, Toledo I, Araujo F, Pereira G. Fructanos en raíces tuberosas de yacón (*Smallanthus sonchifolius* POEP.& ENDL.) expuestas al sol y almacenadas bajo condiciones ambientales.. Agro-Ciencia, 2004; 20(1):17-23.
47. Asami T, Minamisawa K, Tsuchiya T, Kano K, Hori I, Ohyama T, et al. Fluctuation of oligofructan contents in tubers of yacón (*Polymnia sonchifolia*) during growth and storage. Jpan. J. Soil Sci. Plant Nutr. 1991; 62:621-27.
48. Chávarry TR. Influencia de las condiciones de almacenaje del yacón fresco (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) en sus compuestos bioactivos [Tesis]. Lima: Escuela de Post Grado Especialidad Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional Agraria la Molina; Lima, 2007. p 120.

49. Simonovska B, Vovk I, Andrenšek S, Valentová K, Ulrichová J. Investigation of phenolic acids in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) leaves and tubers. *J. Chromatogr. A* 2003; 1016: 89–98.
50. Takenaka M, Yan X, Ono H, Mitsuro Y, Nagata T and Nakanishi T. Caffeic acid derivatives in the roots of yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *J. Agric. Food Chem.* 2003; 5: 793-96.
51. Muñoz AM, Ramos-Escudero D, Alvarado-Ortíz C, Castañeda B. Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. *Rev Soc Quím Perú.* 2007; 73(3):142-49.
52. Jandera P, Skeriková V, Rehová L, Hájek T, Baldriánová L, Skopová, et al. RP-HPLC analysis of phenolic compounds and flavonoids in beverages and plant extracts using a CoulArray detector. *J. Sep. Sci.* 2005; 28:1005–22.
53. Miyazawa M, Tamura N. Characteristic odor components in the essential oil from yacón tubers (*Polymnia sonchifolia* Poepp. et Endl). *Journal of Essential Oil Research* 2008; 20(1):12-14.
54. Ynouye FC. Determinación del contenido de carbohidratos de reserva, la actividad enzimática de la polifenol oxidasa y la concentración de polifenoles en raíces reservantes de yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson) [Tesis]. Lima: Facultad de Ciencias Departamento de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina; 2005. p.67.
55. Silva E, Candido L, Sabino J, et al. Chemical composition of root and dehydrated leaves of yacon (*Polymnia sonchifolius* Poepp) *Revista Brasileira de Plantas Medicinales* 2004; 6(3): 48 – 52.
56. Kakuta H, Seki T, Hashidoko Y. Ent-kaurenic acid and its related compounds from glandular trichome exudate and leaf extracts of *Polymnia sonchifolius*. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry* 1992; 56(10):1562–64.
57. Schorr K, Da Costa FB. A proposal for chemical characterisation and quality evaluation of botanical raw materials using glandular trichome microsampling of yacon (*Polymnia sonchifolia*, Asteraceae), an Andean medicinal plant. *Rev. Bras. Farmacogn.* 2003; 13, Supl.1, p.01-03.
58. Lin F, Hasegawa M, Kodama O. Purification and identification of antimicrobial sesquiterpene lactones from yacón leaves .Tokio, *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry* 2003; 67 (10): 2154 – 59.
59. Hong SS, Lee SA, Han XH. Melampolides from the leaves of *Smallanthus sonchifolius* and their inhibitory activity of LPS-Induced nitric oxide production. *Tokio, Chemical & Pharmaceutical Bulletin* 2008; 56 (2) 199 – 202.
60. Tamura H, Quitain A, Tibigin O, Kazuyuki Ishikawa M, Takashima K. Yacón (*Polymnia sonchifolia*) extracts containing 9-acetoxy-10(2,3-dimethyloxirane carbonyloxy)-4-methyl-12-methylene-13-oxo-3,14-dioxa-tricyclo [9.3.0.02,4]tetradec-7-ene-8-carboxylic acid

- methyl ester as antitumor drugs and health foods. Jpn. Kokai Tokkyo Koho, Patent JP 2007230973. 2007; 15pp
61. Hashidoko Y, Urashima M, Yoshida T. Predominant epiphytic bacteria on damaged *Polymnia sonchifolia* leaves, and their metabolic properties on phenolics of plant origin. Biosci. Biotech. Biochem. 1994; 58(10):1894-96.
  62. Hashidoko Y, Urashima M, Yoshida T and Mizutani J. Decarboxylative conversión of hydroxycinnamic acids by *Klebsiella oxytoca* and *Erwinia uredovora*, Epiphytic bacteria of *Polymnia sonchifolia* leaf, possibly associated with formation of microflora on the damaged leaves. Biosci. Biotech. Biochem. 1993; 57(2):215-19.
  63. Aguilar Felices, EJ. Estudio de los flavonoides aislados de las hojas de *Smallanthus sonchifolius* (yacón) y determinación de su actividad antioxidante e inmunológica [Tesis]. Lima: Facultad de Farmacia y Bioquímica. Unidad de Post Grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2007.
  64. Pak A, Gonçalez E, Därc J, Felicio J, Pinto M, Rossi MH, et al. Inhibitory activity of compounds isolated from *Polymnia sonchifolia* on aflatoxin production by *Aspergillus flavus*. Braz. J. Microbiol. [periódico na Internet]. 2006 Jun [citado 2009 Dez 03]; 37(2): 199-203.
  65. Mercado M, Coll M, Grau A, et al. Constituyentes de la cera foliar de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas - BLACPMA 2007; 6 (5): 260 – 261.
  66. Adam M, Juklova M, Bajér T, Eisner A, Ventura K. Comparison of three different solid-phase microextraction fibers for analysis of essential oils in yacón (*Smallanthus sonchifolius*) leaves. Journal of Chromatography, A 2005; 1084(1-2):2-6.
  67. Inoue A, Tamogami S, Kato H, Nakazato Y, Akiyama M, Kodama O, Akatsuka T; Hashidoko Y. Antifungal melampolides from leaf extracts of *Smallanthus sonchifolius*. Phytochemistry 1995; 39(4):845-8.
  68. Takasugi M, Masuda T. Three 4'-hydroxyacetophenone-related phytoalexins from *Polymnia sonchifolia*. Phytochemistry 1996; 43(5):1019-21.
  69. Sánchez A y Genta S. Yacón: Un potencial producto natural para el tratamiento de la diabetes. Bol. Latinoam. Caribe Plant. Med. Aromáticas 2007; 6 (5):162-64.
  70. Arnao I, Alban J, Valdivieso R, et al. Evaluación del efecto hipoglicemiante del *Smallanthus sonchifolius* (yacón), mediante la prueba de tolerancia a la glucosa posprandial (PTGPP), en ratas diabéticas. Lima, Anales de la Facultad de Medicina. 2006; 67 Sup.1.p28
  71. Lobo AR., Colli C, Alvares EP, et al. Effects of fructans-containing yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepp & Endl.) flour on caecum mucosal morphometry, calcium and magnesium balance, and bone calcium retention in growing rats. British Journal of Nutrition 2007; 97: 776 – 85.

72. Jurupe J, Herencia V, Robles J, et al. Contribucion al estudio de la actividad hipoglicemiente del *Smallanthus sonchifolius* (yacón) .Revista de la Facultad de Medicina Humana - URP 2007;7(2): 20 - 28.
73. Valentova K, Moncion A, Waziers I and Ulrichova. The effect de *Smallanthus sonchifolius* leaf extracts on rat hepatic metabolism. J. Cell Biology and Toxicology. 2004; 20:109-20.
74. Tasayco YN. Actividad hipoglucemiente del extracto hidroalcohólico de las hojas de *Smallanthus sochifolius* (yacón) en ratas con diabetes tipo 1 y2 [tesis Maestría]. Lima: Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2007. p.44.
75. Baroni S, Suzuki-Kemmelmeier F, Caparroz-Assef S, Cuman R, Kenji N, Bersani-Amado CA. Effect of crude extracts of leaves of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) on glycemia in diabetic rats. Rev. Bras. Cienc. Farm. 2008; 44(3): 521-30.
76. Aybar M, Sánchez A, Grau A, Sánchez S. Hypoglycemic effect of the water extract of *Smallantus sonchifolius* (yacón) leaves in normal and diabetic rats. Food and Chemical Toxicology 2005; 43(1):1657-65.
77. Castañeda B, Castro de la Mata R, Manrique R, Ibáñez L, Fujita R, Barnett E. *Estudio fitoquímico y farmacológico de 4 Plantas con efecto hipoglicemiente* Revista Horizonte Médico. 2008; 8 (1) p:6-34
78. Ludeña A, Ugarte K, Belsuzarri I. Efecto normoglicemiente del tubérculo y la hoja del yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en pacientes diabéticos Tipo 2. Rev. Horizonte médico 2009; 4(1):54-65.
79. Mayta P, Payano J, Peláez J. et al. Reducción de la respuesta glicémica posprandial post-ingesta de raíz fresca de yacón en sujetos sanos Lima, Ciencia e Investigacion Medica Estudiantil Latinoamericana-CIMEL. 2004; 9(1):7-11.
80. Kawashima S, Sakato M, Terada S, Koide Y, Tanaka M, Ko M. Antidiabetic agents containing sesquiterpene lactones. Jpn. Kokai Tokkyo Koho, Patent N° JP 2001247461. 2001; 7 pp.
81. Pedreschi R, Campos D, Noratto G, Chirinos R and Cisneros-Zevallos L.. Andean Yacon Root (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. Endl) Fructooligosaccharides as a Potential Novel Source of Prebiotics. *J. Agric. Food Chem.* 2003, 51, 5278-84.
82. Kamezaki S, Kurozawa Y, Kotani K, Itakura K, Kagawa E, Ayaki Y. Effects of intake of the butter roll containing dried powder of *Smallanthus sonchifolius* (yacón) roots on the defecation frequency in healthy young women. Journal of the Yonago Medical Association 2006; 57(4): 162-168.
83. Foy E. *Smallanthus sonchifolius* (Llacón o yacón) en el tratamiento de hiperlipoproteínemias e hipercolesterolemias inducidas en ratas albinas. Rev. Fac. Med. Hum.-UNMSM. 2005; 5 (1.): 27-31.

84. Genta S, Cabrera W, Grau A and Sánchez S. Subchronic 4-month oral toxicity study of dried *Smallanthus sonchifolius* (yacón) roots as a diet supplement in rats. *Food and Chemical Toxicology*. 2005; 43(11):1657-65.
85. Genta S, Cabrera W, Habib N, Pons J, Manrique I, Carillo c, Grau A, Sanchez S. Yacón syrup: Beneficial effects on obesity and insulin resistance in humans. *Clinical Nutrition* 28 (2009) 182–87.
86. Berthon JY, Leclere J. Use of ferulic acid in the cosmetic and/or pharmaceutical compositions as lipolytic agents. French, Patent N° A1 20080425 .2008
87. Matsuura K, Hirata Y, Sawada I, Imai S, Fukaya Y, Sakuragi T. Ito E. Lipase inhibitors from yacón (*Polymnia sonchifolia*). *Jpn. Kokai Tokkyo Koho*, Patent N° JP2001299272. 2001; 3 pp.
88. Valentova K, Sersen F, Ulrichova J. Radical Scavenging and Anti-Lipoperoxidative Activities of *Smallanthus sonchifolius* Leaf Extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2005; 53(14):5577-82.
89. Terada S, Ito K, Yoshimura A, et al. The constituents relate to anti-oxidative and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activities in yacón aerial part extract. *Tokio, Yakugaku Zasshi* 2006; 126(8): 665 – 69.
90. Park JS, Hwang SY, Hwang BY, Han K. The spermatogenic effect of 50% ethanol extracts of Yacón and its ameliorative effect against 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin induced testicular toxicity in the rat. *Natural Product Sciences The Korean Society of Pharmacognosy* 2008; 14(2):73-80.
91. Osumi, K, Mizutani E. Testosterone 5  $\alpha$  - reductase inhibitor [machine translation]. *Jpn. Kokai Tokkyo Koho*, Patent N° JP 2006273755. 2006; 10pp.
92. Fernández M, Limas C, Rossi M, et al. Cytotoxicity of subfractions and compounds from *Polymnia Sonchifolius*. *Brazilian Journal of Microbiology* 2005; 36(4):338 – 41.
93. Olaciregui PD, Yshikawa KD, Padilla FJ, Mondoñedo CC, Román AJ, Moya CR, et al. Evaluación de la toxicidad subcrónica del extracto acuoso de las hojas de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) administrado por vía oral en ratas. *Horizonte Médico* 2009; 9(1):40-4.
94. Rivera D, Manrique I. Zumo de yacón - Ficha técnica. Lima: Centro Internacional de la Papa [Base de datos en internet]. (CIP); Abril 2005 [fecha de acceso 16 de Diciembre de 2009] Disponible en: [http://www.cipotato.org/artc/cip\\_crops/fichazumoyacon.pdf](http://www.cipotato.org/artc/cip_crops/fichazumoyacon.pdf).
95. Manrique I, Parraga A, Hermann M. Jarabe de yacón. Principios y procesamiento. Lima: Centro Internacional de la Papa – CIP; Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion; 2005 [fecha de acceso 16 de Diciembre de 2009] Disponible en: [http://www.cipotato.org/artc/cip\\_crops/1919-Jarabe\\_Yacon.pdf](http://www.cipotato.org/artc/cip_crops/1919-Jarabe_Yacon.pdf).
96. Chaquilla QG. Obtención de jarabe a partir de yacón (*Polymnia sonchifolius*) [Tesis]. Puno: Facultad de Ciencias Agrarias. Carrera Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional del Altiplano; 1997. P. 104-5.



97. Kamada T, Nakajima M, Nabetani H and Iwamoto S. Pilot-scale Study of the purification and concentration of non-digestible Saccharides from yacón rootstock using membrane Technology *Food Sci. Technol. Res.* 2002; **8** (2): 172–177.
98. Norma técnica peruana (NTP) 011.352. Indecopi 2010.
99. Watanabe H. Yacón soybean milk drink. Jpn. Kokai Tokkyo Koho, Patent N° JP2002101859. 2002; 4 pp.
100. Butler G and Rivera D. Innovations in peeling technology for yacón [Base de datos en internet]. Lima: Centro Internacional de la Papa; Diciembre 16 2004 [fecha de acceso 16 de Diciembre de 2009] Disponible en: [http://cipotato.org/artc/cip\\_crops/2004-1127.pdf](http://cipotato.org/artc/cip_crops/2004-1127.pdf).
101. Maldonado S, Santapaola J, Singh J, et al. Cinética de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *Ciênc. Tecnol. Aliment. Campinas*, 2008;8(1):251-56.
102. Cancino Chávez, K. Influencia del zumo concentrado en la deshidratación osmótica del yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) [Tesis]. Lima: Facultad de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina; 2003.p 92.
103. Cabello C. Extração e pré-tratamento químico de frutanos de yacón, *Polymnia sonchifolia*. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 2005; 25(2):202 – 207.
104. Naturprodukt CZ Spol. S.R.O., Praha-Vychod. Nutritional supplement based on Silymarin. Ger. Offen, Patent N° 102004054133. 2005; 6 pp.
105. Kim YS. Production of yacón jam by heating yacon, followed by mixing with aloe vera, oligosaccharide and sugar. Repub. Korean Kongkae Taeho Kongbo, Patent N° KR 2004107611. 2004.
106. Kaneko T. Processed food made from yacón tuber as main raw material and method for producing the same/Food product prepared from yacón tuber, and its preparation method. Jpn. Kokai Tokkyo Koho, Patent N° JP2001252038. 2001; 5 pp.134
107. Boon C. Making yacón candy. [Base de datos en internet] Lima: International Potato Center; Diciembre 26 2003. [fecha de acceso 16 de Diciembre de 2009] Disponible en: [http://cipotato.org/artc/cip\\_crops/making\\_yacon\\_candy.pdf](http://cipotato.org/artc/cip_crops/making_yacon_candy.pdf),
108. Pinto L, Rosales Y. Comparación de dos métodos tecnológicos para obtención de miel de Yacón(*Smallanthus Sonchifolius*) utilizando un concentrador a presión a vacío y una marmita a presión atmosférica. [Tesis]. Lima: Curso evaluación de proyecto, Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2005.
109. Maldonado S e Singh JC. Efecto de gelificantes en la formulación de dulce de yacón. *Ciênc. Tecnol. Alimen.* 2007; 28(2):429 – 434.
110. Severo RC, De Oliveira R, Bordin V, Gressler C, Bordín VV. Elaboração de bolo com farinha de yacón. *Ciência Rural* 2009;39(6):1869-72
111. Moscatto, JA, Prudencio-Ferreira, SH. Oliveira HM. Farinha de yacón e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate. *Ciênc. Tecnol. Alimen.* 2004; 24(4): 634-640.

112. Noh JS. Method for manufacturing fermented yacón liquor by using tuberous root of yacón, which has plentiful nutrients and flavor of yacón and minimized browning reaction. Repub. Korea, Patent N° B1 20070712. 2007.
113. Liu M, Li E, Zhang X, Gao J. A fruit wine prepared from yacón (*Smallanthus sonchifolius*), and its preparation method. Faming Zhuanli Shenqing Gongkai Shuomingshu, Patent N° CN 101020873. 2007; 5pp.
114. Miyama K, Watanabe T, Hamada T. Development of yacón vinegar. Food Technol. Div. Industrial Technology Center of Tochigi Prefecture, Japan. Kenkyu Hokoku - Tochigi-ken Sangyo Gijutsu Senta 2004; 2, 50-51.
115. Saeki A, Watanabe Y, Watanabe H. Yacón (*Smallanthus sonchifolius*) health vinegar. Jpn. Kokai Tokkyo Koho, Patent JP 2005027535. 2005; 8 pp.
116. Hondo M, Okumura Y, Yamaki T. A preparation method of yacón vinegar containing natural fructooligosaccharides. Hokkaido Food Process. Res. Cent., 589-4, Bunkyo-dai Midori-machi, Ebetsu City, Hokkaido, Japan. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi 2000; 47(10):803-807.
117. Kuroi T. Manufacture of yacón (*Smallanthus sonchifolius*) pickles by using ascorbic acid as antioxidant. Jpn. Kokai Tokkyo Koho, Patent N° JP 2005-362480. 2007; 13pp.
118. Noratto DG. Producción de inulinasa (2,1-β-D-fructan fructanohidrolasa) a partir de cepas nativas aisladas de yacón (*Polymnia sonchifolius* Poepp. Endl.) y de *Kluyveromyces marxianus* NRRL Y-8281 [Tesis]. Lima: Escuela de Post Grado Especialidad Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional Agraria La Molina; 1999.
119. García GA. Producción de jarabe de fructosa del yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl) por fermentación con una cepa nativa (*Bacillus* sp.) [Tesis]. Lima: Facultad de Farmacia y Bioquímica. Unidad de Post Grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2000. p. 69
120. Quiroga M, Ebber S, Echazú R.; et al. Curvas de secado experimentales de hojas de yacón. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 2007; 11. 53-58
121. Takenaka M. Dynamics of polyphenols during production processing of dried yacón (*Smallanthus sonchifolius*) leaves and yacón noodles. National Agriculture and Food Research Organization, Japan. New Food Industry 2007; 49(5):17-23.
122. Tomono N, Tanaka K. Cosmetic composition /Cosmetic composition containing extract of *Smallanthus sonchifolia* and/or Citrus Junos. Jpn. Kokai Tokkyo Koho, Patent N° JP2002068953. 2002; 27 pp.
123. Han K, Park J, Sook S, Dong J, Tae Y. Pharmaceutical composition containing yacón or extract thereof for treating sterility or lowering of reproduction function without side effects. Rep. Korean Kongkae Taeho Kongbo, Patente N° KR 2007053429.2007.
124. Nunez GM. Evaluación de la exportación del yacón producido en el Perú, teniendo como destino el Japón. Anales Científicos 2002; 50:283 – 301

125. Quijada JI. Elaboración y comercialización de Jarabe de yacón [Tesis]. Lima: Facultad de Ciencias Administrativas y Recursos Humanos. Escuela Profesional de Administración, Universidad de San Martín de Porres; 2008.p. 96.
126. Acuña C, Osso J, Seco K, et al. Proyecto de Inversión: Elaboración y exportación de jarabe de yacón Andean [Tesis].Lima: Organics Products S.A.C. Universidad San Ignacio de Loyola; 2003.p. 159.
127. Maldonado S, Luna P, Martínez V. *et al.* Producción y comercialización de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en comunidades rurales del noroeste argentino. *Agroalim*, jun. 2008; 26:119-125.
128. Infante DP. La producción de yacón, usos, transformación agroindustrial, competitividad y exportaciones [Tesis]. Lima: Facultad de Ciencias Contables Económicas y Financieras. Escuela Profesional de Economía, Universidad de San Martín de Porres; 2003.
129. Colán Barrera O, Picón Castillo M. Proyecto de factibilidad para la producción y comercialización del yacón [Tesis]. Lima: Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Ricardo Palma; 2002.
130. Alfaro D, Mendoza K, Sanchez D, et al. Proyecto de Inversión: Néctares de yacón puro y yacón con piña "Yamix: Cultivos Andinos S.A.C. [Tesis]. Lima: Curso evaluación de proyecto, Universidad San Ignacio de Loyola; 2005.
131. Huamaní EB, Díaz O, Patiño H, Cárdenas A, Rubini A. El yacón: propuestas estratégicas [Tesis Maestría]. Lima: CENTRUM, Universidad Pontificia Católica del Perú; 2006. p. 123, 136
132. Gambetta F, Lizarraga J, Obando M. Mermelada de yacón Agrotech [Tesis].Lima:. Curso Evaluación de Proyecto, Universidad San Ignacio de Loyola; 2004. p. 149.