

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“EXTRACCION DE INULINA A PARTIR DEL YACON”**

**Por:**

**Univ. Gimena Mogro Velásquez**

**Modalidad de graduación Proyecto de grado, Modalidad “Investigación  
Aplicada”**

**Presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN  
MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de  
Licenciatura en Ingeniería Química**

**Febrero de 2014**

**TARIJA-BOLIVIA**

VºBº

\_\_\_\_\_  
Nombre del Decano (a)  
DECANO (a)

\_\_\_\_\_  
Nombre del Vicedeano(a)  
VIDECANO (a)

**APROBADA POR:**

**TRIBUNAL:**

\_\_\_\_\_  
NOMBRE COMPLETO TRIBUNAL 1

\_\_\_\_\_  
NOMBRE COMPLETO TRIBUNAL 2

\_\_\_\_\_  
NOMBRE COMPLETO TRIBUNAL 3

*El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.*

### ***Dedicatoria:***

*Mi trabajo de tesis se lo dedico: A ti Papito, que tienes algo de Dios por la inmensidad de tu amor y mucho de ángel por ser mi guarda y por tus incansables cuidados.*

*Porque si hay alguien que está detrás de todo este trabajo, eres tú mi Negrito, que has sido, eres y serás el pilar de mi vida.*

*A ti Mamita, por tu incondicional apoyo, tanto al inicio como al final de mi carrera; por estar pendiente de mí a cada momento.*

*Gracias mami, por ser ejemplo de arduo trabajo y tenaz lucha en la vida.*

*A ti hermanito, por el incondicional abrazo que me motiva y recuerda que detrás de cada detalle existe el suficiente alivio para empezar nuevas búsquedas.*

*A ti tío Omar, porque siempre estas pendiente de mí, y valoro mucho tu apoyo y cariño.*

# ÍNDICE

	<b>Página</b>
Advertencia .....	i
Resumen .....	ii

## INTRODUCCIÓN

Antecedentes .....	1
Objetivos .....	4
Objetivo General .....	4
Objetivos Específicos .....	4
Justificación .....	4

## CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

1.1 El yacón .....	6
1.2 Origen .....	7
1.3 Taxonomía .....	8
1.4 Descripción botánica .....	9
1.4.1 La raíz .....	10
1.4.2 La cepa o corona .....	10
1.4.3 El tallo .....	11
1.4.4 La hoja .....	12
1.4.5 La inflorescencia .....	13
1.5 Nombres comunes .....	13
1.6 Distribución geográfica .....	14
1.6.1 El cultivo del yacón en Tarija .....	15
1.7 Composición química del yacón .....	16
1.7.1 Inulina y Fructooligosacaridos .....	18
1.7.2 El pardeamiento enzimático .....	20
1.7.3 Consumo y usos del yacón .....	21
1.8 La Inulina .....	22
1.8.1 Aplicaciones .....	25
1.8.1.1 Usos industriales .....	25
1.8.1.2 Usos alimentarios .....	25
1.8.1.3 Usos médicos y terapéuticos .....	25
1.9 Método de extracción .....	26
1.9.1 Hidrólisis ácida .....	26
1.10 Técnica de elaboración de la miel de yacón .....	27
1.10.1 Selección de materia prima .....	28
1.10.2 Lavado y desinfección de la materia prima .....	28
1.10.3 Pelado de las raíces .....	28
1.10.4 Extracción del zumo .....	28
1.10.5 Control del pardeamiento .....	29
1.10.6 Filtración del zumo .....	29

1.10.7 Concentración del zumo .....	30
1.10.8 Envasado .....	30
1.11 Características de la miel de yacón .....	31
1.12 Características de los reactivos utilizados.....	32
1.12.1 El ácido ascórbico .....	32
1.12.2 El ácido cítrico .....	32
1.13 Características de los análisis de control.....	33
1.13.1 Análisis fisicoquímicos .....	33
1.13.2 Análisis microbiológico .....	34
1.13.3 Análisis sensorial .....	35
1.14 Diseño experimental .....	35
1.14.1 Diseño factorial .....	35

## **CAPITULO II**

### **PARTE EXPERIMENTAL**

2.1 Generalidades.....	36
2.2 Descripción de equipos, materiales, materia prima y reactivos .....	36
2.2.1 Equipos.....	36
2.2.1.1 Evaporador rotativo.....	36
2.2.1.2 Bomba de vacío.....	38
2.2.1.3 Balanza analítica electrónica.....	39
2.2.1.4 Medidor de pH digital .....	40
2.2.1.5 Refractómetro digital .....	41
2.2.1.6 Extractor de zumo .....	42
2.2.2 Materiales .....	42
2.2.3 Materia prima y reactivos .....	43
2.3 Descripción de la elaboración de la miel de yacón.....	44
2.3.1 Adquisición de materia prima.....	45
2.3.2 Clasificación.....	46
2.3.3 Lavado.....	46
2.3.4 Secado .....	47
2.3.5 Pelado .....	47
2.3.6 Troceado.....	48
2.3.7 Extracción.....	48
2.3.8 Filtración .....	49
2.3.9 Inactiva de enzimas .....	49
2.3.10 Concentración .....	50
2.3.11 Envasado .....	51
2.3.12 Almacenado.....	51
2.4 Diseño factorial .....	51
2.5 Procedimiento y técnicas utilizados para la obtención de los resultados .....	53
2.5.1 Análisis de propiedades de la materia prima .....	53
2.5.1.1 Análisis de propiedades físicas de la materia prima.....	54
2.5.1.2 Análisis de propiedades fisicoquímicas de la materia prima.....	54
2.5.1.3 Análisis de propiedades microbiológicos de la materia prima.....	55

2.5.2	Análisis de propiedades del producto obtenido.....	55
2.5.2.1	Análisis de propiedades físicas del producto.....	55
2.5.2.2	Análisis de propiedades fisicoquímicas del producto.....	55
2.5.2.3	Análisis de propiedades microbiológicos del producto.....	56
2.6	Control de calidad del producto obtenido.....	56

### **CAPITULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

3.1	Análisis y discusión de resultados para las propiedades de la materia prima.....	58
3.1.1	Propiedades físicas de la materia prima.....	58
3.1.2	Propiedades fisicoquímicas de la materia prima.....	60
3.1.3	Propiedades microbiológicas de la materia prima.....	64
3.2	Análisis y discusión de resultados para las propiedades del producto.....	64
3.2.1	Propiedades físicas del producto.....	64
3.2.2	Propiedades fisicoquímicas del producto.....	65
3.2.3	Propiedades microbiológicas del producto.....	66
3.2.4	Propiedades sensoriales del producto.....	67
3.2.4.1	Conformación del panel de degustación.....	67
3.3	Balance de materia y energía.....	69
3.3.1	Balance de materia en el proceso de pelado.....	70
3.3.2	Balance de materia en el proceso de extracción.....	72
3.3.3	Balance de materia en el proceso de evaporación.....	75
3.3.4	Rendimiento de la miel de yacón.....	78
3.3.5	Balance de energía en el concentrador a vacío.....	79

### **CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1	Conclusiones.....	81
4.2	Recomendaciones.....	83
	Bibliografía.....	85

### **ÍNDICE DE FIGURAS**

Fig. 1-1	Planta entera de yacón.....	6
Fig. 1-2	Planta de yacón.....	9
Fig. 1-3	Raíces reservantes del yacón.....	10
Fig. 1-4	Cepa o corona de yacón.....	11
Fig. 1-5	Tallo del yacón.....	12

Fig. 1-6 Hojas del yacón .....	12
Fig. 1-7 Inflorescencia del yacón.....	13
Fig. 1-8 Estructura de los fructanos .....	18
Fig. 1-9 Diferencia entre los FOS y la Inulina.....	19
Fig. 1-10 Productos elaborados en base de yacón .....	22
Fig. 1-11 Diagrama de flujo de la "Elaboración de miel de yacón" .....	27
Fig. 2-1 Evaporador rotativo laborota-4000 .....	37
Fig. 2-2 Bomba de vacío .....	38
Fig. 2-3 Balanza analítica.....	39
Fig. 2-4 pH-metro digital .....	40
Fig. 2-5 Refractómetro.....	41
Fig. 2-6 Extractor .....	42
Fig. 2-7 Materia prima y reactivos.....	44
Fig. 2-8 Diagrama de flujo de la "Elaboración de miel de yacón".....	45
Fig. 2-9 Defectos encontrados en la materia prima .....	46
Fig. 2-10 Lavado del yacón.....	47
Fig. 2-11 Secado de la materia prima .....	47
Fig. 2-12 Pelado manual del yacón.....	48
Fig. 2-13 Troceado de la raíz palada.....	48
Fig. 2-14 Extracción y filtración del zumo de yacón.....	49
Fig. 2-15 Jugo de yacón con los ácidos .....	50
Fig. 2-16 Concentración del zumo de yacón .....	50
Fig. 2-17 Miel de yacón .....	51
Fig. 2-18 Evaluación sensorial del producto .....	56
Fig. 3-1 Porcentaje de cáscara de pulpa del yacón .....	59
Fig. 3-2 Composición proximal del yacón fresco.....	61
Fig. 3-3 Azúcares presentes en el yacón .....	63
Fig. 3-4 Diagrama para el proceso de pelado del yacón Muestra 1. ....	70
Fig. 3-5 Diagrama para el proceso de pelado del yacón Muestra 2 .....	70
Fig. 3-6 Diagrama para el proceso de pelado del yacón Muestra 3. ....	71
Fig. 3-7 Diagrama para el proceso de pelado del yacón Muestra 4. ....	72
Fig. 3-8 Diagrama para el proceso de extracción del jugo de yacón Muestra 1....	73
Fig. 3-9 Diagrama para el proceso de extracción del jugo de yacón Muestra 2....	73
Fig. 3-10 Diagrama para el proceso de extracción del jugo de yacón Muestra 3 .....	74
Fig. 3-11 Diagrama para el proceso de extracción del jugo de yacón Muestra 4. ....	75
Fig. 3-12 Diagrama para el proceso de evaporación del jugo de yacón Muestra 1. ....	75
Fig. 3-13 Diagrama para el proceso de evaporación del jugo de yacón Muestra 2 ....	76
Fig. 3-14 Diagrama para el proceso de evaporación del jugo de yacón Muestra 3 ....	77
Fig. 3-15 Diagrama para el proceso de evaporación del jugo de yacón Muestra 4 ....	77

## INDICE DE TABLAS

Tabla I-1 Instituciones que participan en la producción de yacón .....	3
Tabla I-2 Taxonomía del yacón .....	8
Tabla I-3 Algunas zonas productoras de yacón en Tarija .....	16
Tabla I-4 Composición por 1000 g de porción comestible (fresca) .....	17
Tabla I-5 Algunas de las plantas que contienen cantidades significativas de inulina... ..	24
Tabla I-6 Límites microbiológicos permitidos para las levaduras y hortalizas.....	34
Tabla I-7 Límites microbiológicos permitidos para la miel .....	34
Tabla II-1 Materiales utilizados en el trabajo de investigación.....	43
Tabla II-2 Niveles de las variables la elaboración de la miel de yacón.....	52
Tabla III-1 Resultado del tamaño, en función al largo y el diámetro de yacón de primera y segunda categoría.....	58
Tabla III-2 Resultado de la porción comestible y su cantidad de cascara en el yacón .....	59
Tabla III-3 Resultados de las propiedades físicas del jugo de yacón .....	60
Tabla III-4 Análisis proximal de yacón para 100 g. de muestra.....	61
Tabla III-5 Análisis fisicoquímico de raíces de yacón del Perú .....	61
Tabla III-6 Resultados de azúcares totales y reductores presentes en el yacón .....	62
Tabla III-7 °Brix del jugo de yacón .....	63
Tabla III-8 pH del jugo de yacón .....	63
Tabla III-9 Comparación de resultados microbiológicos del yacón.....	64
Tabla III-10 Propiedades físicas de la miel de yacón .....	65
Tabla III-11 Análisis global de la miel de yacón.....	65
Tabla III-12 Composición química de miel de yacón del Perú.....	66
Tabla III-13 Comparación de resultados microbiológicos de la miel de yacón.....	67
Tabla III-14 Promedio de la calificación de jueces para las muestras de miel de yacón .....	69
Tabla III-15 Resumen de los resultados del balance de materia .....	78
Tabla III-16 Resultados de la miel de yacón y su rendimiento .....	79

## ANEXOS

ANEXO A	Propiedades físicas de la materia prima
ANEXO B	Propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la materia prima
ANEXO C	Propiedades físicas del producto
ANEXO D	Propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del producto
ANEXO E	Ficha utilizada para el análisis sensorial
ANEXO F	Ecuaciones para balances de materia y energía

## RESUMEN

El presente trabajo de "obtención jarabe de yacón" fue desarrollado en la ciudad de Tarija, en los laboratorios de Operaciones Unitarias y Taller de Alimentos, de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. La materia prima fue adquirida de manera directa de la localidad de Erquis Sur; los ácidos cítrico y ascórbico fueron obtenidos de la "Distribuidora del Sur"; la variedad del yacón que se utilizó fue la variedad anaranjada con tamaños de primera y segunda categoría.

El proceso de elaboración de miel de yacón se realizó a nivel experimental, extrayendo primeramente el zumo del yacón, filtrado para después concentrarlo a los °Brix requeridos, de 70.0 a 74.0, utilizando un evaporado a vacío. Se tomó en cuenta para todos los procesos, que las reacciones de pardeamiento y precipitación no alteren la calidad del producto.

La variedad de yacón que se utilizó dio resultados satisfactorios en cuanto a sus propiedades físicas como fisicoquímicas. Entre las características físicas se tiene un rendimiento de 85,3% como mínimo y un 86,7% como máximo en porcentaje de la parte comestible (pulpa). Dentro de las propiedades fisicoquímicas se concentró el zumo de 11.0 a 14.8 °Brix aproximadamente hasta los 70.0 a 74 °Brix, utilizando ácidos para evitar el pardeamiento y mantener el pH superior a 4.00.

Los resultados del análisis microbiológicos tanto para la materia prima como también para el producto nos muestran que se encuentran dentro de los límites permisibles; para la materia prima de 3 a 4 ufc./g. en mohos y levaduras, 4 a  $7 \times 10^1$  NMP/g. en coliformes totales y 0 NMP/g. en fecales. Para la miel 0 NMP/g. para coliformes totales y fecales.

La evaluación sensorial de nuestros productos se realizó con la participación de jueces seleccionados. De las doce muestras diferentes se obtuvieron datos con respecto al color, olor y sabor mediante un modelo de test en el cual los jueces expresaron sus valoraciones; posteriormente se seleccionó las muestras de mejor preferencia utilizando un modelo de análisis llamado escala hedónica. Los resultados indican la aceptación por la muestra 2 con un 73%.

## INTRODUCCION

### ANTECEDENTES

Hasta hace poco, el yacón era prácticamente desconocido fuera del ámbito andino. Ahora se lo puede encontrar en forma fresca o procesada en diversos supermercados y centros de abasto de Lima Perú y de otras ciudades. Es consumido a lo largo de los Andes, en Ecuador se consume durante la fiesta de Todos los Santos y en el Día de los Muertos (noviembre). Ello evidencia que no ha perdido la connotación mágico-religiosa que tenía durante el Incanato. Restos de yacón han sido encontrados en tumbas preincaicas de Salta, Argentina (1-1000 años d.C) y en cerámicas y textiles de la cultura Nazca, al sur del Perú (500-1200 d.C).

El primer registro escrito del yacón data de 1615, cuando el cronista mestizo Guamán Poma de Ayala lo incluyó en una lista de 55 cultivos nativos de los Andes. En 1653, el sacerdote y cronista español Bernabé Cobo se refirió al yacón como "una fruta agradable que se consume fresca, y con capacidad de resistir la exposición al sol varios días después de la cosecha, tornándose, por el contrario, de sabor más agradable".

De acuerdo con la evidencia científica, existen importantes experiencias con su sembrío en otras partes del mundo. Por ejemplo, antes de la II Guerra Mundial, el agrónomo italiano Mario Calvino sembró yacón procedente de la República Dominicana en el norte de Italia. En sus reportes indicó que servía como cultivo forrajero con altas proteínas y con posibilidades de producir alcohol para combustible (Adrian Jean, 1990).

En la actualidad, en Nueva Zelanda se produce yacón en huertos familiares y los frutos son vendidos en los supermercados como "tubérculos especiales". Se estima que el yacón llegó a ese país hace aproximadamente 35 años y desde allí fue introducido al Japón en los años ochenta. En este país existe una Sociedad Japonesa del Yacón, formada por científicos, productores y consumidores que promueven el cultivo e impulsan la investigación. Los científicos japoneses han aportado muchos

conocimientos sobre el yacón, especialmente en lo que concierne a la agronomía del cultivo, su composición química y sus efectos sobre la salud, y en el desarrollo de productos procesados. También este tubérculo fue introducido recientemente a los mercados de agricultores y tiendas de comida natural (dietética) en los Estados Unidos.

El yacón (*Smallanthus sonchifolius*) es un tubérculo cultivado en los Andes del Perú por su *textura crujiente* y sabor dulce. La raíz está compuesta mayormente de agua y oligofructanos.

El yacón tiene el aspecto interno de una manzana, y se come crudo para aprovechar sus propiedades benéficas y su sabor dulce natural. Es uno de los once tubérculos y raíces andinas mantenidos en custodia en el banco genético que el Centro Internacional de la Papa (CIP), tiene en su sede central del distrito de La Molina, Lima, Perú (Adrián Jean, 1990).

En el área andina, el departamento de Cajamarca, situado a 560 km al noreste de Lima, lidera la producción de yacón. A diferencia de otros lugares, donde se cultiva para subsistencia o asociado a festividades religiosas, en la región andina se siembra con fines comerciales. Es vendido en los mercados locales con otras frutas multicolores y típicas de los Andes, como chirimoyas, paltas, piñas y lúcumas.

Hasta hace dos décadas, existían caseríos en Cajamarca cuyos habitantes vivían exclusivamente de la venta de este producto, que era llevado a lomo de bestia a mercados distantes cientos de kilómetros, como Trujillo. El Ing. Juan Seminario, de la Universidad Técnica de Cajamarca y un experto en este cultivo, afirma que algunos campesinos de Chapolán y Socchedón, poblados de la provincia de Contumazá, habían mejorado ostensiblemente su nivel de vida gracias a la venta de yacón. Sin embargo, la introducción de cultivos foráneos y la falta de mercados, hizo que los campesinos dejaran de sembrarlo.

El CIP, conjuntamente la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cuzco, la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (Oxapampa), la Universidad Agraria y

la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad de Cajamarca vienen realizando labores de conservación e investigaciones básicas y aplicadas de la especie, incluyendo el mantenimiento de bancos de germoplasma. La mayor diversidad de yacón se encuentra en el sureste peruano, en los valles del Cuzco y Puno, y también al norte, cerca de la frontera con Ecuador.

En Bolivia se cultiva en los departamentos de Tarija, Chuquisaca, Cochabamba y La Paz (Grau & Rea, 1997).

**Tabla I-1.- Instituciones que participan en la producción de yacón**

<b>País</b>	<b>Institución</b>	<b>Número de entradas</b>
<b>Ecuador</b>	INIAP	32
<b>Bolivia</b>	PROINPA	5
<b>Perú</b>	INIA	85
	CICA	46
	CRIBA	86
	CIP	47
	UNC	98
<b>TOTAL</b>		399

**Fuente:** Grau & Rea, 1997.

En el departamento de Tarija cuenta con la disponibilidad de la materia prima en diferentes localidades tales como Erquiz, el rincón de la Victoria y la zona de Canaletas rumbo a Entre Ríos.

A diferencia de otras raíces y tubérculos que almacenan sus carbohidratos en forma de almidón, el yacón los conserva principalmente en forma de oligofruktanos, que no son metabolizados por el organismo humano y que, por lo tanto, no aportan calorías al organismo, convirtiendo al cultivo en una fuente potencialmente importante para la industria de edulcorantes.

No sólo la raíz del yacón es buena, sus hojas poseen excelentes cualidades como la de bajar los niveles de azúcar convirtiéndolas en un excelente alternativa natural para los diabéticos. Las hojas del yacón se consumen en cápsulas o como infusiones.

## **1.2.- OBJETIVOS**

### **1.2.1.- OBJETIVO GENERAL**

- Extraer Inulina del yacón por hidrólisis ácida.

### **1.2.2.- OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- Caracterizar la calidad de la materia prima (propiedades fisicoquímicas).
- Determinar los parámetros para la obtención de la inulina.
- Determinar las variables del proceso de acuerdo a criterios tanto técnicos como económicos.
- Realizar la caracterización fisicoquímica del producto obtenido.

## **1.3.- JUSTIFICACION:**

Es lamentable observar cómo, durante la década del 90 y el inicio del nuevo milenio, se ha deteriorado progresivamente la salud pública en nuestro país y el mundo. La profunda crisis se evidencia en gran cantidad de pacientes con enfermedades prevenientes y enfermedades crónicas como la diabetes.

Este proyecto tiene como principal objetivo analizar e identificar cada uno de los componentes del yacón, con el fin de determinar su importancia en la prevención y control de la enfermedad.

En nuestro país son muy pocas las personas que han hecho investigaciones y que principalmente han tratado de sembrar cosechar y hacer estudios sobre el yacón (*smallanthussonchifolius*). Además, no se conocen investigaciones científicas en Bolivia tendientes a determinar el desarrollo, adaptación, valor nutricional y la composición de metabolitos secundarios de esta planta.

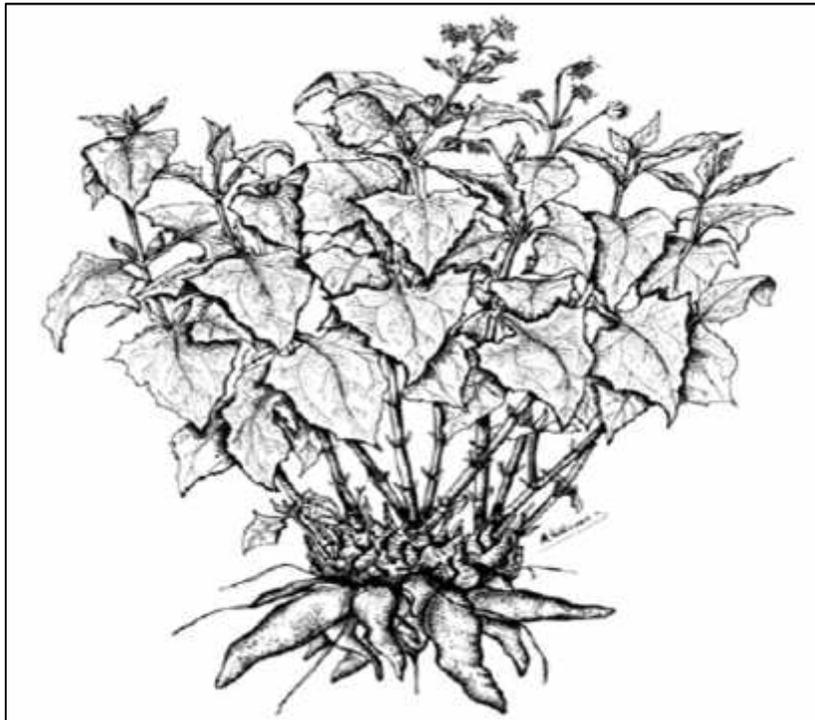
Para entender la finalidad y la importancia de conocer e investigar las bondades que brinda esta fruta para combatir la enfermedad de la diabetes. En este proyecto se describirá la manera que contribuyen los principales componentes del yacón como la inulina, porque esta ayuda a la estabilización o prevención de dicha enfermedad.

Se pretende realizar un trabajo de investigación con la finalidad de difundir el consumo de un tubérculo como el yacón (*SmallanthusSonchifolius*) ya que de este se puede obtener sus principios activos tales como la inulina que bien pueden reemplazar a la sacarosa en los azúcares que se consumen; y con esto se logrará beneficiar a la población de Tarija en general, previniendo, de esta manera, que puedan contraer la diabetes por el consumo de los azúcares que se desdoblan en el organismo del ser humano.

## 1.1.- EL YACÓN

Yacón (*Smallanthus Sonchifolius*) es el nombre con el que se conoce comúnmente a la planta y a su raíz (figura 1-1). A pesar de que el yacón es una raíz originaria de los Andes y es consumida desde la época preincaica, no ha llegado a tener la trascendencia de otros cultivos andinos como la papa o el camote. Su cultivo ha sido relegado por mucho tiempo para la subsistencia de los agricultores pobres, principalmente para el autoconsumo y la comercialización eventual en ferias campesinas rurales. Sin embargo, debido a que recién se comienzan a conocer sus efectos promisorios en la salud, desde hace un par de años el yacón ha llegado a los mercados de las ciudades y han comenzado a desarrollarse actividades comerciales en torno a su cultivo y a su procesamiento (Manrique et. al. 2005).

**Figura 1-1.- Planta entera de yacón**



**Fuente:** Seminario et. al., 2003

## **1.2.- ORIGEN**

El hábito de crecimiento del *Smallanthus* es bien adaptado para aprovecharse de huecos de vegetación. La estrategia de colonizar las áreas libres de la vegetación puede ser la razón porque se asociaron el yacón con los humanos en primer lugar (Grau & Rea, 1997).

De los bosques montañoses húmedos de Perú y Bolivia el yacón puede haberse extendido al norte y al sur a lo largo de las cuevas húmedas de los Andes, a los Valles Interandinos secos y a la costa Peruana. Está en los sitios arqueológicos costeros de Nazca Perú (500 – 1200 a.c), donde se han identificado las representaciones de morfotipos de yacón, pintado en material de cerámica y textiles. En la provincia de Salta Argentina, se han recuperado restos de raíces tuberosas del yacón en un sitio de la cultura llamada Candelaria, que se desarrolló entre 1 y 1000 d. c.

El primer registro escrito del yacón data de 1615, cuando el cronista mestizo Guamán Poma de Ayala lo incluyó en una lista de 55 cultivos nativos de los Andes.

En 1653, el sacerdote y cronista español Bernabé Cobo hizo una descripción más detallada, señalando que el yacón es una fruta que se consume fresca, y con capacidad de resistir la exposición al sol varios días después de la cosecha.

En el siglo 19 Weddell (1857) citó la atención a la calidad de raíces del yacón. Según Pérez Arbeláez (1956), el yacón se mostró por primera vez en países de Europa a principios del siglo; el interés europeo no era, sin embargo, muy significativo. En Italia hubo un esfuerzo serio del cultivo en los años 1930 y que se marchitaron durante la Segunda Guerra Mundial, Calvino 1894.

Afortunadamente un cambio drástico en el conocimiento internacional de la cosecha ocurrió durante los años ochenta particularmente después de la publicación de “Cosechas Perdidas de los Incas” (Concilio Nacional de Investigación, 1989), donde llamó el interés y atención de investigación del yacón en los países andinos.

A lo largo de las cuestas andinas orientales, desde las provincias de Apurímac en Perú al departamento de La Paz en Bolivia, es el área más rica de producción de yacón, donde por lo menos tres especies de *Smallanthus* existen, (*S. macroscyphus*, *S. riparius* y *S. siegesbeckius*). Probablemente estos lugares sean el “Centro del Origen de las especies (Grau & Rea, 1997).

### 1.3.- TAXONOMÍA

El yacón es una especie de la familia Asteraceae (llamada también Compositae) y su nombre científico es *Smallanthus Sonchifolius*. En la literatura científica para referirse al yacón, se ha usado también *Polimnia Sonchifolia* y *Polymniaedulis*. Sin embargo, Robinson (1978) determinó que muchas de las especies del género *Polymnia*, entre las cuales se encontraba el yacón, en realidad pertenecían al género *Smallanthus* (Seminario et al., 2003).

La taxonomía, de acuerdo a bibliografía del Herbario Universitario, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad “Juan Misael Saracho”, se muestra en la tabla I-2.

**Tabla I-2.- Taxonomía del yacón**

<b>Reino:</b>	Vegetal.
<b>Phylum:</b>	Telemophytae.
<b>División:</b>	Tracheophytae.
<b>Sub División:</b>	Anthophyta.
<b>Clase:</b>	Angiospermae.
<b>Sub Clase:</b>	Dicotyledoneae.
<b>Grado Evolutivo:</b>	Metachlamydeae.

<b>Grupo de Órdenes:</b>	Tetracíclicos.
<b>Orden:</b>	Campanulales.
<b>Familia</b>	Compositae.
<b>Nombre Científico:</b>	Polimnia edulisWedd.
<b>Nombre Común:</b>	Yacón.

**Fuente:** Herbario Universidad “Juan Misael Saracho”, 2008.

#### 1.4.- DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

La planta de yacón es herbácea perenne, mide de 1 a 2.5 m de alto (figura 1-2). Proviene de semilla, consta de un solo tallo principal, a veces ramificado desde la base, otras veces, sólo con ramas pequeñas en la parte superior. (Seminario et al., 2003).

**Figura 1-2.- Planta de Yacón**



**Fuente:** Seminario et al, 2003.

### **1.4.1.- LA RAÍZ**

El yacón tiene dos tipos de raíces: reservantes y fibrosas

Las raíces reservantes son engrosadas, fusiformes u ovadas, de color blanco, crema, o púrpura principalmente. Tienen una apariencia bastante semejante a las raíces reservantes del camote (figura 1-3).

Diferentes factores como la variedad, el tipo de suelo, la localidad, entre otros, pueden influenciar en la forma y el tamaño de las raíces. Su peso puede fluctuar fácilmente entre los 50 y 100 gramos, pero mayormente lo hacen entre los 300 y 600 gramos. Bajo un sistema de producción poco tecnificada una planta produce entre 2 y 4 kg de raíces reservantes (Seminario et al., 2003).

**Figura 1-3.- Raíces reservantes del yacón**



**Fuente:** Manrique et al., 2003

Las raíces fibrosas son muy delgadas y su función es la fijación de la planta al suelo y la absorción de agua y nutrientes. (Valderrama, 2005).

### **1.4.2.- LA CEPA O CORONA**

La cepa es un órgano subterráneo sobre el cual desarrollan abundantes yemas vegetativas (figura 1-4). Se forma por el engrosamiento de la parte del tallo que está

dentro de la tierra y que está unida a las raíces. Sus tejidos almacenan sustancias de reserva en forma de carbohidratos simples y fructooligosacaridos los cuales posiblemente sirven de alimento a las yemas cuando estas van a brotar. (Seminario et al., 2003).

**Figura 1-4.- Ceba o corona de yacón**



**Fuente:** Manrique et al., 2003.

De este órgano, se obtiene la “semilla” tradicional en forma de porciones de ceba que son los propágulos para la siembra; por esto se dice que la propagación del yacón es predominantemente vegetativa. (Valderrama, 2005).

### **1.4.3.- EL TALLO**

Son cilindros, algo huecos como cañas y con pilosidad (figura 1-5). Son de color verde o pigmentado de purpura. Su número varía de 4 a 12 según el cultivar. La planta puede presentar ramas desde la base del tallo o sólo en la parte superior. (Valderrama, 2005).

**Figura 1-5.- Tallo del yacón**



**Fuente:** Seminario et al., 2003

#### **1.4.4.- LA HOJA**

Son enteras y con peciolo, su borde es por lo general dentado; la lámina tiene forma triangular (como la punta de una flecha), truncada o acorazonada (figura 1-6). También presentan pilosidad en su superficie. Cada tallo produce de 13 a 16 pares de hojas antes de la floración y, conforme la planta se acerca a la cosecha, las hojas reducen su número y tamaño. Contienen compuestos con propiedades benéficas a la salud humana (Valderrama, 2005).

**Figura 1-6.- Hojas del yacón**



**Fuente:** Seminario et al., 2003.

### 1.4.5.- LA INFLORESCENCIA

El yacón presenta una inflorescencia llamada capítulo (figura 1-7), la cual está compuesta por dos tipos de flores: a) Las femeninas que se ubican alrededor del capítulo, son de color amarillo intenso o anaranjado pálido, están en un número de 12 a 16; b) Las masculinas o tubulares que están muy juntas, en mayor número y ocupan el centro del capítulo (Valderrama, 2005).

**Figura 1-7.-Inflorescencia del yacón**



**a)** Flor femenina, **b)** Flor masculina.

**Fuente:** Seminario et al., 2003.

### 1.5.-NOMBRES COMUNES

Algunos autores se refieren a esta planta con el nombre de “jiquima”, “jiquimilla”, “jicama” (en Colombia). En Bolivia se le conoce con el nombre de “aricoma” (de origen aymara). En el Perú y otros países se le conoce como “yacón” o “llacón” (de origen quechua, cuyo significado es “aguado-insípido” (Seminario et al., 2003).

## **1.6.- DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA**

León (1964) y Cárdenas (1989), basados en sus propias observaciones y en la de exploradores antiguos como Bukasov, indican que el yacón se encuentra en estado cultivado y silvestre desde Venezuela y Colombia, hasta el norte de Argentina.

En los últimos años, no se tiene ninguna información de su cultivo en los dos primeros países, pero sí se ha hecho más evidente su distribución y variabilidad en Argentina, Ecuador, Perú y Bolivia (Seminario et al., 2003).

En Argentina se cultiva escasamente en los Valles templados de las provincias de Salta y Jujuy, y el extremo sur de la Quebrada de Humahuaca (Zardini 1991).

En Ecuador, se ha colectado germoplasma en las provincias de Carchi, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar, Chimborazo, Cañar, Azuay y Loja. (Tapia et al. 1996).

En el Perú confirmamos su cultivo en el área alto andina de 18 departamentos (de un total de 24 que tiene el país): Piura, Cajamarca, Amazonas, Lambayeque, La Libertad, San Martín, Ancash, Huánuco, Lima, Pasco, Junín, Huancavelica, Ayacucho, Pasco, Apurímac, Arequipa, Cusco y Puno (Seminario et al., 2003)

En Bolivia se cultiva en los departamentos de Tarija, Chuquisaca, Cochabamba, La Paz y Potosí (Grau & Rea 1997).

En Bolivia la concentración más alta de hallazgos del yacón está sobre los 2.500m sobre el nivel del mar. Es desarrollado en los departamentos de La Paz (provincias de Camacho, Inquisivi, Larecaja, Loayza, Muñecas, Murillo, Nor Yungas, Saavedra, Sud Yungas), Cochabamba, Chuquisaca, Santa Cruz y Tarija (la Era, 1994). La situación actual (población, explotación y el comercio) sobre esta cosecha protegida es hecha en las provincias de Bilbao Rioja y de Charcas del departamento de Potosí. (Fernández et al., 2004).

En la década de los 60 el yacón salió por primera vez desde el Ecuador hacia Nueva Zelanda, país en el que se adaptó bien y donde hoy se siembra en pequeña escala para comercializar sus raíces frescas. En 1985 fue llevado desde Nueva Zelanda al Japón.

Tal vez este constituya el paso más importante de la migración del yacón por el mundo pues es en Japón donde se realizaron los primeros estudios científicos que permitieron determinar su composición química y sus efectos favorables sobre la salud. Japón ha sido el centro de dispersión del yacón hacia otros países como Corea y Brasil (Seminario et al., 2003).

### **1.6.1.- EL CULTIVO DEL YACON EN TARIJA**

Los investigadores, Grau & Rea (1997), fueron los primeros en mencionar la magnitud de los cultivos de yacón en el departamento de Tarija (en las zonas de León Cancha y Erquiz), catalogándolos como pequeños y medianos en escala.

En el departamento de Tarija el Yacón se ha venido cultivando en el área rural de una manera tradicional, habiéndose mantenido el material genético transferido de generación en generación almacenado en pequeños silos con humedad y temperatura controlada naturalmente, en los propios predios de cada uno de los agricultores.

La producción de yacón en el departamento de Tarija es totalmente natural, sin pesticidas ni fertilizantes químicos, el único fertilizante que se utiliza es el abono del estiércol de ganado. La época de siembra cubre desde el mes de Octubre hasta el mes de Diciembre, y en la mayoría de los casos los productores lo siembran para consumirlo y también para su venta en los diferentes mercados de nuestra ciudad. La cosecha del yacón comienza en el mes de Mayo hasta el mes de Julio.

Las variedades del yacón en nuestro departamento no están bien definidas, por la falta de investigaciones más extensivas, aunque se sabe de las variedades: amarilla y naranja en varias zonas y la variedad rosada en la localidad de Canaletas (Soto, 2008).

El período de cultivo se inicia el mes de septiembre y depende también del suelo y el período de lluvias, para concluir con la cosecha el mes de junio.

Las instituciones como la “Secretaria de Desarrollo Económico y Productivo” de la Prefectura, la “Intercomunal Diograsio Vides”, la “Federación Campesina de Tarija”,

y el “Consejo Regional de Abastecimiento y Mercadeo Agropecuario. (C.R.A.M.A)” del Mercado Campesino, demuestran que en nuestro departamento no se ha descuidado el cultivo de esta raíz. En la tabla I-3 se describe algunas zonas donde se cultiva el yacón, según datos de las instituciones anteriormente mencionadas.

**Tabla I-3.-Algunas zonas productoras de yacón en Tarija**

<b>Provincia</b>	<b>Municipios</b>	<b>Cantón</b>	<b>Localidad</b>
<b>Cercado</b>	Tarija	Lazareto	San Pedro de Sola
<b>Cercado</b>	Tarija	Lazareto	San Andrés
<b>Cercado</b>	Tarija	San mateo	San Mateo
<b>Cercado</b>	Tarija	San Agustín	Laderas Norte *
<b>Cercado</b>	Tarija	San Agustín	Cristalinas *
<b>Burnet O´conor</b>	Entre Ríos	Narváez	Canaletas Tranca *
<b>Burnet O´conor</b>	Entre Ríos	Narváez	Piedra Larga
<b>Burnet O´conor</b>	Entre Ríos	Salinas	Pampa Redonda
<b>Méndez</b>	San Lorenzo	Erquiz	Erquiz Ceibal *
<b>Méndez</b>	San Lorenzo	León Cancha	León Cancha
<b>Arce</b>	Padcaya	Camacho	La Huerta
<b>Avilez</b>	Uriondo	Chocloca	Ancón
<b>Avilez</b>	Uriondo	Chocloca	Papachacra

\*Cultivos en mayor cantidad, pero no sobrepasan las 1/4 hectárea.

**Fuente:** Secretaría de Desarrollo Económico y Productivo de la Prefectura de Tarija, Intercomunal Diograso Lavides, Federación Campesina Tarija”, y el G.R.A.M.A del Mercado Campesino, 2008.

## **1.7.- COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL YACÓN**

El yacón es una de las raíces reservantes comestibles con mayor contenido de agua. Según diversos autores, entre 83 y 90% del peso fresco de las raíces es agua. En términos generales, los carbohidratos representan alrededor del 90% del peso seco de

las raíces recién cosechadas, de los cuales entre 50 y 70% son fructooligosacáridos (FOS). El resto de carbohidratos lo conforma la sacarosa, fructosa y glucosa (Ohyama et al. 1990; Asami et al. 1991; Nieto 1991; Collazos et al. 1993; Hermann et al. 1999). Sin embargo, la composición relativa de los diferentes azúcares varía significativamente debido a diferentes factores como el cultivar, la época de siembra y cosecha, tiempo y temperatura en pos cosecha, entre otros. (Seminario et al, 2003).

**Tabla I-4.- Composición por 1000 g de porción comestible (fresca)**

<b>Variable</b>	<b>Promedio</b>	<b>Rango</b>
<b>Materia seca. (g)</b>	115	98 - 136
<b>Carbohidratos totales. (g)</b>	106	89 - 127
<b>Fructanos (g)</b>	62	31 - 89
<b>Glucosa libre (g)</b>	3,4	2,3 - 5,9
<b>Fructosa libre (g)</b>	8,5	3,9 - 21,1
<b>Sacarosa libre (g)</b>	14	10 - 19
<b>Proteína (g)</b>	3,7	2,7 - 4,9
<b>Fibra (g)</b>	3,6	3,1 - 4,1
<b>Lípidos (g)</b>	0,244	0,112 – 0,464
<b>Calcio (g)</b>	0,087	0,056 – 0,1
<b>Fósforo (g)</b>	0,24	0,182 – 0,309
<b>Potasio (g)</b>	2,282	1,843 – 2,946

**Fuente:** Hermann et al., 1999.

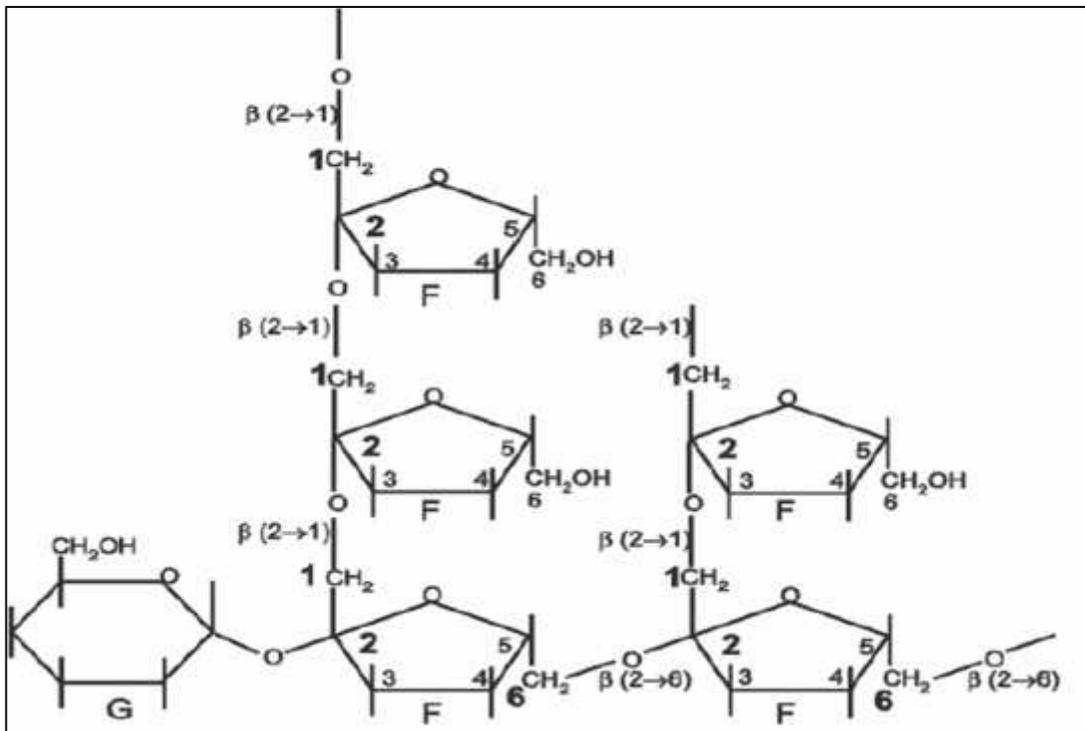
La aceptación de la raíz tuberosa del Yacón se explica entre otras razones, porque contiene **inulina y fructooligosacáridos**, que no son digeribles pero que benefician al consumidor porque promueven una estimulación selectiva del crecimiento y actividad de bacterias presentes en el colon, por lo que en este sentido el yacón puede tener un valor comercial apreciado. (Seminario et al., 2003).

### 1.7.1.-INULINA Y FRUCTOOLIGOSACÁRIDOS

Los fructooligosacáridos (FOS), conocidos como oligofruktanos u oligofruktosa, pertenecen a una clase particular de azúcares conocidos con el nombre de fructanos.

La estructura fundamental de los fructanos es un esqueleto de unidades de fructosa unidas entre sí por enlaces glucosídicos  $\beta(2 \rightarrow 1)$  y/o  $\beta(2 \rightarrow 6)$ . Es frecuente encontrar, adicionalmente, una molécula de glucosa al inicio de la cadena de cada fructano (Figura 1-8); existen diversos tipos de fructanos en la naturaleza, pero desde un punto de vista nutricional y de uso en la industria alimentaria se reconocen a los fructooligosacáridos (FOS) y a la inulina como los más importantes (Seminario et al., 2003).

**Figura 1-8.- Estructura de los fructanos**

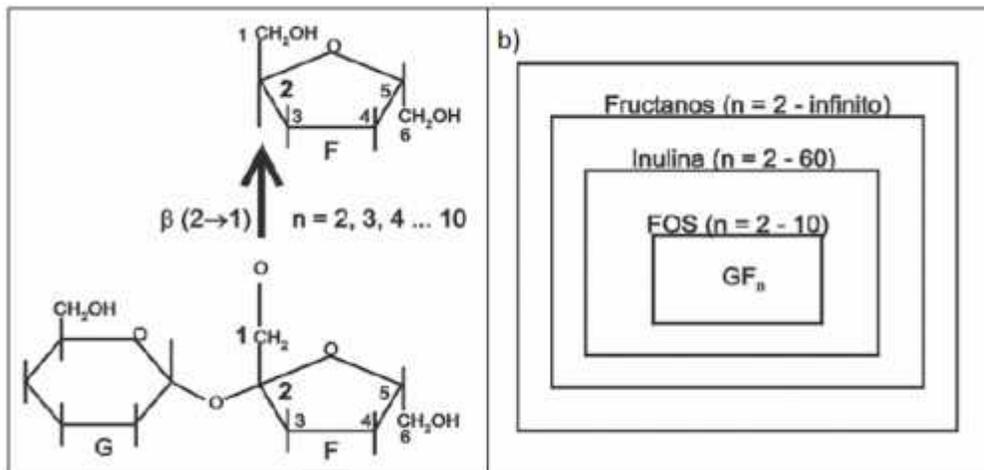


G= Moléculas de glucosa. F= moléculas de fructosa.

**Fuente:** Seminario et al., 2003.

La **Inulina y los FOS** no tienen una composición química definida ya que ambos son, en realidad, una mezcla de Fructanos de diferente tamaño. Debido a que las moléculas de fructosa se unen exclusivamente por enlaces  $\beta(2 \rightarrow 1)$ , estos fructanos adquieren una conformación espacial semejante a cadenas lineales. La diferencia entre los FOS y la Inulina radica en el número de moléculas de fructosa que tienen estas cadenas. En la Inulina, este número varía entre 2 y 60, mientras que en los FOS, que tienen cadenas más pequeñas, el número varía entre 2 y 10 (Figura 1-9. a). Esto significa que a los FOS se les puede considerar como un subgrupo de la Inulina (Figura 1-9.b). Por este motivo algunos autores prefieren emplear el término fructooligosacáridos del tipo de Inulina para referirse con mayor precisión a la naturaleza de los azúcares presentes en el yacón. (Goto et. al. 1995, Seminario et al, 2003).

**Figura 1-9.- Diferencia entre los FOS y la Inulina**



- a) Información de la composición química de los FOS: entre 2 a 10 moléculas de F (fructosa) unidas por enlaces  $\beta(2 \rightarrow 1)$ .
- b) La inulina y los FOS tienen su estructura sólo en los enlaces  $\beta(2 \rightarrow 1)$ , se diferencian únicamente en el número de moléculas de F dentro de sus cadenas. En la inulina puede haber hasta 60 de F, mientras que en los FOS sólo tienen como máximo 10.

**Fuente:** Seminario et al., 2003.

Existe una confusión de términos cuando se hace referencia al tipo de carbohidratos predominante en las raíces del yacón. En diversos tipos de literatura (periódicos,

revistas, Pág. Web, tesis, etc.) se menciona que las raíces de yacón contienen Inulina como componente principal. Sin embargo, esta información no es exacta, ya que estrictamente hablando, el yacón tiene sólo fructooligosacáridos.

La explicación para esta confusión se debe posiblemente al capítulo dedicado al yacón en el libro Cosechas Perdidas de los Incas (National Research Council, 1985). Este documento fue uno de los primeros que alcanzó prestigio y divulgación internacional al compilar muchos aspectos del yacón que estaban disgregados hasta ese momento.

En este documento se menciona que el yacón contiene Inulina y ello ha servido de base para citar lo mismo en muchos otros documentos que se han escrito después de esta publicación; posteriormente se señaló que el yacón tiene en realidad fructooligosacáridos (Ohyama et al., 1990). Sin embargo, la confusión persiste aún en la actualidad debido a que el texto de National Research Council (1989) es mucho más difundido que el artículo de Ohyama y otros que se han escrito después. (Seminario et al., 2003).

### **1.7.2.- EL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO**

El pardeamiento enzimático es un conjunto complejo de reacciones, que se inicia por las reacciones catalizadas de forma enzimática. En tejidos vegetales intactos las polifenoloxidasas y sus sustratos fenólicos permanecen en compartimientos separados, cloroplastos y vacuolas respectivamente, por lo que no tienen lugar ninguna reacción.

La desorganización de la integridad de las células sucede de forma natural durante procesos de senescencia, pero también como consecuencia de daños mecánicos, que provocan una ruptura celular y una puesta en contacto de polifenoloxidasas y fenoles dando lugar a reacciones de pardeamiento enzimático observadas en frutos maduros, tejidos dañados y/o procesados y también en tejidos afectados por fisiopatías (Fennema, 2000).

En el yacón el pardeamiento se activa a pocos segundos de haber triturado las raíces para obtener el zumo. El color original del jugo del yacón (color anaranjado) cambia rápidamente en sólo 10 a 15 segundos, y de modo irreversible, a un color verde muy oscuro (verde petróleo) (Manrique et al., 2005).

El pardeamiento enzimático se puede evitar impidiendo el contacto con el oxígeno y/o usando antioxidantes como el ácido cítrico o el ácido ascórbico.

Esto se hace sumergiendo en el agua y escaldando los productos para inactivar las polifenoloxidasas. La adición de ácidos (cítricos o ascórbico por ejemplo) que pueden actuar de varias formas; por un lado, gasta el oxígeno porque se oxida la vitamina C al ser reductor, eliminando el oxígeno del medio. Por otro lado, reacciona con las orto-quinonas y desplaza la reacción hacia la formación de orto-difenoles. Otras medidas para evitar el pardeamiento es la adición de sulfito ya que inhibe a la polifenoloxidasas (Fennema, 2000).

### **1.7.3.- CONSUMO Y USOS DEL YACÓN**

Las raíces del yacón se consumen crudas, son dulces y mejor si han sido soleadas un tiempo; también se pueden consumir horneadas y cocidas, el jugo de la raíz como bebida refrescante. Las hojas son comestibles y tienen un alto contenido de proteínas (Giannoni, 2008).

El yacón también puede ser procesado de diferentes maneras para obtener productos como: yacón deshidratado como “pasas”, chancaca, hojuelas secas, harina de yacón, jarabe, chips de yacón (hojuelas fritas), encurtidos de yacón y otros productos similares (Figura 1-10). Por sus beneficios medicinales también se elaboran té de yacón en saquitos utilizando sus hojas.

**Figura 1-10.-Productos elaborados en base de yacón**



**Fuente:** Manrique et al., 2003.

A su vez dichos productos son utilizados en la fabricación de otros alimentos; por ejemplo: los edulcorantes dietéticos y prebióticos que son un insumo con valor agregado para la industria del yogur y otro tipo de alimentos y bebidas funcionales.

También los pedazos deshidratados del yacón pueden ser utilizados en barras de cereales. Obteniendo la harina de yacón se puede elaborar pasteles o bizcochos, de igual manera el harina de yacón puede ser utilizada en bocados estrujados. (Collares, 2008).

El yacón también es utilizada como forrajera por su alto rendimiento y contenido proteico del follaje (León, 2000).

### **1.8.- La Inulina**

Los fructanos y principalmente la inulina, tienen en su estructura enlaces del tipo  $\beta(2 \rightarrow 1)$ , responsables de que los fructanos no sean digestibles como lo sería

cualquier carbohidrato típico, lo que a su vez tiene como consecuencia que tengan un bajo valor calórico y una funcionalidad nutricional como fibra dietética. (Niness et al., 1999).

A diferencia del almidón que es mayoritariamente insoluble, los fructanos son totalmente solubles. La inulina, por ejemplo, presenta una solubilidad en agua igual a 60 g/l a una temperatura de 10°C y de 330 g/l a 90°C., (Deis 2001).

Además, la inulina en su estado sólido puro suele presentar formas cristalinas (Suzuki y Chatterton, 1996), las cuales suelen ser higroscópicas y difíciles de mantener en forma liofilizada a no ser que se empleen atmósferas modificadas. (Deis, 2001; Yung, 2003).

Estos cristales pueden tener puntos de fusión que van de los 199°C a los 200°C cuando se trata de fructanos de bajo grado de polimerización. (Yung, 2003).

La solubilidad es también apreciable en etanol al 80% especialmente a una elevada temperatura de alrededor de 80°C (Hellwege et al. 2000). La capacidad de ser hidrosolubles otorga a los fructanos propiedades humectantes cuando se emplean como aditivos en la industria de alimentos, así como la capacidad de formar geles cremosos cuando se calientan en medios acuosos. (Pujato, 2002).

La viscosidad de las disoluciones de fructanos es generalmente más alta que las de los demás carbohidratos a la misma concentración y suelen ser de mayor estabilidad térmica. (Yung, 2003).

La inulina es un ingrediente alimenticio natural obtenido de la raíz de la achicoria, que también está presente en otros vegetales (Tabla I-5) como ajo, cebolla, alcachofa, trigo, yacón e incluso plátano. (Flickinger y Fahey, 2002).

La inulina ofrece beneficios tecnológicos y nutricionales, y fácilmente puede ser incorporada a una gran gama de productos. La inulina tiene un sabor neutro. Mejora la textura, sensación y estabilidad de una gran variedad de alimentos, como lácteos, productos horneados, cereales, productos cárnicos, entre otros. (Yung, 2003).

**Tabla I-5.-Algunas de las plantas que contienen cantidades significativas de Inulina.**

<b>PLANTA</b>	<b>INULINA (%)</b>
Diente de león	12-15
Achicoria	10-15
Ajo común	9-16
Yacón	3-19
Alcachofa	3-10
Puerro	3-10
Cebolla	2-6
Espárrago	2-3

**Fuente:** (Flickinger y Fahey, 2002).

En nuestro cuerpo, la inulina alimenta y estimula selectivamente nuestra propia flora intestinal, por ejemplo, el bifidus. Esto es lo que se llama efecto prebiótico. Tiene un impacto positivo en la resistencia natural de nuestro cuerpo. La inulina también contribuye a tener un tránsito intestinal regular y suave. Mejora la absorción en nuestro cuerpo de importantes nutrientes como calcio e incluso podría reducir el riesgo de cáncer intestinal. Al mantener un sistema digestivo saludable, la inulina mejora también la sensación de bienestar de la persona.

Un efecto prebiótico significa que se alimenta y estimula selectivamente la propia flora intestinal "buena", como el bifidus, mediante la ingesta de inulina en la dieta.

Numerosas investigaciones científicas y ensayos confirman que sólo se necesitan entre 5 y 8 gramos diarios de inulina para obtener efectos saludables beneficiosos.

## **1.8.1.- Aplicaciones**

### **1.8.1.1.-Usos industriales**

La inulina, tal como se obtiene de las plantas que la contienen, puede ser directamente convertida en etanol, por medio de una sacarificación y fermentación microbiológica simultánea. Esta técnica es la base para la obtención de las bebidas alcohólicas mezcal y tequila, pero también posee un enorme potencial para convertir residuos de cosecha de alta inulina en etanol para ser utilizado como combustible (Fernando Madroñal, 2012).

### **1.8.1.2.-Usos alimentarios**

La inulina se está utilizando de manera creciente en la elaboración de alimentos, debido a sus inusuales características nutricionales y, en especial, a sus propiedades como ingrediente alimentario téngase en cuenta que según la legislación europea, la inulina no es un aditivo alimentario. Propiedades que van desde un sabor moderadamente dulce en los miembros más sencillos de la familia, hasta los más complejos que pueden servir como sucedáneos de harinas; pasando por una enorme cantidad de compuestos de mediana complejidad sin sabor y con una textura y palatabilidad muy similar a la de las grasas. Además de estas propiedades, es interesante destacar que la metabolización de la inulina aporta 1,5 Kcal /g. Por todo ello, en numerosos productos, en especial lácteos y helados, la inulina se usa para reemplazar a las grasas (Fernando Madroñal, 2012)

### **1.8.1.3.- Usos médicos y terapéuticos**

Aunque en algunas circunstancias no resulta apropiada, la **inulina** se ha utilizado en la práctica clínica para medir el índice de filtración glomerular (o GFR por sus siglas en inglés). En esta técnica se basa en una de las muchas propiedades de la inulina, ya que al ser un compuesto inocuo, no degradable por las enzimas del organismo humano, que filtra casi completamente a nivel del glomérulo renal, y lo hace sin ser

reabsorbido ni excretado a nivel tubular. Usualmente se compara los resultados del GFR obtenidos con inulina con un análisis similar en el que se utiliza PAH (ácido para amino hipúrico), que es excretado totalmente a nivel tubular sin ser reabsorbido. Este análisis, si bien es largo y caro, brinda información esencial acerca del volumen sanguíneo que filtra el riñón por unidad de tiempo.

En cuanto a los potenciales usos terapéuticos, ya se ha indicado que favorece la absorción de calcio por lo que tiene virtual interés en el mantenimiento de la salud ósea.

Otras aplicaciones que se han propuesto es usarla, sola o en combinación con bacterias probióticas, en los tratamientos de la enfermedad inflamatoria intestinal, de la hipercolesterolemia o del estreñimiento.

Además la inulina puede ayudar a relevar mellitus de la diabetes cual es una condición de los niveles desequilibrados de la insulina dando por resultado niveles de azúcar de sangre malsanos. La inulina reduce la necesidad del cuerpo de producir su propia dependencia de la insulina para normalizar niveles (Fernando Madroñal, 2012).

## **1.9.- MÉTODO DE EXTRACCIÓN**

### **1.9.1.- Hidrólisis acida**

Este método comprende la hidrólisis del jugo del yacón para la separación de la fructosa como complejo cálcico insoluble ( $C_6H_{12}O_6 \cdot CaO$ ), liberación de la fructosa por acidificación del complejo con un ácido que forma una sal cálcica insoluble (ácido carbónico o fosfórico), separación de los cationes y aniones contaminantes por medio de resinas de intercambio de iones, concentración en vacío de la solución de fructuosa hasta formar un jarabe espeso. (Seminario et al., 2003).

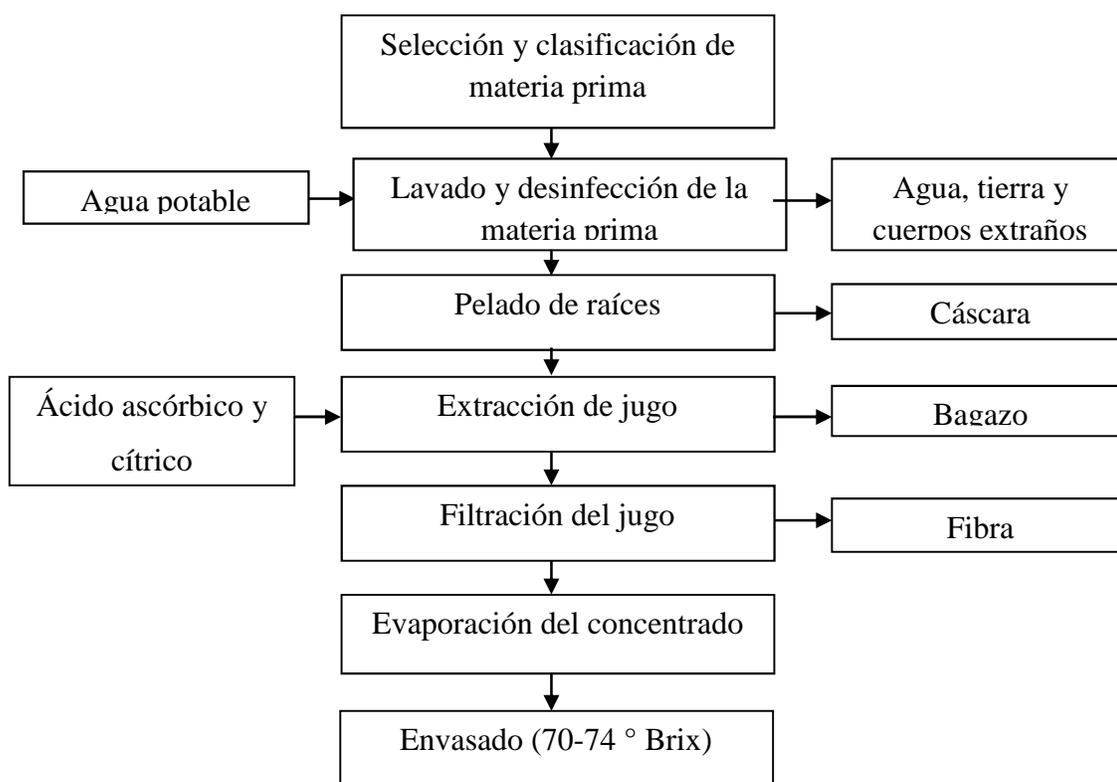
El jarabe de yacón es un concentrado denso y dulce que se obtiene al evaporar suficiente agua del jugo de yacón, de tal modo que la concentración de sólidos solubles (azúcar) se eleve hasta un valor aproximado de 70%. (Seminario et al., 2003).

Debido a que la miel de yacón contiene principalmente fructooligosacáridos del tipo inulina, su contenido calórico es menor al de otros edulcorantes similares, como el jarabe de maple, la miel de chancaca, la miel de abejas y la leche condensada. De este modo, la miel de yacón puede ser un sustituto hipocalórico de estos edulcorantes, con la ventaja adicional de ser un producto con propiedades nutracéuticas. (Seminario et al., 2003).

### 1.10.- TÉCNICA DE ELABORACIÓN DE LA MIEL DE YACÓN

La elaboración de la miel o jarabe de yacón se basa en el principio de evaporación; pero puede diferir en los procesos de control del pardeamiento enzimático en cuanto a la utilización de medios físicos (el vacío) y de medios químicos (los aditivos alimentarios). El diagrama de flujo general para la elaboración de la miel de yacón se muestra en la figura 1.11.

**Figura 1.11.-Diagrama de flujo de la “Elaboración de miel de yacón”**



**Fuente:** Manrique et al., 2005.

La descripción detallada de la elaboración de la miel de yacón es la siguiente:

#### **1.10.1.- SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA**

Durante la recepción de la materia prima se descartan las raíces con signos de pudrición o contaminación microbiana y otros con daños físicos considerables.

También las raíces deben clasificarse por su tamaño o peso para un mejor manejo y facilidad en los procesos posteriores. (Manrique et al., 2005).

#### **1.10.2.- LAVADO Y DESINFECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

El lavado se hace con abundante agua, frotando las raíces unas con otras y empleando un abrasivo suave (cepillo o escobilla) que facilite la remoción de la tierra adherida a la superficie de las raíces. Después del lavado, las raíces se sumergen durante cinco minutos en una solución desinfectante con el objetivo de disminuir la carga microbiana que permanece adherida a la superficie de la raíz. (Manrique et al., 2005).

#### **1.10.3.- PELADO DE LAS RAÍCES**

El pelado de las raíces se realiza de forma manual utilizando un pelador doméstico de tubérculos. A medida que se pelan las raíces, es recomendable sumergirlas en un recipiente con agua potable a fin de retardar el pardeamiento. Con este sistema de pelado existe una pérdida del 20% del peso inicial de las raíces. (Manrique et al., 2005).

#### **1.10.4.- EXTRACCIÓN DEL ZUMO**

La extracción del zumo de yacón se realiza con un extractor que contenga un disco abrasivo rotante que triture la raíz y permita una separación inmediata del zumo y del bagazo. En esta etapa se pierde alrededor del 20% del peso de las raíces peladas en forma de bagazo con un contenido de humedad muy alto (más del 80% del peso del

bagazo está en forma de zumo). La ventaja del extractor abrasivo es la producción al instante de un zumo claro que puede ser tratado de manera inmediata para evitar el pardeamiento, a diferencia de otros métodos como el pulpeado y el prensado, donde el bagazo y zumo están reunidos por mucho tiempo y resultan en un pardeamiento muy intenso e irreversible. (Manrique et al., 2005).

#### **1.10.5.- CONTROL DEL PARDEAMIENTO**

Se recibe el zumo en un recipiente con antioxidante. De esta manera, el zumo extraído entra inmediatamente en contacto con el antioxidante e impide las reacciones de oxidación. Para que el antioxidante pueda ejercer su efecto, debe ser empleado antes que ocurra el pardeamiento del jugo debido a que este proceso es raramente reversible. Para reforzar el efecto antioxidante a menudo se emplea el ácido ascórbico en combinación con el ácido cítrico. Un efecto colateral del ácido cítrico es que incrementa fácilmente la acidez del producto procesado. Esta característica se aprovecha para inhibir el desarrollo de ciertos microorganismos en el producto envasado. Sin embargo, para el caso específico del yacón, su uso podría resultar contraproducente ya que la velocidad de conversión de los FOS del tipo inulina en azúcares libres se incrementa mucho en medios acidificados. Por lo tanto, se debe tener precaución de usar dosis de ácido cítrico que no bajen el pH de la miel a menos de 4 (Manrique et al., 2005).

#### **1.10.6.- FILTRACIÓN DEL ZUMO**

El jugo de yacón que se obtiene del extractor contiene pequeños residuos de bagazo que deben ser eliminados por filtración antes que el jugo ingrese al evaporador. Si el jugo no es filtrado en este momento, entonces la filtración de la miel será un proceso muy laborioso y lento de realizar. El proceso de filtración consiste en forzar el paso del jugo a través de una membrana porosa con el fin de retener las partículas de bagazo para luego eliminarlas (Manrique et al., 2005).

### **1.10.7.- CONCENTRACIÓN DEL ZUMO**

La función del evaporador de maple es eliminar agua y elevar la concentración de sólidos solubles del jugo (azúcar principalmente) hasta un valor que sea lo más cercano posible a 70° Brix. El éxito para producir jarabe de buena calidad (sin sabor a azúcar quemado) depende en gran medida de que el proceso de evaporación sea continuo. Para lograrlo, se debe mantener un gradiente de concentraciones del jugo durante todo el proceso de evaporación. (Manrique et al., 2005).

### **1.10.8.-ENVASADO**

En el momento del envasado se debe asegurar que la temperatura de la miel dentro del tanque sea superior a 85°C y que la concentración de azúcares sea 70-73°Brix.

Estas simples medidas ayudarán a prevenir el desarrollo de microorganismos en el producto envasado. (Manrique et al., 2005).

Una de las principales funciones del envase es la de conservar el producto. En este sentido, las características de un buen envase son las siguientes. (Wikipedia, 2008).

- Posibilidad de contener el producto.
- Que permita su identificación.
- Capacidad de proteger el producto.
- Que sea adecuado a las necesidades del consumidor en términos de tamaño, ergonomía, calidad, etc.
- Que se ajuste a las unidades de carga y distribución del producto.
- Que se adapte a las líneas de fabricación y envasado del producto, y en particular a las líneas de envasado automático.
- Que cumpla con las legislaciones vigentes.
- Que su precio sea adecuado a la oferta comercial que se quiere hacer del producto.
- Que sea resistente a las manipulaciones, transporte y distribución comercial.

### **1.11.- CARACTERÍSTICAS DE LA MIEL DE YACÓN**

La miel de yacón es una solución concentrada de sus azúcares del zumo de yacón con o sin adición de sustancias aromáticas, colorantes autorizadas y ácidos orgánicos permitidos, es caracterizada por un sabor dulce, consistencia viscosa y una graduación de 70°Brix como mínimo.

La miel de yacón tiene un sabor muy particular y aunque es un producto dulce bastante agradable, resulta difícil hacer una comparación de sabor con otro producto de características similares. (Manrique et al., 2005).

La miel de yacón está compuesta principalmente de carbohidratos (65 a 70%) y agua (alrededor de 25%). Las proteínas representan entre el 1 y 2% del peso fresco, las grasas menos del 0.1% y el potasio, el único mineral que se encuentra en cantidades importantes alrededor del 1%. (Manrique et al., 2005).

Asumiendo que la inulina representa el 50% de la composición química de la miel de yacón, se podría recomendar una dosis máxima de consumo de 40 gr de miel/día, sin correr gran riesgo de sufrir cualquier efecto secundario indeseado asociado al consumo de FOS del tipo inulina. Obviamente, la dosis de consumo de miel de yacón puede ser mayor cuando la concentración de los fructanos en la miel es menor, por ello en el etiquetado del envase debe especificarse la concentración de Inulina en la miel (Manrique et al., 2005).

Una vez que la miel de yacón ha sido envasado (sin conservantes y a un pH=5) y puesto en anaquel a temperatura ambiente o en refrigeración, su tiempo de vida puede ser bastante prolongado. Los resultados preliminares de diferentes pruebas realizadas en el Centro Internacional de la Papa (Perú) demuestran que después de doce meses en almacenamiento, la miel no se contamina y su composición química, respecto a los carbohidratos, cambia muy poco (Manrique et al., 2005).

## **1.12.- CARACTERÍSTICAS DE LOS REACTIVOS UTILIZADOS**

Los reactivos utilizados en la elaboración de la miel de yacón son aditivos autorizados, el ácido ascórbico controla el pardeamiento del jugo de yacón y el ácido cítrico regula el pH del jugo para hacerlo menos susceptible al ataque de microorganismos durante el almacenamiento. (Rivera & Manrique, 2005).

Se entiende por aditivo alimentario cualquier sustancia que no se consume como alimento, ni tampoco se usa como ingrediente básico en alimentos, tenga o no el valor nutritivo, y cuya adición intencionada al alimento con fines tecnológicos (incluidos los organolépticos) en sus fases de fabricación, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento, resulte o pueda preverse razonablemente que resulte (directa o indirectamente) por sí o sus subproductos, en un componente del alimento o un elemento que afecte a sus características. Esta definición no incluye “contaminantes” o sustancias añadidas al alimento para mantener o mejorar las cualidades nutricionales. (Codex alimentarius, 2007).

### **1.12.1.- EL ÁCIDO ASCÓRBICO**

Su estructura deriva de la configuración furanosa de las osas, y tiene como fórmula empírica  $C_6H_8O_6$  y un peso molecular 176.13. Es una sustancia incolora que tiende a amarillar al envejecer, sobre todo en atmósfera húmeda (Adrian&Frangne, 1990).

Además de su función como nutriente esencial, el ácido ascórbico se utiliza ampliamente como un ingrediente/aditivo alimentario debido a sus propiedades antioxidantes y reductoras. El ácido ascórbico inhibe eficazmente el pardeamiento enzimático al reducir los productos orto-quinona. (Fennema, 2000).

### **1.12.2.- EL ÁCIDO CÍTRICO**

Su fórmula empírica es  $C_6H_8O_7$  y su peso molecular es de 192.12. Es usado ampliamente como aditivo en muchos productos alimenticios: bebidas gaseosas,

productos lácteos procesados, bebidas de frutas, compotas, mermeladas, gelatinas, conservas y jarabe de frutas. En alimentos enlatados la reducción de pH permite la esterilización en condiciones térmicas menos intensas que las que se utilizan en productos menos ácidos y además evita el crecimiento de microorganismos patógenos (*Clostridium botulinum*). (Fennema, 2000).

### **1.13.- CARACTERÍSTICAS DE LOS ANÁLISIS DE CONTROL**

Determinar los parámetros del yacón es muy importante en el proceso de elaboración de la miel de yacón; los análisis de mayor interés antes, durante y después de la obtención de la miel son: los análisis fisicoquímicos, análisis microbiológicos y de evaluación sensorial.

#### **1.13.1.- ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS**

El análisis fisicoquímico es el conjunto de técnicas y operaciones fisicoquímicas precisas para el análisis de una muestra. Dentro del análisis fisicoquímico se encuentra relacionados métodos de análisis como ser: los análisis Instrumentales, análisis Volumétricos, análisis Gravimétricos y análisis Cualitativos. Entre estos los relacionados al proceso de elaboración de la miel de yacón son:

- Determinación de Azúcares Totales
- Determinación de Azúcares Reductores
- Determinación de Cenizas
- Determinación de Fibra
- Determinación de Grasa
- Determinación de Humedad
- Determinación de Proteína Total
- Determinación de °Brix

### 1.13.2.-ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

En los análisis microbiológicos, para una mayor facilidad, sólo se determinan los microorganismos indicadores, que son grupos o especies cuya presencia en los alimentos en determinado número sirven para evaluar la seguridad que ofrecen estos productos en cuanto a microorganismos y sus toxinas. Entre estos se tienen los aerobios mesófilos, los Coliformes, mohos, levaduras y otros. Los límites permisibles máximos se detalla en la tabla I-6 y I-7 para la materia prima y el producto.

**Tabla I-6.- Límites microbiológicos permitidos para las levaduras y hortalizas**

Parámetro	Límite máximo
Aerobios mesófilos	$10^2 - 10^5$ f.c./g.
Coliformes	$10^2 - 10^4$ c./g.
Mohos y levaduras	$10 - 10^4$ c./g.

Fuente: Begoña, 2008.

**Tabla I-7.-Límites microbiológicos permitidos para la miel**

Parámetro	Límite máximo
Aerobios mesófilos	10 ufc./ml.
Coliformes	Ausencia /ml.
Mohos y levaduras	$10^2$ c./ml.

Fuente: Begoña, 2008.

### **1.13.3.- ANÁLISIS SENSORIAL**

El análisis sensorial de los alimentos, como disciplina científica es usado para medir, analizar e interpretar las sensaciones producidas por las propiedades sensoriales de los alimentos y otros materiales, y que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído. (Ureña &D' Arrigo, 1999).

Los tipos de pruebas más importantes son las pruebas descriptivas, discriminatorias y las de aceptación también llamada de análisis efectivo o hedónico. En este último el equipo o panel de catadores clasifica las muestras con relación a la preferencia que sienten por ella o a su nivel de satisfacción. (Ureña &D' Arrigo, 1999).

### **1.14.- DISEÑO EXPERIMENTAL**

Un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida (Montgomery, 1991).

El diseño experimental es un medio de importancia crítica en el medio de la ingeniería para mejorar el rendimiento de un proceso de manufactura. Otras aplicaciones del diseño experimental, en una fase temprana del desarrollo de un proceso, puede dar por resultado: mejora en el rendimiento del proceso, menor variabilidad y mayor apego a los requerimientos nominales u objetivo, menor tiempo de desarrollo y menores costos globales. (Montgomery, 1991).

#### **1.14.1.- DISEÑO FACTORIAL**

Por diseño factorial se entiende aquel en el que se investigan todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores en cada ensayo completo o réplica del experimento. (Montgomery, 1991).

## **2.1.- GENERALIDADES**

El trabajo de investigación, “Extracción de Inulina” a partir de yacón en forma de miel, fue realizado en instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias (L.O.U.), perteneciente a la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

La materia prima, fue adquirida de la localidad “Erquis Ceibal”, los insumos y los envases fueron comprados del mercado local. Los equipos y materiales utilizados, en calidad de préstamo, provinieron de los laboratorios de Operaciones Unitarias y el laboratorio de Química, dependientes también de la facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”. Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la materia prima y el producto obtenido fueron realizados en los laboratorios del Centro de “Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID).

## **2.2.- DESCRIPCION DE EQUIPOS, MATERIALES, MATERIA PRIMA Y REACTIVOS.**

Los equipos y materiales de laboratorio forman parte imprescindible en la obtención de los resultados por lo que se debe tener conocimiento del manejo y mantenimiento de los mismos.

### **2.2.1.-EQUIPOS**

Los equipos utilizados para la realización de la parte experimental del trabajo de investigación son los siguientes:

#### **2.2.1.1.- EVAPORADOR ROTATIVO**

El evaporador rotativo o rotavapor (Figura 2-1) es el equipo que se utilizó para la evaporación del jugo, este equipo funciona junto a un sistema de vacío de una bomba junto a los frascos de seguridad, en conjunto con su sistema de calefacción del baño María y un sistema propio de refrigeración.

**Figura 2-1.- Evaporador rotativo Laborota-4000**



**Fuente:** Elaboración propia.

Las características técnicas del evaporador rotativo son:

**Marca:** HEIDOLPH

**Modelo:** LABOROTA 4000.

**Voltaje:** 220- 240 V.

**Potencia:** 50/ 60 Hz.

**Margen de Temperatura:** 20 °C-180 °C

**Velocidad Máxima:** 270 r.p.m.

**Industria:** España

### 2.2.1.2.- BOMBA DE VACÍO

Este equipo se utilizó para realizar una operación muy importante: la creación de vacío en el evaporador rotativo para acelerar el proceso de concentración del zumo y obtener en un tiempo más corto y a temperaturas más bajas la miel o concentrado de yacón (Figura 2-2), y para prevenir cualquier problema de vacío se contó con frascos de seguridad.

**Figura 2-2.- Bomba de vacío**



**Fuente:** Elaboración propia

Las características técnicas de la bomba de vacío son:

**Marca:** TELSTAR S.R.L.

**Modelo:** TOP 3

**Caudal nominal:** de 3 a  $3.6m^3/h$ .

**Velocidad de rotación:** 2800 a 3300 r.p.m.

**Potencia del motor:** 0.23kW.

**Peso:** 7 kg.

**Llenado de aceite:** 0.31.

**Industria:** Española.

### **2.2.1.3.- BALANZA ANALITICA ELECTRONICA**

La balanza analítica (Figura 2-3) fue utilizada para el pesado de los reactivos y el producto obtenido. Todas estas mediciones ayudaron a realizar un balance de materia y cumplir con las especificaciones que demanda el método.

**Figura 2-3.- Balanza analítica**



**Fuente.-** Elaboración propia

Las características técnicas de la balanza analítica son:

**Marca:** GIBERTINI.

**Modelo:** EU500 CE.

**Capacidad Máxima:** 510gr.

**Exactitud:** 0.001gr.

**Capacidad de error:** 0.01gr.

**Voltaje:** 220V.

**Peso:** 6400gr.

**Industria:** Europea.

#### **2.2.1.4.- MEDIDOR DE pH DIGITAL**

El pH-metro digital (Figura 2-4) se utilizó para el control de pH del zumo y de la miel de yacón permitiendo vigilar la cantidad de ácidos que se introdujeron en el zumo y verificar que la miel tenga un pH adecuado.

**Figura 2-4.- pH-metro digital**



**Fuente:** Elaboración propia

Las características técnicas del pH-metro son:

**Marca:** CRISON.

**Modelo:** PH-25

**Escala de medida:** pH de -2.00 hasta pH 16.00 y -20.0°C a 150.0°C.

**Resolución:** 0.01 pH y 0.1°C

**Alimentación:** 2 pilas de 1.5 V, tipo AA.

**Temperatura de trabajo:** 0°C a 50°C.

**Industria:** Española

### 2.2.1.5.- REFRACTÓMETRO DIGITAL

El refractómetro digital (Figura 2-5) se utilizó para la medición de los grados Brix (contenido de azúcar total diluida en un líquido) del zumo y de la miel de yacón.

**Figura 2-5.- Refractómetro**



**Fuente:** Elaboración propia

Las características técnicas del refractómetro digital son:

**Marca:** COMECTA, S.A.

**Modelo:** WYA-1S.

**Rango de medida °Brix:** 0%-95%.

**Precisión de medida °Brix:**  $\pm 0,1\%$ .

**Iluminación:** 6.3 V.

**Voltaje:**  $220 \pm 20V$

**Peso:** 10000gr.

**Industria:** Española.

### **2.2.1.6.- EXTRACTOR DE ZUMO**

Para la extracción del jugo de yacón se utilizó un extractor doméstico (Figura 2-6), con objetivo de extraer el zumo del yacón y la separación de su pulpa.

**Figura 2-6.- Extractor**



**Fuente:** Elaboración propia

Las características técnicas del extractor son:

**Marca:**National

**Modelo:**MJ-176N3.

**Potencia:**250 Watt

**Voltaje:**220 V.

**Industria:** Japonesa

### **2.2.2.- MATERIALES**

Los materiales que se utilizaron para la realización del trabajo de investigación pertenecen al Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de Ingeniería

Química de la Universidad “Juan Misael Saracho”. Los materiales que más se utilizaron fueron: Cuchillos, varillas de vidrio, termómetro, espátulas, vidrios de reloj, jarra, papel filtro, etc. El detalle de los materiales empleados se muestra en la tabla II-1.

**Tabla II-1.- Materiales utilizados en el trabajo de investigación**

<b>Materiales</b>	<b>Detalle</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Cantidad</b>
Platillos	Acero inoxidable	300 ml.	6
Cuchillo	Acero inoxidable	25cm	1
Termómetro	Mercurio	0 – 100 °C.	1
Vaso de precipitación	Vidrio pyrex	100 ml. / 250 ml.	2
Vidrio reloj	Vidrio pyrex	mediano	2
Varilla	Vidrio pyrex	mediano	1
Erlemeyer	Vidrio pyrex	100ml – 200ml.	2
Lavador	Plástico	2 l.	1
Cepillo abrasivo	Plástico	20 cm.	1
Jarra	Plástico	<b>1000 l.</b>	<b>1</b>
Embudo común	Plástico	mediano	1
Colador	Plástico	pequeño	1
Vaselina	Sin olor	50 gr.	1
Algodón	Algodón	40 gr.	2
Envases	Vidrio	300 ml.	12

**Fuente:** Elaboración Propia.

### **2.2.3.- MATERIA PRIMA Y REACTIVOS**

La materia prima que se utilizó para la elaboración de la miel fueron tubérculos de yacón del morfotipo amarillo-naranja, con tamaños y pesos adecuados de primera y segunda categoría y de muy buena calidad (Figura 2-7 a.), dichas raíces fueron

procedentes de la comunidad “Erquis Ceibal” perteneciente a la primera sección de la provincia Méndez del departamento de Tarija.

**Figura 2.7.- Materia prima y reactivos**



**Fuente:** Elaboración propia

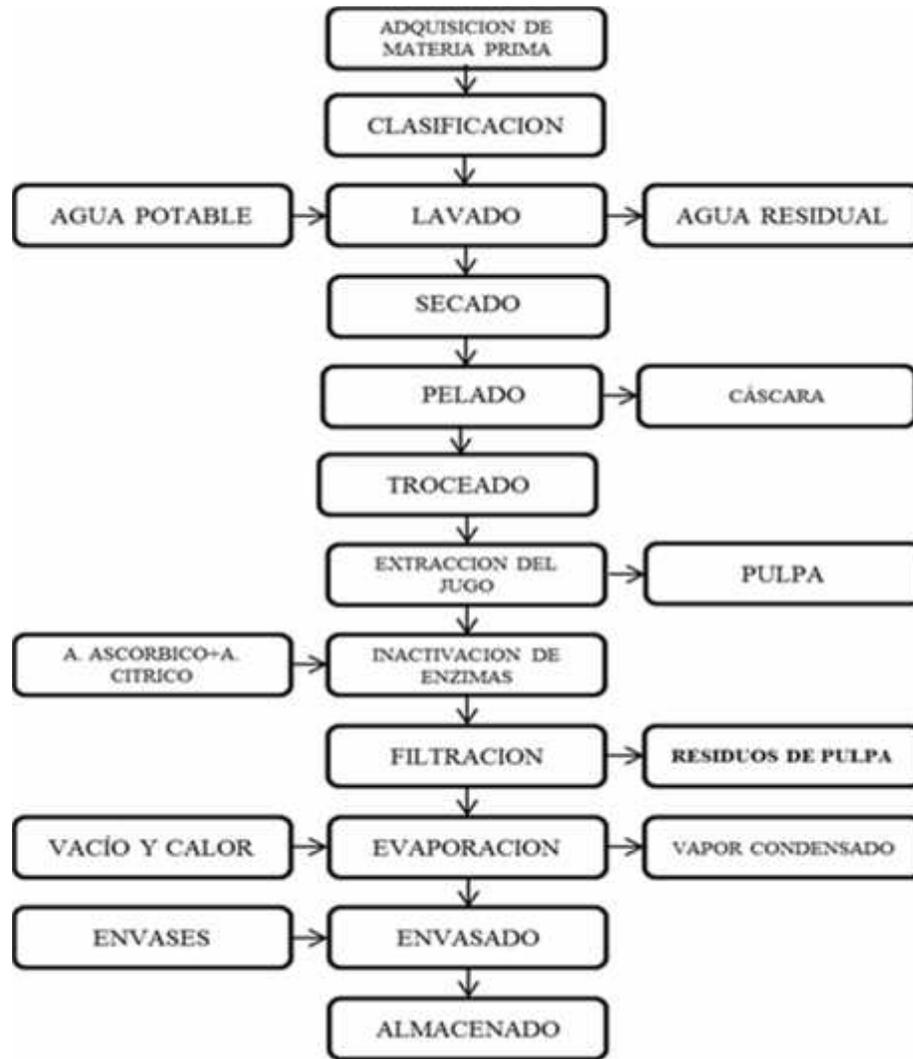
Los reactivos utilizados para la realización del trabajo de investigación fueron elegidos para contrarrestar las reacciones de pardeamiento enzimático del jugo de yacón, por sus efectos atóxicos y por ser buenos conservadores de los alimentos.

Dichos reactivos fueron: el ácido cítrico (Figura 2-6b.) y el ácido ascórbico (Figura 2-6c.). Los reactivos se adquirieron de la “Distribuidora del Sur” y se mantuvieron en buenas condiciones para su utilización.

### **2.3.- DESCRIPCION DE LA ELABORACION DE LA MIEL DE YACON**

El diagrama de flujo (Figura 2-8) muestra cada uno de los procesos realizados para la elaboración de la miel de yacón a escala de laboratorio.

**Figura 2-8.- Diagrama de flujo de la “Elaboración de miel de yacón”**



**Fuente:** Elaboración propia

### 2.3.1.- ADQUISICION DE MATERIA PRIMA

La materia prima utilizada fue adquirida, como ya se mencionó anteriormente, de la localidad de “Erquis ceibal”; posteriormente fue almacenada en cajas cubiertas de papel, para que estas no se dañen, y a su vez tomando en cuenta en lo posible que durante su adquisición las raíces sean frescas y uniformes en tamaño; los defectos

físicos que se presentaron fueron: raíces pequeñas, raíces en putrefacción, daños físicos (golpes, rajaduras), y raíces dañadas por el sol (Figura 2-9).

**Figura 2-9.- Defectos encontrados en la materia prima**



**Fuente:** Elaboración propia

**2.3.2.- CLASIFICACION**

Las raíces utilizadas en la elaboración de la miel fueron clasificadas según el tamaño, para poder trabajar con materia prima lo más uniforme posible, donde se obtuvo raíces de primera (grandes) y de segunda (medianas) categoría, que fueron verificadas con un Vernier.

**2.3.3.- LAVADO**

El lavado se realizó con agua potable y con la ayuda de un pequeño cepillo abrasivo de plástico (Figura 2-10), con la finalidad de que la tierra presente sobre la raíces sea retirada totalmente, y con mucho cuidado para no afectar ni hacer daños leves a su cascara.

### **Figura 2-10.- Lavado del yacón**



**Fuente:** Elaboración propia

### **2.3.4.- SECADO**

El secado se realizó al aire libre, las raíces lavadas se colocaron en papel periódico para que estas se escurran y se pueda eliminar el agua de toda la superficie del yacón (Figura 2-11), y después de 15 minutos se las volcó para que el yacón quede seco de ambos lados.

### **Figura 2-11.- Secado de la materia prima**



**Fuente:** Elaboración propia

### **2.3.5.- PELADO**

Con un cuchillo afilado, se procedió al pelado de las raíces (Figura 2-12) e inmediatamente fue sumergido en un recipiente con agua potable para evitar el pardeamiento u oxidación del yacón pelado.

**Figura 2-12.- Pelado manual del yacón**



**Fuente:** Elaboración propia

### **2.3.6.- TROCEADO**

El troceado se realizó utilizando también un cuchillo doméstico, el cortado de las raíces fue de forma rápida (Figura 2-13), cortando a la raíz en trozos con la finalidad de que estas cupieran dentro del extractor.

**Figura 2-13.- Troceado de la raíz pelada**



**Fuente:** Elaboración propia

### **2.3.7.- EXTRACCION**

La extracción fue automática gracias a un extractor de jugo doméstico que permitió la separación del zumo de yacón (Figura 2-14).

**Figura 2.14.- Extracción y filtración del zumo de yacón**



**Fuente:** Elaboración propia

### **2.3.8.- FILTRACION**

El jugo de yacón fue filtrado con la ayuda de un colador pequeño doméstico, con motivo de retirar los restos de pulpa que cooperan al pardeamiento del zumo (Figura 2-14).

### **2.3.9.- INACTIVACION DE ENZIMAS**

La inactivación de las enzimas se realizó mediante el agregado directo de los antioxidantes al recipiente (jarra) que debía recibir el jugo; a medida que el zumo entraba en contacto con los ácidos ascórbico y cítrico la mezcla fue homogenizada con una cucharilla hasta conseguir los 700 ml. de jugo (Figura 2-15). Las cantidades que se utilizaron de antioxidantes fueron 1.3 gr de ácido ascórbico y 0.1 gr de ácido cítrico.

**Figura 2-15.- Jugo de yacón con los ácidos**



**Fuente:** Elaboración propia

### **2.3.10.- CONCENTRACION**

La evaporación del zumo para concentrarlo y llegar al °Brix requerido, de 70.0 y 74.0 grados Brix, se llevó a cabo en el evaporador rotativo utilizando una bomba de vacío, una velocidad constante de 150 r.p.m. y 70°C del agua del baño maría.

Se inició el trabajo con zumos de yacón que contenía enzimas inactivas de 10 a 14°Brix y a una temperatura promedio de 20°C previamente, el jugo se introdujo rápidamente al balón del evaporador y se procedió con su concentrado que dio como resultado las mieles de yacón. (Figura 2-16).

**Figura 2-16.- Concentración del zumo de yacón**



**Fuente:** Elaboración propia

### 2.3.11.- ENVASADO

El envasado de las mieles se realizó en frascos pequeños de vidrio esterilizados, y bien asegurados con tapas de metal y a vacío (Figura 2-17). Posteriormente estos frascos de miel fueron utilizados para los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y para su evaluación sensorial.

**Figura 2-17.- Miel de yacón**



**Fuente:** Elaboración propia

### 2.3.12.- ALMACENADO

El almacenado de las muestras fue a temperatura ambiente, guardados en una caja para evitar contacto directo con los rayos solares, el oxígeno y otros agentes que podrían reaccionar con el producto.

## 2.4.- DISEÑO FACTORIAL

De acuerdo a la información obtenida, los parámetros a determinar para la extracción de inulina del yacón fueron: variable dependiente cantidad de inulina o fructooligosacaridos presentes en la miel y como variable independiente se encuentra la temperatura de extracción y los grados Brix de la miel. Por lo tanto se tendrá un número de experimentos de:

$$2^2 = 4 * 3 \text{ repeticiones} = 12 \text{ experimentos}$$

**Tabla II-2 Niveles de las variables la elaboración de la miel de yacón**

<b>Nivel</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>°Brix</b>
<b>Inferior</b>	70	50
<b>Superior</b>	74	55

<b>N° muestras</b>	<b>T<sub>ij</sub></b>	<b>B<sub>ij</sub></b>	<b>Resp I (I)</b>	<b>Resp II (I)</b>	<b>Resp III (I)</b>
1	-	-	T <sub>11</sub> B <sub>11</sub>	T <sub>12</sub> B <sub>12</sub>	T <sub>13</sub> B <sub>13</sub>
2	+	-	T <sub>21</sub> B <sub>11</sub>	T <sub>22</sub> B <sub>12</sub>	T <sub>23</sub> B <sub>13</sub>
3	-	+	T <sub>11</sub> B <sub>21</sub>	T <sub>12</sub> B <sub>22</sub>	T <sub>13</sub> B <sub>23</sub>
4	+	+	T <sub>21</sub> B <sub>21</sub>	T <sub>22</sub> B <sub>22</sub>	T <sub>23</sub> B <sub>23</sub>

Donde:

i= Nivel

j= Repetición

T= Temperatura

B= °Brix

I= Concentración de inulina

## **Hipótesis**

### **Hipótesis Nula**

$$H_0 = T_{11} = T_{21} = T_{12} = T_{22} = T_{13} = T_{23} = 0$$

$$H_0 = B_{11} = B_{21} = B_{12} = B_{22} = B_{13} = B_{23} = 0$$

$$H_0 = T_{11}B_{11} = T_{21}B_{11} = T_{11}B_{21} = T_{21}B_{21} = T_{12}B_{12} = T_{22}B_{12} = T_{12}B_{22} = T_{22}B_{22} = T_{13}B_{13} = T_{23}B_{13} = T_{13}B_{23} = T_{23}B_{23} = 0$$

### **Hipótesis Experimental**

$H_1$ :  $T_{11}$   $T_{21}$   $T_{12}$   $T_{22}$   $T_{13}$   $T_{23}$ , no todas las  $T_{ij}$  son 0.

$H_1$ :  $B_{11}$   $B_{21}$   $B_{12}$   $B_{22}$   $B_{13}$   $B_{23}$ , no todas las  $B_{ij}$  son 0.

$H_1$ :  $T_{11}B_{11}$   $T_{21}B_{11}$   $T_{11}B_{21}$   $T_{21}B_{21}$   $T_{12}B_{12}$   $T_{22}B_{12}$   $T_{12}B_{22}$   $T_{22}B_{22}$   $T_{13}B_{13}$   $T_{23}B_{13}$   $T_{13}B_{23}$   $T_{23}B_{23}$   $\neq 0$ , no todas las interacciones  $T_{ij}B_{ij}$  son 0.

En la elaboración de la miel de yacón la temperatura del proceso y la concentración del zumo influyen en la cantidad de inulina o fructooligosacáridos.

## **2.5.- PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS UTILIZADOS PARA LA OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS**

Durante la realización del trabajo de investigación los datos que se tomaron en cuenta para un respectivo control y posterior cálculo fueron: los análisis de las propiedades de la materia prima y análisis de propiedades del producto obtenido.

### **2.5.1.- ANÁLISIS DE PROPIEDADES DE LA MATERIA PRIMA**

En la materia prima, las propiedades que se midieron fueron: las físicas, fisicoquímicas y microbiológicas.

### **2.5.1.1.- ANÁLISIS DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MATERIA PRIMA**

Las características físicas tanto de la raíz del yacón como su jugo que se tomaron en cuenta para su medición fueron:

- Largo del yacón
- Diámetro del yacón
- Peso del yacón entero
- Peso de la cascara de yacón
- Peso de la pulpa de yacón
- Volumen del zumo
- Densidad del zumo

### **2.5.1.2.- ANÁLISIS DE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA**

Los análisis fisicoquímicos del yacón fueron determinados en el CEANID con raíces frescas; los parámetros tomados en cuenta para su análisis fueron:

- Azúcares totales
- Azúcares reductores
- Cenizas
- Fibra
- Hidratos de carbono
- Materia grasa
- Humedad
- Proteínas
- Valor energético

Otras propiedades fisicoquímicas que se realizaron fueron el ° Brix y pH tomado del jugo y el °Brix y pH del jugo con antioxidantes.

### **2.5.1.3.- ANÁLISIS DE PROPIEDADES MICROBIOLÓGICOS DE LA MATERIA PRIMA**

Los análisis microbiológicos del yacón se realizaron en el CEANID, donde se tomaron en cuenta:

- Coliformes totales y fecales
- Mohos y levaduras

### **2.5.2.- ANÁLISIS DE PROPIEDADES DEL PRODUCTO OBTENIDO**

En el producto obtenido se tomó en cuenta las propiedades físicas, fisicoquímicas y microbiológicas.

#### **2.5.2.1.- ANALIS DE PROPIEDADES FISICAS DEL PRODUCTO**

Las propiedades físicas de la miel de yacón, que se determinaron fueron:

- El volumen de la miel
- El peso de la miel
- La densidad de la miel

#### **2.5.2.2.- ANALISIS DE PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DEL PRODUCTO**

Los análisis fisicoquímicos del producto obtenido se realizaron en el CEANID, utilizando todas las muestras adquiridas; los parámetros considerados fueron:

- Azúcares totales
- Azúcares reductores
- Humedad
- Proteína total

### **2.5.2.3.- ANÁLISIS DE PROPIEDADES MICROBIOLÓGICOS DEL PRODUCTO**

Los análisis microbiológicos de la miel de yacón se realizaron en el CEANID, utilizando todas las muestras adquiridas; los parámetros tomados en cuenta fueron:

- Coliformes totales
- Bacterias aerobias mesófilas
- Mohos y levaduras

### **2.6.- CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO OBTENIDO**

El control de calidad del producto fue determinado mediante la evaluación sensorial.

Esta evaluación se realizó en el laboratorio de Operaciones Unitarias, con la participación de jueces calificados (Figura 2.18). El tipo de análisis que se utilizó fue el descriptivo para categorización de muestras y de apreciación hedónica.

#### **Figura 2.18.- Evaluación sensorial del producto**



**Fuente:** Elaboración propia.

Los datos que fueron tomados en cuenta para la miel de yacón fueron:

- Olor
- Color
- Sabor
- Textura

El método o técnica empleado para esta evaluación sensorial, se denomina escala hedónica compuesta por el orden de los siguientes nueve puntos: me disgusta

extremadamente, me disgusta mucho, me disgusta moderadamente, me disgusta levemente, no me gusta ni me disgusta, me gusta levemente, me gusta moderadamente, me gusta mucho, me gusta extremadamente.

Es un método para medir preferencias, además permite medir estados psicológicos.

En este método la evaluación del alimento resulta hecha indirectamente como consecuencia de la medida de una reacción humana.

Además que se usa para estudiar a nivel de laboratorio la posible aceptación del alimento, en el que se pide al juez que luego de su primera impresión responda cuanto le agrada o desagrada el producto; esto lo informa de acuerdo a una escala verbal-numérica que va en la ficha (ANEXO E-1).

### 3.1.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS PARA LAS PROPIEDADES DE LA MATERIA PRIMA

El análisis y discusión de resultados que se realizó fueron de las propiedades físicas, fisicoquímicas y microbiológicas de la materia prima.

#### 3.1.1.- PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MATERIA PRIMA

Las propiedades físicas calculadas en base a las mediciones del yacón de primera y segunda categoría, se encuentran en el ANEXO A-1 y ANEXO A-2; estos fueron: el largo y su diámetro del yacón (Tabla III-1). Posteriormente se calculó el porcentaje de cáscara (porción no comestible), porcentaje de la pulpa (porción comestible) (Tabla III-2). Finalmente se determinó el volumen de jugo y su densidad (Tabla III-3).

**Tabla III-1.- Resultado del tamaño, en función al largo y el diámetro de yacón de primera y segunda categoría**

Nº de muestra	$\overline{L_{\text{yacón}}} \text{ (cm)}$	$\overline{D_{\text{yacón}}} \text{ (cm)}$
1	11.515	7.106
2	13.924	6.046

\*Valores promedios (ANEXO A)

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Donde:**

$L_{\text{yacón}}$  = Largo del yacón.

$D_{\text{yacón}}$  = Diámetro del yacón.

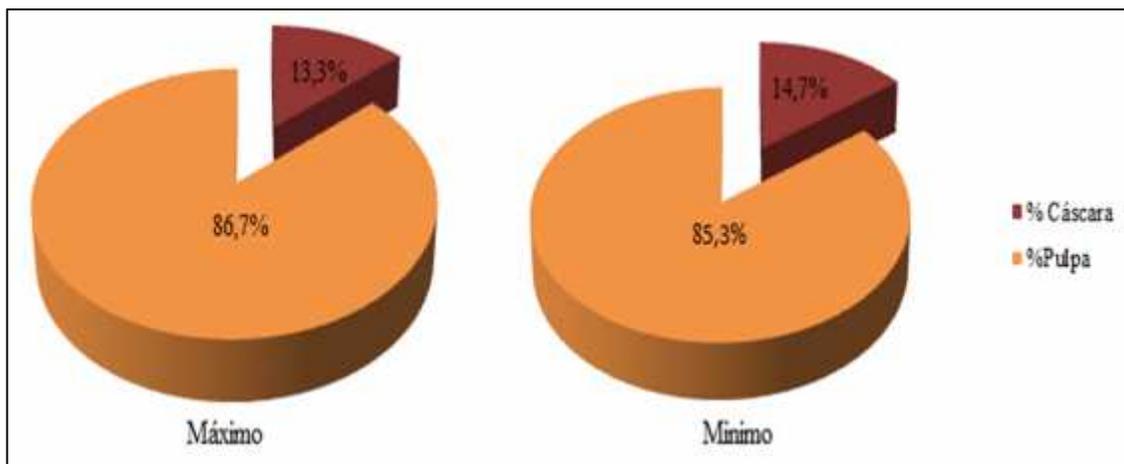
**Tabla III-2.- Resultado de la porción comestible y su cantidad de cáscara en el yacón**

Muestra	Peso Yacón (g.)	Cáscara (g.)	Pulpa (g.)	% Cáscara	% Pulpa
1	1200	159,480	1040,520	13,290	86,710
2	1150	152,835	997,165	13,290	86,710
3	1000	136,228	863,772	13,623	86,377
4	1500	220,101	1279,899	14,673	85,327
5	1100	161,407	938,593	14,673	85,327
6	1220	172,096	1047,904	14,106	85,894
7	1150	162,222	987,778	14,106	85,894
8	1200	169,275	1030,725	14,106	85,894
9	1190	167,864	1022,136	14,106	85,894
10	1100	146,190	953,810	13,290	86,710
11	1170	171,678	998,322	14,673	85,327
12	1200	176,081	1023,919	14,673	85,327

Fuente: Elaboración Propia

Mediante unas tortas estadísticas en función al porcentaje mínimo y máximo de cáscara y pulpa (Figura 3-1) podemos observar que más de la mitad de la materia prima es comestible.

**Figura 3-1.- Porcentaje de cáscara y pulpa del yacón**



Fuente: Elaboración Propia

Se debe mencionar que la variación del peso de la pulpa y de la cáscara pudo ser influenciada por la cantidad de humedad que contenía el yacón y a la manera que la cáscara fue extraída.

Otra propiedad física que se tomó en cuenta fue el volumen de jugo de yacón y la densidad (Tabla III-3).

Los resultados de manera más detallada se encuentran en el (ANEXO A-3)

**Tabla III-3.- Resultados de las propiedades físicas del jugo de yacón**

<b>Muestra</b>	<b>Volumen de jugo (ml/100g)</b>	<b>Densidad jugo (g/ml)</b>
<b>1</b>	800	1,047
<b>2</b>	766	1,039
<b>3</b>	730	1,040
<b>4</b>	830	1,049
<b>5</b>	745	1,046
<b>6</b>	775	1,042
<b>7</b>	780	1,057
<b>8</b>	790	1,039
<b>9</b>	783	1,036
<b>10</b>	787	1,054
<b>11</b>	731	1,059
<b>12</b>	810	1,031

**Fuente:** Elaboración Propia

### **3.1.2.- PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA**

Se consideró determinar las propiedades fisicoquímicas relevantes del yacón: Azúcares totales, azúcares reductores, cenizas, fibra, hidratos de carbono, materia grasa, humedad, proteínas y el valor energético mediante el CEANID (ANEXO B-1). Obteniendo de esta manera el análisis proximal completo del yacón (Tabla III-4).

**Tabla III-4.- Análisis proximal de yacón para 100 g. de muestra**

Muestra	Humedad (g.)	Carbohidratos (g.)	Cenizas (g.)	Fibra (g.)	Proteínas (g.)	Grasas (g.)
<b>Yacón fresco</b>	93,8	5,52	0,29	0,16	0,15	0,08

Fuente: CEANID.

Donde los resultados son similares a datos reportados en bibliografía

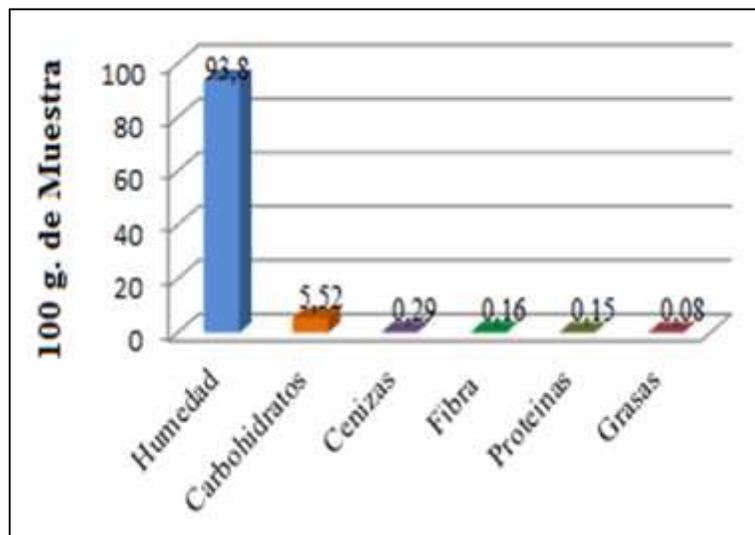
**Tabla III-5.- Análisis fisicoquímico de raíces de yacón del Perú**

Muestra	Humedad (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)	Proteínas (%)	Grasas (%)
<b>Yacón fresco</b>	70-93	0,3-2	0,3-1,7	0,4-1	0,01-0,3

Fuente: Hernan,et., 1999

Mencionar también que Mediante las barras estadísticas (Figura 3.2) se puede observar gráficamente sus componentes del yacón, donde claramente se demuestra que el yacón en fruto maduro contiene gran cantidad de agua entre 70 a 90%.

**Figura 3.2.- Composición proximal del yacón fresco**



Fuente: Elaboración Propia

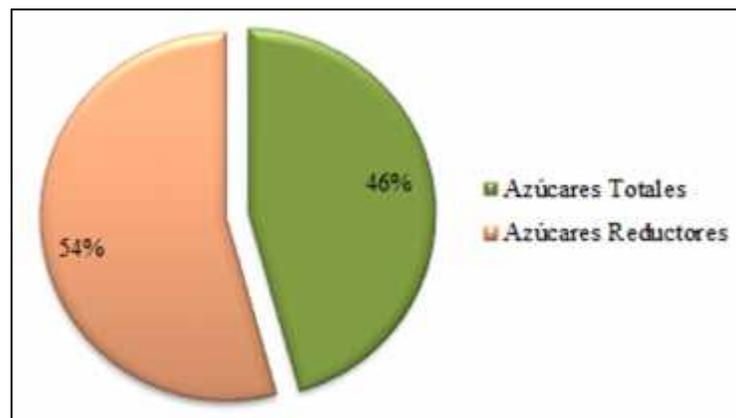
Debido a que los laboratorios de análisis de alimentos de nuestra ciudad no cuentan con análisis para la cuantificación de azúcares de manera específica, se realizó el análisis de manera general, es decir, Azúcares Totales y azúcares reductores, donde se muestra en una torta estadística (Figura 3.3) la cantidad de estos azúcares en el yacón (Tabla III-6). En el cual se puede observar que los azúcares reductores (fructosa, glucosa y sacarosa) están presentes en el yacón.

**Tabla III-6.- Resultados de azúcares totales y reductores presentes en el yacón**

Muestra	Azúcares Totales (%)	Azúcares Reductores (%)
Yacón fresco	3,78	4,51

Fuente: CEANID.

**Figura 3.3.- Azúcares presentes en el yacón**



Fuente: Elaboración Propia

Otra propiedad fisicoquímica de importancia es el comportamiento del ° Brix del yacón antes y después de añadir ácido cítrico y ácido ascórbico puesto que el valor de los °Brix está relacionado directamente con la cantidad de azúcares presentes (Tabla III-7), por cuanto en los jugos naturales cuando se les añade antioxidante, el grado de azúcares disminuye.

**Tabla III-7.- °Brix del jugo de yacón**

<b>Muestra</b>	<b>°Brix jugo Natural</b>	<b>°Brix jugo+â Con antioxidante</b>
<b>1</b>	12,9	11,4
<b>2</b>	12	11,3
<b>3</b>	12,5	11,9
<b>4</b>	11,8	11,3
<b>5</b>	13,4	12,8
<b>6</b>	12	11,6
<b>7</b>	12,3	12
<b>8</b>	11,7	11,1
<b>9</b>	13,7	12,8
<b>10</b>	11,3	11
<b>11</b>	14,8	13,5
<b>12</b>	13,9	13,1

**Fuente:** Elaboración Propia.

El comportamiento del pH en función a la cantidad de ácidos utilizados es importante para la inactivación enzimática en el jugo de yacón; las cantidades utilizadas según bibliografía fueron: 0,1g. de ácido cítrico y 1,3g. de ácido ascórbico, donde se controló que el pH esté por encima de 4,0, ya que con valores inferiores puede provocarse la conversión de la inulina y fructooligosacaridos en azúcares simples y la separación de fases del zumo (Tabla III-8).

**Tabla III-8.- pH del jugo de yacón**

<b>Muestra</b>	<b>pH inicial</b>	<b>pH final</b>
<b>1</b>	6,36	4,78
<b>2</b>	6,04	4,82
<b>3</b>	6,35	4,68
<b>4</b>	6,12	4,74
<b>5</b>	6,55	4,99
<b>6</b>	6,31	4,33
<b>7</b>	6,37	4,36
<b>8</b>	6,18	4,21
<b>9</b>	6,09	4,11
<b>10</b>	5,96	4,72
<b>11</b>	6,51	5,01

12	6,22	4,48
----	------	------

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.1.3.- PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS DE LA MATERIA PRIMA

El análisis y discusión de los resultados microbiológicos, se realiza según los datos del ANEXO B-1 en función a los datos bibliográficos de la tabla I-5.

Pudiendo observar que los valores del yacón fresco sin ningún tratamiento de limpieza se encuentran por debajo del límite máximo permisible para coliformes, mohos y levaduras en verduras y hortalizas.

En la tabla III-9 se demuestra que la materia prima que se utilizó para la elaboración del proyecto cumple con los requisitos establecidos.

**Tabla III-9 Comparación de resultados microbiológicos del yacón**

Parámetro	Límite máximo*	Resultados**
Coliformes	$10^2 - 10^4$ c./g.	Ausencia
Mohos y levaduras	$10 - 10^4$ c./g.	$3 \times 10^2$ c./g.

\* Límites microbiológicos permitidos para las levaduras y hortalizas

\*\*Resultados establecidos por CEANID

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.- ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS PARA LAS PROPIEDADES DEL PRODUCTO

El análisis y discusión de resultados que se realizó en el producto fueron: las propiedades físicas, fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales.

### 3.2.1.- PROPIEDADES FÍSICAS DEL PRODUCTO

Entre las propiedades físicas del producto se determinaron el volumen, peso y la densidad de la miel que se obtuvo de 700 ml. de zumo de yacón. Los valores de dichas propiedades físicas (Tabla III-10) se muestran en detalle en el ANEXO C-1.

**Tabla III-10.- Propiedades físicas de la miel de yacón**

Muestra	Masa de la miel (g.)	Volumen de la miel (ml.)	Densidad de la miel (g./ml.)
1	118,496	89,553	1,323
2	87,190	64,700	1,348
3	81,543	60,661	1,344
4	103,561	76,730	1,350
5	97,980	73,832	1,327
6	100,611	74,300	1,354
7	77,935	57,777	1,349
8	109,695	81,806	1,341
9	112,043	84,041	1,333
10	76,954	57,215	1,345
11	107,883	80,510	1,340
12	115,543	85,441	1,352

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.2.2.- PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL PRODUCTO

Entre las propiedades fisicoquímicas se consideró los azúcares totales, azúcares reductores, humedad, proteína total y la densidad relativa a través del CEANID (ANEXO D-1). De esta manera se obtuvo el análisis proximal de la miel de yacón para cuatro muestras (Tabla III-11).

**Tabla III-11.- Análisis global de la miel de yacón**

Muestra	°Brix	T. (°C)	Azúcares Totales	Azúcares reductores	Humedad (g.)	Proteína (g.)	Densidad relativa
1	70	50	66,84	40,08	21, 48	2, 43	1,3562
2	70	55	66,57	38,15	24,12	2,26	1,3826

<b>3</b>	74	50	71, 65	33,19	26,32	2,30	1,3791
<b>4</b>	74	55	73,19	35,50	25,80	2,25	1,3690

**Fuente:** CEANID

Según la Universidad Nacional Mayor de San Marcos de Lima Perú, se determinaron las propiedades fisicoquímicas más importantes presentes en la miel de yacón, tal como se muestra en la (Tabla III-12).

**Tabla III-12.- Composición química de la miel de yacón del Perú**

<b>Análisis</b>	<b>Resultados</b>
<b>Humedad (g/100g)</b>	31,13
<b>Azúcares Reductores (g/100g)</b>	37,49
<b>Densidad a 20 °C (g/ml)</b>	1,3258

**Fuente:** Ivan Manrique, 2003.

Donde se puede ver que los azúcares reductores que fueron el resultado experimental del proyecto realizado en Tarija, son similares a los datos que fueron determinados en la Universidad San Marco del Perú. Se observa que las propiedades fisicoquímicas de los °Brix están correlacionados con el tiempo de concentración del jugo, y el tiempo para adquirir la miel requerida fue de 62 a 98 minutos para obtener una miel de 70 y 74 °Brix (ANEXO D-5).

### **3.2.3.- PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS DE LAS MIELES**

El análisis microbiológico de nuestro producto, se realizó comparando los datos del (ANEXO D-1 al ANEXO D-4) con los datos bibliográficos de la tabla I-6. Pudiendo observar nuevamente que la miel de yacón obtenida cumple con los límites permisibles para los coliformes (Tabla III-13).

**Tabla III-13.- Comparación de resultados microbiológicos de la miel**

<b>Parámetro</b>	<b>Límite máximo*</b>	<b>Resultados**</b>
<b>Coliformes</b>	Ausencia	Ausencia
<b>Mohos y levaduras</b>	$10^4$ u.c./ml.	$10^2$ u.c./g.

\* Límites microbiológicos permitidos para la miel

\*\*Resultados establecidos por CEANID

**Fuente:** Elaboración propia

### **3.2.4.- PROPIEDADES SENSORIALES DEL PRODUCTO**

Para el control de calidad se realizó una evaluación sensorial al producto en este caso la miel de yacón. El análisis se lo realizó para evaluar las características organolépticas de la miel. Las características evaluadas fueron: olor, color, sabor y textura.

#### **3.2.4.1.- CONFORMACIÓN DEL PANEL DE DEGUSTACIÓN**

Se eligieron 10 personas, que cumplieran con los siguientes requisitos:

- No fuman
- No Ingerieron bebidas alcohólicas
- No padecían de resfrío
- No tuvieron contacto previo o estaban sensibilizados a favor o en contra de los sabores de los azúcares de Yacón

La degustación para la evaluación sensorial de las mieles, se realizó en el laboratorio de operaciones unitarias, donde los jueces analizaron y calificaron las mieles según su gusto y preferencia, se presentó las mieles de manera ordenada y para evaluarlas se realizó cada una con sus respectivas cucharillas, para que estas no se mezclaran y de acuerdo a la tabla de toma de datos, para cada una de las características

organolépticas se les asignó un porcentaje dependiendo de su importancia para determinar el porcentaje total de la muestra con mayor aceptación.

La tabla de toma de calificación de cada uno de los jueces, es la siguiente:

### EVALUACION SENSORIAL DE LA MIEL DE YACON

**Nombre del evaluador:** ..... **Fecha:** .....

En base a la siguiente escala califique los siguientes parámetros organolépticos:

1= me disgusta extremadamente	5= no me gusta ni me disgusta
2= me disgusta mucho	6= me gusta levemente
3= me disgusta moderadamente	7= me gusta moderadamente
4= me disgusta levemente	8= me gusta mucho
	9= me gusta extremadamente

**Muestra N° ...**

Parámetro	Calificación								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Olor									
Color									
Sabor									
Textura									

Esta tabla se repitió para cada uno de los 10 jurados evaluadores.

Siendo los porcentajes asignados a cada uno de los parámetros los siguientes:

Olor: 10%

Color: 10%

Sabor: 50%

Textura: 30%

El propósito de esta evaluación fue establecer la aceptabilidad de cada producto para la selección del mejor producto final.

Los resultados experimentales obtenidos de la aceptación de la miel se muestran en la tabla III-14

**Tabla III-14.- Promedio de la calificación de jueces para las 12 muestras de miel de yacón.**

Muestra	Olor	Color	Sabor	Textura	% de Aceptación
<b>1</b>	5,9	6,5	6,3	6,4	70,11
<b>2</b>	<b>6,3</b>	<b>6,5</b>	<b>6,8</b>	<b>6,3</b>	<b>73,00</b>
<b>3</b>	5,5	5,6	6,3	7	70,67
<b>4</b>	5,6	5,7	5,9	6,2	66,00
<b>5</b>	5,8	5,7	6,5	5,7	67,89
<b>6</b>	5,1	5,4	5,5	6	62,22
<b>7</b>	5,8	6	6,3	5,6	66,78
<b>8</b>	5,8	5,8	6,6	5,4	67,56
<b>9</b>	5,1	6,2	6,3	6,3	68,56
<b>10</b>	5,9	6,1	6,6	6,4	71,33
<b>11</b>	5,5	6,5	6,4	6,2	69,56
<b>12</b>	5,5	5,3	6,3	6,3	68,00

**Fuente:** Elaboración Propia.

Por lo que se observa en la tabla precedente, los jurados en su conjunto han calificado a la muestra N° 2, como la que presenta las mejores características de acuerdo a los indicadores sensoriales que se les adjuntó en la tabla de evaluación sensorial.

Se puede ver claramente que la muestra de mayor aceptación según el análisis sensorial de la miel fue la muestra 2, obteniendo un 73% de aceptación.

### **3.3.- BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA**

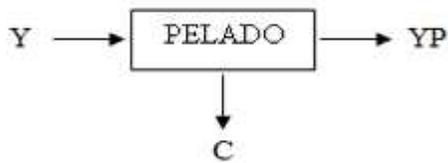
Los balances de materia y energía se realizaron únicamente en los procesos de pelado, extracción y evaporación porque en dichos procesos se manejaron cantidades considerables de masa. El balance de energía se realizó únicamente en el proceso de evaporación.

Los balances de materia y energía en los procesos de obtención de miel de yacón se realizaron de la siguiente manera:

### 3.3.1.- BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE PELADO

En base a los datos obtenidos en las 4 primeras muestras de la (Tabla III-2) y las ecuaciones básicas del balance de materia (ANEXO F-1), se determinó la cantidad de yacón pelado (YP).

**Figura 3.4.- Diagrama para el proceso de pelado del yacón Muestra 1**



**Fuente:** Elaboración Propia

Los datos son los siguientes:

Y= Peso del yacón entero=1200g.

C= Peso de la cáscara de yacón=159,480g.

YP= Peso del yacón pelado = ?

El balance de materia es el siguiente:

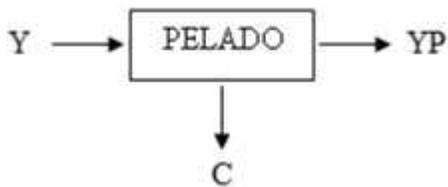
$$Y = C + YP$$

$$YP = Y - C$$

$$YP = 1200 - 159,480 = 1040,52g.$$

$$YP = 1040,52g.$$

**Figura 3.5.- Diagrama para el proceso de pelado del yacón Muestra 2**



**Fuente:** Elaboración Propia

Los datos son los siguientes:

Y= Peso del yacón entero=1150g.

C= Peso de la cáscara de yacón=152,835g.

YP= Peso del yacón pelado = ?

El balance de materia es el siguiente:

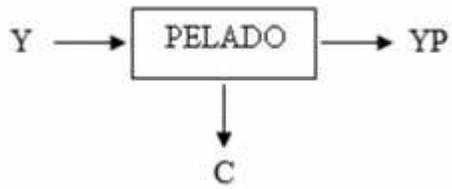
$$Y = C + YP$$

$$YP = Y - C$$

$$YP = 1150 - 152,835 = 997,165g.$$

$$\mathbf{YP = 997, 165g.}$$

**Figura 3.6.- Diagrama para el proceso de pelado del yacón Muestra 3**



**Fuente:** Elaboración Propia

Los datos son los siguientes:

Y= Peso del yacón entero=1000g.

C= Peso de la cáscara de yacón=136,228g.

YP= Peso del yacón pelado = ?

El balance de materia es el siguiente:

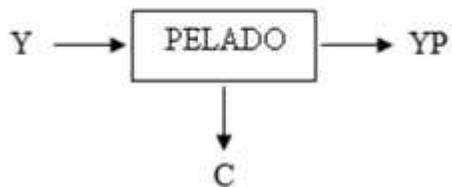
$$Y = C + YP$$

$$YP = Y - C$$

$$YP = 1000 - 136,228 = 863,772g.$$

$$YP = 863,772g.$$

**Figura 3.7.- Diagrama para el proceso de pelado del yacón Muestra 4**



**Fuente:** Elaboración Propia

Los datos son los siguientes:

Y= Peso del yacón entero=1500g.

C= Peso de la cáscara de yacón=220,101g.

YP= Peso del yacón pelado = ?

El balance de materia es el siguiente:

$$Y = C + YP$$

$$YP = Y - C$$

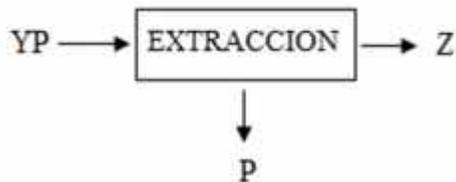
$$YP = 1500 - 220,101 = 1279,899\text{g.}$$

$$\mathbf{YP = 1279,899\text{g.}}$$

### 3.3.3.- BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE EXTRACCION

En base a los datos obtenidos en las 4 primeras muestras de la (Tabla III-2) y las ecuaciones básicas del balance de materia (ANEXO F-1), se determinó la cantidad de jugo de yacón (Z).

**Figura 3.8.- Diagrama para el proceso de extracción del jugo de yacón Muestra 1.**



**Fuente:** Elaboración Propia.

Los datos son los siguientes:

$$YP = \text{Peso del yacón pelado} = 1040,52\text{g.}$$

$$P = \text{Peso de la pulpa de yacón} = 118,621\text{g.}$$

$$Z = \text{Peso del zumo de yacón} = ?$$

El balance de materia es el siguiente:

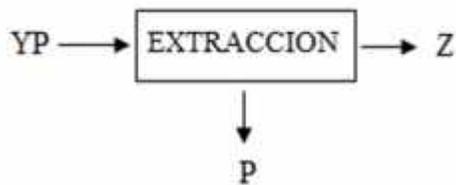
$$YP = P + Z$$

$$Z = YP - P$$

$$Z = 1040,52 - 118,621 = 921,899\text{g.}$$

$$Z = 921,899\text{g.}$$

**Figura 3.9.- Diagrama para el proceso de extracción del jugo de yacón Muestra 2.**



**Fuente:** Elaboración Propia.

Los datos son los siguientes:

$$YP = \text{Peso del yacón pelado} = 997,165\text{g.}$$

$$P = \text{Peso de la pulpa de yacón} = 113,678\text{g.}$$

$$Z = \text{Peso del zumo de yacón} = ?$$

El balance de materia es el siguiente:

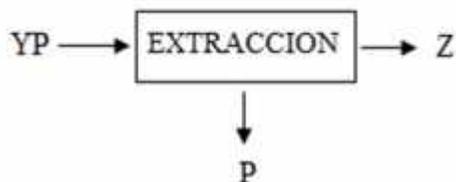
$$YP = P + Z$$

$$Z = YP - P$$

$$Z = 997,165 - 113,678\text{g} = 883,487\text{g.}$$

$$Z = 883,487\text{g.}$$

**Figura 3.10.- Diagrama para el proceso de extracción del jugo de yacón Muestra 3.**



**Fuente:** Elaboración Propia.

Los datos son los siguientes:

YP = Peso del yacón pelado = 863,772g.

P = Peso de la pulpa de yacón = 161,492g.

Z = Peso del zumo de yacón = ?

El balance de materia es el siguiente:

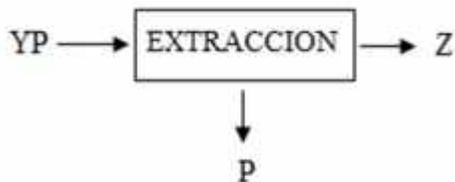
$$YP = P + Z$$

$$Z = YP - P$$

$$Z = 863,772 - 161,492 = 702,28 \text{ g.}$$

$$Z = 702,28 \text{g.}$$

**Figura 3.11.- Diagrama para el proceso de extracción del jugo de yacón Muestra 4.**



**Fuente:** Elaboración Propia.

Los datos son los siguientes:

YP = Peso del yacón pelado = 1279,899g.

P = Peso de la pulpa de yacón = 177,993g.

Z = Peso del zumo de yacón = ?

El balance de materia es el siguiente:

$$YP = P + Z$$

$$Z = YP - P$$

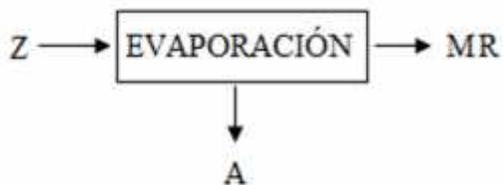
$$Z = 1279,899 - 177,993 = 1101,906\text{g.}$$

$$Z = 1101,906\text{g.}$$

### 3.3.3.- BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE EVAPORACION

En base a los datos obtenidos del jugo de yacón (ANEXO A-3), de la miel de yacón (ANEXO C-1) y las ecuaciones básicas del balance de materia (ANEXO F-1); para 700 ml. de jugo de yacón, se determinó la cantidad de agua (A) evaporada.

**Figura 3.12.- Diagrama para el proceso de evaporación del jugo de yacón Muestra 1.**



**Fuente:** Elaboración Propia.

Los datos son los siguientes:

$$Z = \text{Peso del zumo de yacón} = 921,899\text{g.}$$

$$MR = \text{Peso de la miel real} = 135,679\text{g.}$$

$$A = \text{Peso del agua evaporada} = ?$$

El balance de materia es el siguiente:

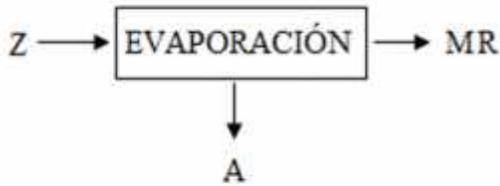
$$Z = MR + A$$

$$A = Z - MR$$

$$A = 921,899 - 135,679 = 786,22\text{g.}$$

$$A = 786,22\text{g.}$$

**Figura 3.13.- Diagrama para el proceso de evaporación del jugo de yacón Muestra 2.**



**Fuente:** Elaboración Propia.

Los datos son los siguientes:

Z = Peso del zumo de yacón = 883,487g.

MR= Peso de la miel real = 110,314g.

A = Peso del agua evaporada = ?

El balance de materia es el siguiente:

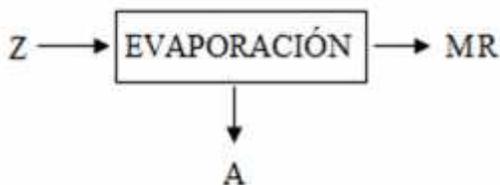
$$Z = MR + A$$

$$A = Z - MR$$

$$A = 883,487 - 110,314 = 773,173g.$$

$$A = 773,173 \text{ g.}$$

**Figura 3.14.- Diagrama para el proceso de evaporación del jugo de yacón Muestra 3.**



**Fuente:** Elaboración Propia.

Los datos son los siguientes:

Z = Peso del zumo de yacón = 702,28g.

MR= Peso de la miel real = 103,182g.

A = Peso del agua evaporada = ?

El balance de materia es el siguiente:

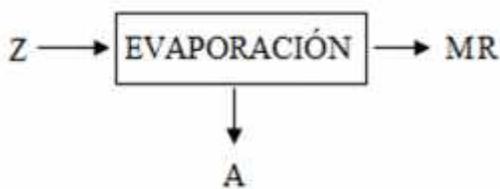
$$Z = MR + A$$

$$A = Z - MR$$

$$A = 702,28 - 103,182 = 599,098g.$$

$$A = \mathbf{599,098g}$$

**Figura 3.15.- Diagrama para el proceso de evaporación del jugo de yacón Muestra 4.**



**Fuente:** Elaboración Propia.

Los datos son los siguientes:

Z = Peso del zumo de yacón = 1101, 906g.

MR= Peso de la miel real = 121, 687g.

A = Peso del agua evaporada = ?

El balance de materia es el siguiente:

$$Z = MR + A$$

$$A = Z - MR$$

$$A = 1101, 906 - 121, 687 = 980,219g.$$

$$A = \mathbf{980,219g.}$$

Los cálculos de manera más específica se encuentran en el (Anexo F-3)

**Tabla III-15.- Resumen de los resultados del balance de materia**

Muestra	Yacón Pelado (gr.)	Peso del jugo (gr.)	Agua Evaporada (gr.)
1	1040,52	921,899	786,22
2	997,165	883,487	773,173
3	863,772	702,28	599,098
4	1279,899	1101,906	980,219

**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.4.- RENDIMIENTO DE LA MIEL DE YACÓN

Para el rendimiento de la miel de 1 kg de yacón pelado aproximadamente se obtuvo 135,679gr de miel con un rendimiento del 14,717%.

En la tabla III-15 se muestra el rendimiento de la miel de yacón para las cuatro muestras principales utilizando la ecuación del (Anexo F-2); y en el (Anexo F-3) se encuentra los cálculos finales para la miel de manera más detallada.

**Tabla III-15.- Resultados de la miel de yacón y su rendimiento**

Muestra	Peso Jugo de yacón (gr.)	Peso miel de yacón (gr.)	Rendimiento (%)
1	921,899	135,679	14,717
2	883,487	110,314	12,486
3	702,280	103,182	14,692
4	1101,906	121,687	11,043

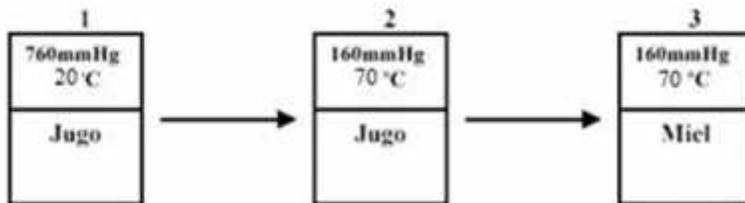
**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5.- BALANCE DE ENERGIA EN EL CONCENTRADOR A VACIO

En el proceso de evaporación se determinó el contenido de calor total ( $Q_{Total}$ ), en función a la siguiente ecuación:

$$Q_{Total} = Q_{Sensible} + Q_{Latente}$$

$$Q_{Total} = m_{jugo} C_p(T_{Prom} - T_{Inicial}) + m_v \lambda_v$$



**Masa de jugo** = 921,899 gr.  $\approx$  0,922 kg.

$$C_p = 3,873 \text{ KJ./kg.}^\circ\text{K} = 0,925 \text{ Kcal./kg.}^\circ\text{C}$$

$$T_{prom} = 70^\circ\text{C}$$

$$T_{inicial} = 20^\circ\text{C}$$

**Masa de agua evaporada** = 786,220gr. = 0,786 kg.

$$\lambda_v = 557,3 \text{ Kcal./kg.}$$

Reemplazando los valores en la ecuación inicial se tiene:

$$Q_{total} = (0,922\text{kg.} \times 0,925 \text{ Kcal./kg.}^\circ\text{C} \times 50^\circ\text{C}) + (0,786\text{kg.} \times 557,3 \text{ Kcal./kg.})$$

$$Q_{Total} \approx 42,6425\text{Kcal.} + 438,0378\text{Kcal.}$$

$$Q_{Total} \approx \mathbf{480,6803 \text{ Kcal.}}$$

En consecuencia, la energía requerida en el proceso de evaporación es de 480,6803 Kcal.



#### 4.1.- CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- Las propiedades físicas del yacón nos muestran una porción comestible (pulpa) de 85,3 % como mínimo y 86,7% como máximo y otra porción no comestible (cáscara) del 13.3 % como mínimo y 14,7% como máximo.
- En cuanto a las propiedades fisicoquímicas del yacón, se puede observar que el yacón contiene gran cantidad de agua que alcanza hasta un 93,8%, dependiendo del período de maduración y cosecha, mientras que los hidratos de carbono alcanzan hasta un 5%. Mencionando también que la materia prima puede contener hasta 4.51 de azúcares reductores y 3.78 de azúcares totales.
- En el producto, se trabajó hasta alcanzar un valor entre 70.0 y 74.0 °Brix, a 50 y 55 °C de temperatura, de acuerdo a los datos bibliográficos se puede observar que la inulina o Fos se encuentran presentes dentro de los azúcares reductores de la miel. No se determinaron los FOS del producto por cuanto los laboratorios consultados a nivel nacional, no cuentan con la técnica para su análisis.
- En cuanto al pH, en la fruta del Yacón se tiene una variación entre 5,96 a 6,55, pero con el uso de ácido cítrico se reducía a un pH más bajo pero en ningún momento se llega a un valor por debajo o igual a 4 en el zumo y la miel, esto se realiza para evitar la oxidación y que los azúcares reductores se descompongan.

- La temperatura de operación para el proceso seleccionado es de 50°C, siendo la presión en el concentrador de 21,328 Kpascales, alcanzándose un tiempo de concentración de 71 min.
- Según las propiedades sensoriales de la miel calificados por los jueces designados se muestra una pronunciada aceptación por la muestra 2 en cuanto al olor, color, sabor y textura mediante un test de escala hedónica, con un 73% de aceptación.
- Debido a la alta higroscopicidad de los cristales de FOS, fue muy difícil conservar los cristales, por cuanto a pesar de haberse visto varios métodos para conservarlos, siempre se volvían al estado de mieles.

#### **4.2.- RECOMENDACIONES**

Entre las recomendaciones más importantes se tiene:

- Es importante que se realicen estudios agronómicos para determinar cuáles son las variedades de yacón que se producen en el departamento de Tarija, para luego determinar cual es la mejor variedad que tiene los mejores rendimientos para obtener las mieles.
- Una vez que se tiene la técnica para obtener las mieles es importante realizar estudios para comercializar estos productos tal como fueron obtenidos o la adición de conservantes naturales como el ácido cítrico para garantizar su adecuado almacenamiento.
- Es importante también continuar con estudios para estabilizar los cristales de FOS, para de esa manera tener otra alternativa de comercialización.
- Se recomienda realizar los análisis de determinación de FOS en la miel mediante las técnicas vigentes y realizar más investigaciones sobre la calidad y cantidad de FOS en las diferentes variedades de yacón que produce nuestro departamento para obtener un proyecto de mayor calidad.
- Se sugiere establecer nuevas combinaciones de ácido cítrico para controlar el pardeamiento y para regular el pH con objetivo de aumentar la calidad del proyecto y disminuir los costos. Por otro lado, utilizar otros antioxidantes o métodos para evitar el pardeamiento enzimático.
- Se recomienda realizar los análisis fisicoquímicos y buscar nuevas alternativas de utilización o aprovechamiento de la porción no comestible.

- Se sugiere realizar las operaciones de control del producto durante un determinado tiempo para establecer su vida útil en estantería bajo diferentes condiciones ambientales.
- Se sugiere incentivar el cultivo del yacón en nuestro departamento, para contribuir a la instalación de una planta procesadora de yacón, de manera que se plantee una alternativa real de un azúcar natural que no dañe el metabolismo humano.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. **ADRIAN JEAN / FRANGNE  
RÉGINE** “La ciencia de los alimentos de la A a la Z”, Editorial Acribia S.A., Zaragoza, España, 1990.
2. **ALVARADO JUAN DE DIOS/  
AGUILERA JOSE MIGUEL** Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos, Editorial Acribia S.A. , Zaragoza, España, 2001.
3. **BIBLIOTECA LUIS ANGEL  
ARANGO** Raíces, Cepas, y Rizomas, Biblioteca Luis Ángel Arango, Banco de la República de Colombia, Bogotá, Colombia. (Pag. Web consultada el 15 de Octubre de 2012).  
<http://www.lablaa.org>
4. **CODEX ALIMETARIUS** Norma General del Codex para los Aditivos Alimentarios (CODEX STAN 1992-2007), Anexos, 2007. (Pag. Web consultada el 24 de Octubre de 2012).
5. **COLLARES Q. PAULA** YACON: Fuente de ingredientes con fructooligosacáridos para la industria alimenticia, Área de Tecnología de Cereales, Raíces y Tubérculos, Dpto. de Tecnología de Alimentos, Facultad de Ingeniería de Alimentos, UNICAMP, Brasil. (Pag. Web consultada el 20 de Noviembre de 2012).
6. **FAO** Manual de manejo postcosecha de los productos hortofrutícolas a pequeña escala, Agricultural Information Bulletin 410, University of California, Estados Unidos, 1995.

7. **FENNEMA R. OWEN** Química de Alimentos, 2<sup>a</sup> Edición, Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España, 2000.
8. **FERNANDEZ C. ELOY/  
PEREZ V. W./ ROBLES C.H./  
VIEHMANNOVÁ I.** Protección del yacón en las provincias de Bilbao Riojas y de Charcas del departamento de Potosí en Bolivia, Universidad de Checa de Agricultura, Instituto Praga de Trópicos y Subtropicos, Praga de trópicos y subtropicos Praga, Republica Checa, 2004.
9. **FORSYTHE S.J./HAYES P.R.** Higiene de los alimentos, microbiología y HACCP. 2<sup>a</sup> Edición, Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España, 2002.
10. **FRAZIER W.C.** Microbiología de Alimentos, 2<sup>a</sup> Edición, Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España, 1976.
11. **FREDMEYER** Fructooligosacáridos (FOS) y otros Oligosacáridos, Fredmeyer. (Pag. Web consultada el 15 de Noviembre de 2012)  
<http://www.fredmeyer.com/Es-Supp/FOS.htm#>
12. **FRESH PLAZA** Seminario sobre cultivo del yacón, Fresh Plaza, Argentina. (Pag. Web. Consultada el 24 de Octubre de 2012)  
<http://www.jujuyaldia.com.ar>  
[http://www.freshplaza.es/news\\_detail.asp?id=9337](http://www.freshplaza.es/news_detail.asp?id=9337)

13. **GIANNONI DANIEL** YACON: *Smallanthus sonchifolius*, Perú ecológico, Perú. (Pag. Web consultada el 22 de Septiembre de 2013)  
[http://www.peruecologico.com.pe/raiz\\_y\\_acon.htm](http://www.peruecologico.com.pe/raiz_y_acon.htm)
14. **GIRALDO CARLOS/STEVE G. JONATHAN** Análisis fisicoquímico del yacón  
Universidad del Tolima, Ibagué-Tolima, Colombia, 2008.  
[www.monografias.com](http://www.monografias.com)
15. **GRAU ALFREDO / REA JULIO** Yacón: *Smallanthus sonchifolius* (Poepp, & Endl.) H. Robinson, Tucumán, Argentina y La Paz, Bolivia, 1997.
16. **IBAÑEZ MARIA SILVINA** El Yacón: Una especie nativa de los Andes con propiedades beneficiosas, Ciclo de seminarios, Maestría en Producción Vegetal, Perú, 2008.
17. **LEON JORGE** Botánica de los Cultivos Tropicales, 3<sup>o</sup> Edición, Editorial Agroamerica, San José, Costa Rica, 2000.
18. **MANRRIQUE IVAN/  
PARRAGA ADELMO/  
HERMANN MICHAEL** Jarabe de yacón: Principios y procesamiento, Centro internacional de la Papa, Universidad Nacional Daniel Alcides, Fundación Erbacher, Agencia Suiza para el Desarrollo y la cooperación, Lima, Perú, 2005.

19. **MANRRIQUW IVAN /  
HERMANN MICHAEL** / El potencial del yacón en la salud y la nutrición, XI Congreso Internacional de Cultivos Andinos. Cochabamba, Bolivia, 2003
20. **MONTGOMERY DOUGLAS** / Diseño y Análisis de Experimentos, Editorial Iberoamerica, Monterrey, México, 1991.
21. **MORAGAS E. MANUEL /  
BEGOÑA D.P.B. MARIA** / Normas microbiológicas de los alimentos y otros parámetros fisicoquímicos de interés sanitario, Bilbao, Gobierno Vasco, 2012.  
<http://cvu.rediris.es/pub/bscw.cgi/d31175/normico/recopila/normical.htm>
22. **OCON G. JOAQUIN / TOJO  
B. GABRIEL** / Problemas de ingeniería química: Operaciones básicas (Tomo I), 3º Edición, Ciencia y Técnica Aguilar, Madrid, España, 1980.
23. **RIVERA DENYS /  
MANRRIQUE IVAN** / Zumo de Yacón, Centro Internacional de la papa, Lima, Perú, 2005.  
[www.cipotato.org/artc/cip crops/fichazu moyacon.pdf](http://www.cipotato.org/artc/cip crops/fichazu moyacon.pdf)
24. **ROJAS GABINO CINTHIA** / Demanda y oferta del yacón peruano, Universidad Particular San Martín de Porres, Lima, Perú, 2007.  
[www.monografias.com](http://www.monografias.com)

25. **SANCHO J. / BOTA E. /  
CASTRO J.J.** Introducción al Análisis Sensorial de los Alimentos, Editorial Alfa-Omega S.A., México, 2002.
26. **SEMINARIO JUAN /  
VALDERRAMA MIGUEL /  
MANRIQUE IVAN** El Yacón: Fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio, Centro Internacional de la Papa, Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la cooperación, Lima, Perú, 2003.
27. **SHARMA SHRI K. /  
MULVANEY STEVEN J. /  
RIZVI SYED S.H.** Ingeniería de alimentos: Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio, Editorial LIMUSA, S.A. de C.V., Noriega editores, Balderas 95, México 2003.
28. **SOTO CLEMENTINA** Unidad de programa Productivo, Secretaria de Desarrollo Económico y Productivo, Prefectura del Departamento de Tarija, Tarija, Bolivia, 2012.
29. **TAPIA MARIO E. /  
FRIES ANA MARIA** Guía de campo de los cultivos andinos, FAO y ANPE, Lima, Perú, 2007.
30. **UREÑA P. MILBER /  
D`ARRIGO H. MATILDE** e Evaluación sensorial de los alimentos, Editorial Universal, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú, 1999.

- 31. VALDERRAMA C. MIGUEL** Manual del cultivo del yacón: Experiencias de introducción y manejo técnico en el Valle de Condebamba, PYMAGROS, Cajamarca, Perú, 2005.
- 32. WIKIPEDIA** Envase, Wikipedia, La enciclopedia libre, consultado el 5 de Agosto de 2012.  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Envase>

**ANEXO A-1**

**TABLA DE RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LA  
MATERIA PRIMA, PRIMERA CATEGORIA**

<b>N°</b>	<b>Longitud (cm.)</b>	<b>Diámetro (cm.)</b>
<b>1</b>	11,128	7,452
<b>2</b>	11,193	6,270
<b>3</b>	11,090	5,208
<b>4</b>	11,534	6,580
<b>5</b>	12,630	10,018
<b>Sumatoria</b>	<b>57,575</b>	<b>35,528</b>
<b>Promedio</b>	<b>11,515</b>	<b>7,106</b>

**Fuente:** Elaboración Propia.

**ANEXO A-2**

**TABLA DE RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LA  
MATERIA PRIMA, SEGUNDA CATEGORIA**

<b>N°</b>	<b>Longitud (cm.)</b>	<b>Diámetro (cm.)</b>
<b>1</b>	12,843	7,256
<b>2</b>	13,621	4,823
<b>3</b>	13,913	5,920
<b>4</b>	14,324	6,852
<b>5</b>	14,921	5,378
<b>Sumatoria</b>	<b>69,622</b>	<b>30,229</b>
<b>Promedio</b>	<b>13,924</b>	<b>6,046</b>

**Fuente:** Elaboración Propia.

### ANEXO A-3

**TABLA DE RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL JUGO DE YACÓN**

<b>Muestra</b>	<b>Volumen de jugo (<math>\frac{ml}{80\%}</math>)</b>	<b>Densidad jugo (<math>\frac{g}{ml}</math>)</b>	<b>Peso del jugo (g.)</b>
<b>1</b>	800	1,047	921,899
<b>2</b>	766	1,039	883,487
<b>3</b>	730	1,040	702,280
<b>4</b>	830	1,049	1101,906
<b>5</b>	745	1,046	817,261
<b>6</b>	775	1,042	903,136
<b>7</b>	780	1,057	835,944
<b>8</b>	790	1,039	838,167
<b>9</b>	783	1,036	831,183
<b>10</b>	787	1,054	823,281
<b>11</b>	731	1,059	859,487
<b>12</b>	810	1,031	891,557

**Fuente:** Elaboración Propia.

## ANEXO B-1

# TABLA DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE YACÓN FRESCO



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CENTRO DE ANÁLISIS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO "CEANID"**  
 Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes  
 Miembro de la Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos "RELOAA"  
 Miembro de la Red Nacional de Laboratorios de Micronutrientes  
 Laboratorio Oficial del Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria "SENASAG"



---

Alimentos 442/12 Página 2 de 2

**Resultados de los Ensayos**

Parámetro	Método	Unidad	Muestra-1 100g FQ 514
Azúcares reductores	AOAC 923-09	%	3,78
Azúcares totales	AOAC 923-09	%	4,51
Cenizas	NB 075-74	%	0,29
Fibra	Manual Inc. CEANID	%	0,16
Hidratos de carbono	Cálculo	%	5,52
Materia grasa	NB 103-75	%	0,08
Humedad	NB 028-88	%	93,80
Proteína total ( $\times 6,25$ )	NB 466-81	%	0,15
Valor energético	Cálculo	Kcal/100g	23,40
Coliformes totales	NB 32005	NMP/g	4
Coliformes fecales	NB 32005	NMP/g	<3
Mohos y levaduras	NB 32006	ufc/g	$3,0 \times 10^{-2}$

NB = Norma Boliviana  
 AOAC = Association of Official Agricultural Chemists  
 NOTA.- La expresión < 3 NMP significa ausencia de coliformes.  
 Los resultados se refieren sólo a la muestra ensayada.  
 Este informe de ensayo sólo puede ser reproducido en su forma total con aprobación escrita del CEANID.  
 Los datos de la muestra y del muestreo fueron suministrados por el solicitante.

cc Arch.



---

Dirección: Campus Universitario Facultad de Ciencias y Tecnología Zona "El Tejar"  
 Tel. (591) (4) 6645648 - Fax (591) (4) 6643403 - Email ceanid@ujms.edu.bo - Casilla 51 -TARJIA-BOLIVIA

## ANEXO C-1

**TABLA DE RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MIEL  
DE YACÓN**

<b>Muestra</b>	<b>Masa de la miel (g.)</b>	<b>Volumen de la miel (ml.)</b>	<b>Densidad de la miel (g./ml.)</b>
<b>1</b>	118,496	89,553	1,323
<b>2</b>	87,190	64,700	1,348
<b>3</b>	81,543	60,661	1,344
<b>4</b>	103,561	76,730	1,350
<b>5</b>	97,980	73,832	1,327
<b>6</b>	100,611	74,300	1,354
<b>7</b>	77,935	57,777	1,349
<b>8</b>	109,695	81,806	1,341
<b>9</b>	112,043	84,041	1,333
<b>10</b>	76,954	57,215	1,345
<b>11</b>	107,883	80,510	1,340
<b>12</b>	115,543	85,441	1,352

**Fuente:** Elaboración Propia.

## ANEXO D-1

### TABLA DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE MIEL DE YACÓN MUESTRA 1



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CENTRO DE ANÁLISIS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO "CEANID"**  
 Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes  
 Miembro de la Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos "RELOAA"  
 Miembro de la Red Nacional de Laboratorios de Microorganismos  
 Laboratorio Oficial del Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria "SENASAG"



Alimentos 202/12

Página 2 de 2

#### Resultados de los Ensayos

Parámetro	Método	Unidad	Muestra-1 C78 PQ 493 308 304
Azúcares reductores	AOAC 923-09	%	40,08
Azúcares totales	AOAC 923-09	%	66,84
Densidad relativa (20°C)	NB 216-99		1,3562
Humedad	NB 383-80	%	21,48
Proteína total (son.23)	NB 496-81	%	2,43
Coliformes totales	NB 32005	NMP/g	0
Bacterias aerobias mesófilas	NB 32003	ufc/g	$1,0 \times 10^1$
Mohos y levaduras	NB 32006	ufc/g	$1,2 \times 10^3$

NB : Norma Boliviana

AOAC : Association of Official Agricultural Chemists

NOTA: Los resultados se refieren solo a la muestra ensayada.

Este informe de ensayo sólo puede ser reproducido en su forma total con la aprobación escrita del CEANID.  
 Los datos de la muestra y del muestreo fueron suministrados por el cliente.

c.c. Arch.



## ANEXO D-2

### TABLA DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE MIEL DE YACÓN MUESTRA 2



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CENTRO DE ANÁLISIS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO "CEANID"**  
 Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes  
 Miembro de la Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos "RELOAA"  
 Miembro de la Red Nacional de Laboratorios de Micronutrientes  
 Laboratorio Oficial del Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria "SENASAG"



Alimentos 202/12

Página 2 de 2

#### Resultados de los Ensayos

Parámetro	Método	Unidad	Muestra-2 07910-020 MB 068
Azúcares reductores	AOAC 923-09	%	38,15
Azúcares totales	AOAC 923-09	%	66,57
Densidad relativa (20°C)	NH 230-09		1,3826
Humedad	NH 385-80	%	24,12
Proteína total (N x 6,25)	NH 466-81	%	2,26
Coliformes totales	NH 32005	NMP/g	0
Bacterias aerobias mesófilas	NH 32003	ufc/g	$1,0 \times 10^1$
Mohos y levaduras	NH 32006	ufc/g	$1,0 \times 10^2$

NH : Norma Boliviana

AOAC : Association of Official Agricultural Chemists

NOTA: Los resultados, se refieren sólo a la muestra ensayada.

Este informe de ensayo sólo puede ser reproducido en su forma total con la aprobación escrita del CEANID.  
 Los datos de la muestra y del muestreo fueron suministrados por el cliente.



c.c. Arch.

cc Arch.

### ANEXO D-3

## TABLA DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE MIEL DE YACÓN MUESTRA 3



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
CENTRO DE ANÁLISIS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO "CEANID"  
Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes  
Miembro de la Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos "RELOAA"  
Miembro de la Red Nacional de Laboratorios de Micronutrientes  
Laboratorio Oficial del Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria "SENASAG"



Alimentos 202/12

Página 2 de 2

#### Resultados de los Ensayos

Parámetro	Método	Unidad	Muestra-3 000 10 421 000 200
Azúcares reductores	AOAC 923-09	%	33,19
Azúcares totales	AOAC 823-09	%	73,65
Densidad relativa (20°C)	NB 230-99		1,3791
Humedad	NB 383-80	%	26,32
Proteína total (N x 6,25)	NB 466-81	%	2,30
Coliformes totales	NB 32005	ufo/g	0
Bacterias aerobias mesófilas	NB 32001	ufo/g	< 10
Mohos y levaduras	NB 32006	ufo/g	6,0 x 10 <sup>1</sup>

NB: Norma Boliviana

AOAC: Association of Official Agricultural Chemists

NOTA: Los resultados se refieren sólo a la muestra ensayada.

Este informe de ensayo sólo puede ser reproducido en su forma total con la aprobación escrita del CEANID.  
Los datos de la muestra y del insectario fueron suministrados por el cliente.

c.c. Arch.



## ANEXO D-4

### TABLA DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE MIEL DE YACÓN MUESTRA 4



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
CENTRO DE ANÁLISIS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO "CEANID"  
Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes  
Miembro de la Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos "RELOAA"  
Miembro de la Red Nacional de Laboratorios de Micronutrientes  
Laboratorio Oficial del Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria "SENASAG"



Alimentos 202/12

Página 2 de 2

#### Resultados de los Ensayos

Parámetro	Método	Unidad	Muestra-4 481 FQ 422 988 367
Azúcares reductores	AOAC 923-09	%	35,30
Azúcares totales	AOAC 923-09	%	73,19
Densidad relativa (20°C)	NB 230-99		1,3609
Humedad	NB 383-80	%	25,80
Proteína total (N x 6,25)	NB 466-81	%	2,25
Coliformes totales	NB 32005	NMP/g	0
Bacterias aerobias mesófilas	NB 32003	ufc/g	< 10
Mohos y levaduras	NB 32006	ufc/g	$7,0 \times 10^4$

NB : Norma Boliviana

AOAC : Association of Official Agricultural Chemists

NOTA: Los resultados se refieren sólo a la muestra ensayada.

Este informe de ensayo sólo puede ser reproducido en su forma total con la aprobación escrita del CEANID.

Los datos de la muestra y del muestreo fueron suministrados por el cliente.

c.c Arch.



## ANEXO D-5

### °BRIX, TEMPERATURA Y TIEMPO PARA LA OBTENCION DEL PRODUCTO

<b>Muestra</b>	<b>°Brix</b>	<b>T. (°C)</b>	<b>TIEMPO (min.)</b>
<b>1</b>	70	50	71
<b>2</b>	70	55	95
<b>3</b>	74	50	76
<b>4</b>	74	55	83
<b>5</b>	70	50	68
<b>6</b>	70	55	98
<b>7</b>	74	50	70
<b>8</b>	74	55	94
<b>9</b>	70	50	62
<b>10</b>	70	55	96
<b>11</b>	74	50	84
<b>12</b>	74	55	92

**Fuente:** Elaboración Propia.







## ANEXO F-1

### ECUACIONES BASICAS PARA EL BALANCE DE MATERIA

El balance de materia se basa en la ley de la conservación de la materia prima enunciada por Lavoisier. El balance de materia se representa de la siguiente manera (Alvarado y Aguilera, 2001):

$$\text{Acumulación} = \text{Entradas} - \text{Salidas}$$

Cuando no existe acumulación dentro del sistema:

$$\text{Entradas} = \text{Salidas}$$

## ANEXO F-2

### ECUACIONES MATEMATICAS

Para determinar el rendimiento de la miel de yacón se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento: } \frac{\text{Entradas} - \text{Salidas}}{\text{Entradas}} \times 100$$

### ANEXO F-3

#### RESULTADOS DEL BALANCE DE MATERIA Y EL RENDIMIENTO DE LA MIEL

<b>Muestra</b>	<b>Jugo de yacón (gr.)</b>	<b>Miel de yacón (gr.)</b>	<b>Agua Evaporada (gr.)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
<b>1</b>	1040,520	135,679	786,220	14,717
<b>2</b>	997,165	110,314	773,173	12,486
<b>3</b>	863,772	103,182	599,098	14,692
<b>4</b>	1279,899	121,687	980,219	11,043
<b>5</b>	938,593	114,078	703,183	13,959
<b>6</b>	1047,904	121,041	782,095	13,402
<b>7</b>	987,778	104,908	731,036	12,550
<b>8</b>	1030,725	133,332	704,835	15,908
<b>9</b>	1022,136	134,153	697,030	16,140
<b>10</b>	953,810	99,585	723,696	12,096
<b>11</b>	998,322	127,716	731,771	14,860
<b>12</b>	1023,919	136,725	754,832	15,336

**Fuente:** Elaboración Propia.