

## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Características y propiedades del yacón.

La planta de yacón es herbácea, la altura de la planta de este tubérculo está entre 1 a 2.5 m. se reproduce mediante la semilla, consta de un solo tallo principal, rara vez ramificado. Este tubérculo contiene dos tipos de raíces que son: fibrosas y reservantes (Manrique, 2005).

- **Raíces fibrosas.-** Estas raíces son muy delgadas, su función principal es de sujetarse al suelo.
- **Raíces reservantes.-** Estas raíces son engrosadas, y de distinto color como ser blanco, crema o púrpura.

**Figura 1-1: Planta de yacón**



Fuente: Juan Seminario; fundamentos del yacón, (2003)

Este tubérculo tiene una cáscara muy fina y está adherida a su pulpa, la misma puede ser de color amarillo, medio anaranjado claro y a veces llega a tener rayas moradas dependiendo de la variedad de yacón. Este tubérculo acumula en su interior una cantidad

de agua significativa; esta característica hace que al realizarse la cosecha se pueda reventar el tubérculo, sufrir leves rajaduras o también puede romperse.

El peso del tubérculo es variable: en una misma planta puede variar entre 50 y 1000 g. aunque generalmente está entre 200 a 500 g (Polreich, 2003). Lo común en una planta de yacón es que ésta produzca entre 2 y 3 Kg. de raíces, aunque a veces pueda ocurrir que pueda producir entre 5 Kg, este aumento de eficiencia se logra con buenas prácticas en la agricultura como ser: uso adecuado del fertilizante, riego apropiado, control de las plagas, etc.

## **1.2 Composición química del yacón.**

La proporción de azúcar que contiene el yacón puede variar, dependiendo de los factores que puedan afectar la zona como ser: la época de siembra, cosecha, tiempo, temperatura de la post cosecha, pero se podría tomar en cuenta la siguiente composición (base seca): FOS 40 a 70 % sacarosa 5 a 15% y glucosa menos del 5%, las proteínas y lípidos se encuentran en pequeñas cantidades representando 2.4 a 4.3% y 0.14 a 0.43% del peso de la materia seca.

El mineral más abundante es el potasio, en un promedio de 230 mg/100g de materia fresca comestible, en menor cantidad se encuentra el calcio, fósforo, magnesio, sodio y hierro.

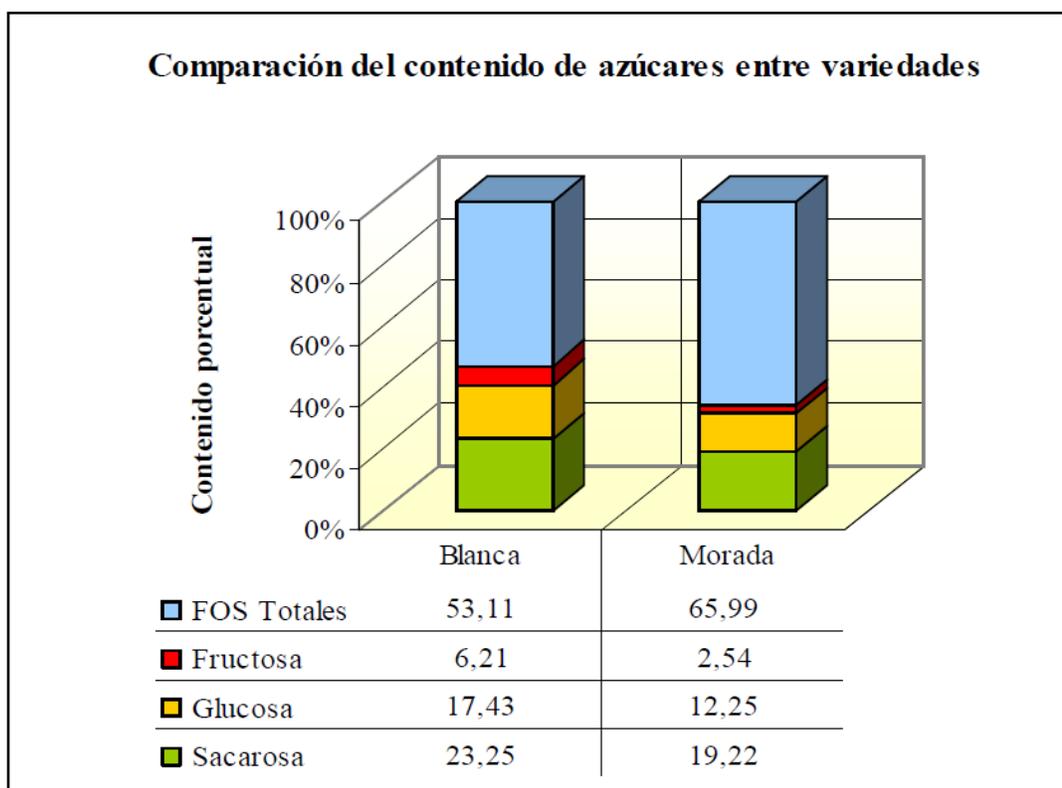
A continuación veremos la composición química de la materia prima:

### **Cuadro I-1: Composición química del yacón.**

N°	Característica	Unidad	Cantidad
1	Energía	Kcal	29,44
2	Sólidos solubles (°Brix)	°Brix	11
3	Acidez ( % ácido cítrico)	g/ml	3,8
4	pH		5,5
5	Agua	%	91,93
6	Proteína	%	0,32
7	Grasa	%	0,16
8	Carbohidratos	%	6,68
9	Fibra	%	0,1
10	Ceniza	%	0,81

Fuente: Jose Santos Chavez (2005).

**Grafico 1-1: Comparación del contenido de azúcares entre variedades**

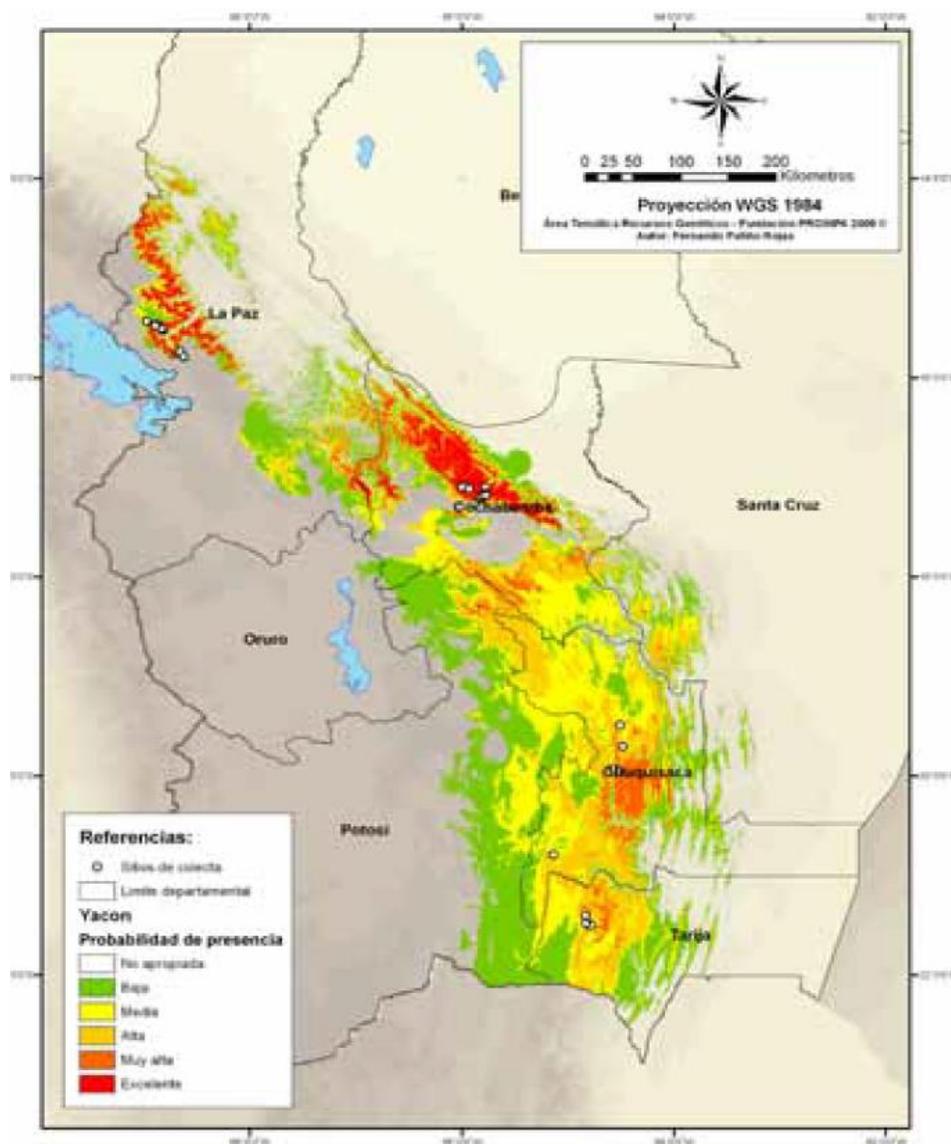


Fuente: Diana Lizeth López Torrez, (2007)

El contenido promedio de fructooligosacáridos presentes en una muestra de yacón puede ser variable, ya que también se debe tomar en cuenta qué clase de raíz es, blanca o morada.

### 1.3 Producción de yacón en Bolivia.

Figura 1-2: Distribución geográfica del yacón



Fuente: Catálogo de cultivares andinos, (2010)

En la siguiente figura se explica por los colores las zonas donde existen las plantaciones de yacón:

Color verde.- hay una cantidad de plantación muy baja.

Color amarillo.-la cantidad de plantación es media.

Color naranja.- la cantidad de plantación es alta.

Color rojo.- en esas zonas hay mayor cantidad de cultivo de yacón.

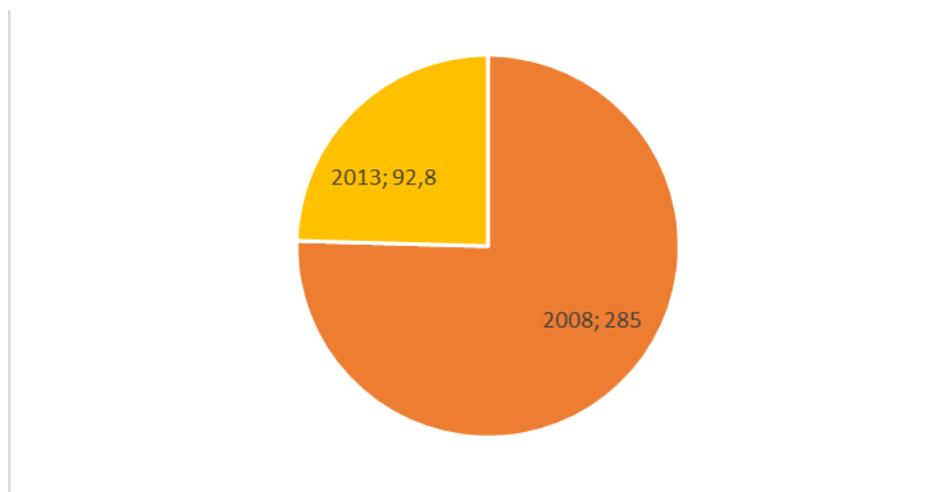
La región andina es el centro de una gran diversidad de tubérculos, raíces y cereales, sin embargo al pasar de los años éstos han ido perdiendo su demanda y por ello la producción agrícola ha disminuido.

**Cuadro I-2: Producción de yacón en Bolivia 2008-2013**

<b>Año</b>	<b>Superficie Hectáreas</b>	<b>Producción (Toneladas métricas)</b>	<b>Rendimiento (Kg/ha.)</b>
2008	104	285	2,74
2013	37,3	92,8	2,49

Fuente: INE, (2008-2014)

**Gráfico 1-2: Disminución del yacón en Bolivia.**



Elaboración: Propia (2017.)

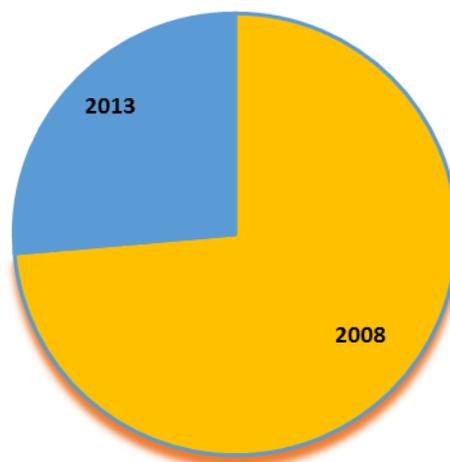
En el cuadro I-2 y el gráfico 1-2 se muestra como el yacón ha ido disminuyendo relativamente que la producción del año 2013 disminuyó en más de la mitad de la

producción del año 2008.

**Cuadro I-3: Producción de yacón en Tarija**

Año	Superficie Hectáreas	Producción (Toneladas métricas)	Rendimiento (Kg/ha.)
2008	8,5	24	2,67
2013	3,6	8,6	2,39

Fuente: INE, (2008-2014).



**Gráfico 1-3: Disminución del yacón en Tarija.**

Fuente: Elaboración propia, (2017).

En los dos cuadros presentados se ve la producción de yacón a nivel nacional y la producción en el departamento de Tarija. El yacón en nuestro país ha reducido su producción como se muestra en el cuadro (I-2, I-3) y los gráficos (1-1,1.2).

En la actualidad no se cuenta con estudios que demuestren los factores que intervienen en la reducción de la producción de yacón en Bolivia.

Por la observación realizada en el mercado local se considera que la producción de yacón ha decrecido porque la población aún no tiene un conocimiento real de los beneficios de este tubérculo ya que su consumo puede ser crudo o ya transformado en cualquier derivado como ser: jarabe de yacón, té de yacón, hojuelas secas de yacón, etc.

La mayoría de la gente lo consume sólo por gusto o porque quiere saber o conocer su sabor de este tubérculo, y por ese motivo la comercialización del yacón en Bolivia es en mercados y ferias.

Bolivia no exporta yacón, por este motivo no hay una demanda elevada de este producto y los agricultores al no haber la demanda adecuada tienden a disminuir el producto cultivado.

A continuación mostraremos la composición química del yacón en Bolivia

**Cuadro I-4: Composición química del yacón en Bolivia**

<b>Característica</b>	<b>Unidad</b>	<b>Variedad Blanca</b>	<b>Variedad Morada</b>
Humedad	% base seca	83,56	85,21
Proteína	% base seca	2,59	2,03
Fibra Cruda	% base seca	16,91	17,01
Carbohidratos Soluble Totales	% base seca	71,8	72,59
Almidón	% base seca	2,61	3,02
Ceniza	% base seca	5,1	4,4
Grasas y otros	% base seca	0,99	0,95

Fuente: Diana Lizet López Torrez, (2007)

#### 1.4 Jarabe de yacón.

Se realizaron estudios de la elaboración del jarabe de yacón en el Perú y en Cochabamba – Bolivia, sin embargo en Tarija no se realizó ningún estudio hasta la fecha.

El jarabe de yacón está compuesto principalmente de carbohidratos de un 60 a 70% y agua al 25%.

Las proteínas representan entre el 1 y el 2% del peso fresco, una cantidad mínima de grasas que es 0.1% y el potasio que este mineral si tiene una cantidad importante que es 1% la cantidad que representa, pero hay que tener en cuenta que las cantidades que existan en la composición química puede variar ya que hay variedades de yacón.

**Cuadro I-5: Resultados del análisis Físicoquímico del Jarabe de Yacón**

Nº	Característica	Unidad	Cantidad
1	Energía	Kcal	201,42
2	Sólidos solubles	°Brix	71
3	densidad	g/ml	1,344
4	pH		5
5	Agua	%	29,61
6	Proteína	%	0,06
7	Grasa	%	1,78
8	Carbohidratos	%	66,29
9	Fibra	%	0,2
10	Ceniza	%	2,06

Fuente: Br. José Santos Chávez Montalbán, (2005)

**Cuadro I-6: Análisis microbiológico del jarabe de yacón.**

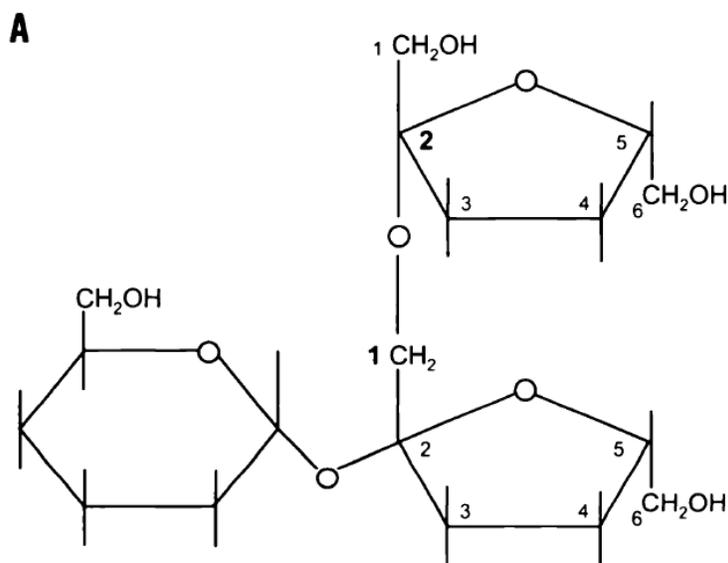
Ensayo	Resultado
Mohos (UFC/g)	< 10
Levadura Osmófila (UFC/g)	< 10

Fuente: Br. José Santos Chávez Montalbán (2005)

##### 1.4.1 Los fructooligosacáridos

Son una fibra soluble compuesta por una molécula de glucosa ligada a un número que es variable entre 2 a 10 moléculas de fructosa. Los enlaces que mantienen unidas las moléculas de fructosa resisten la hidrólisis de las enzimas digestivas (Manrique,2005).

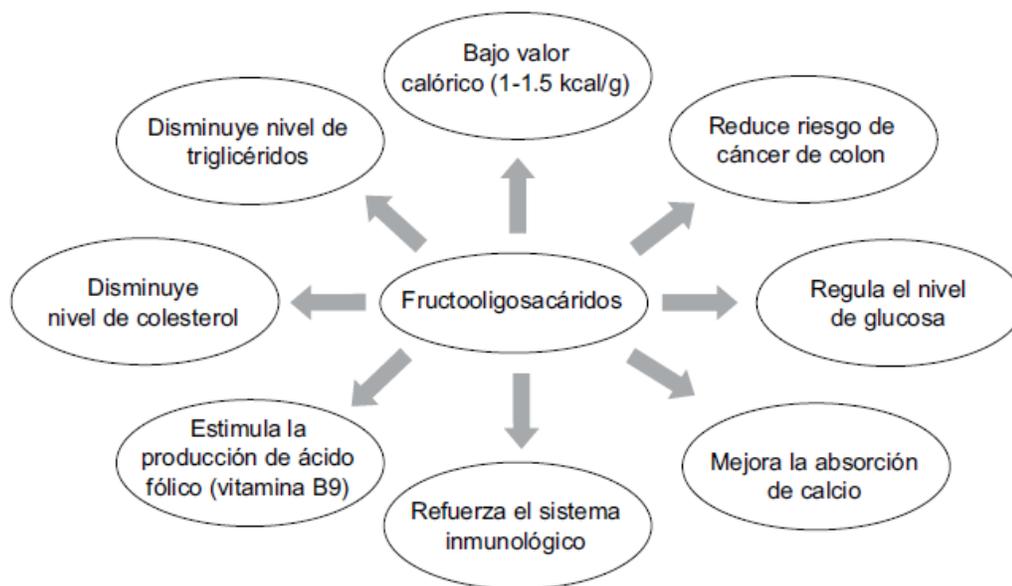
**Figura 1-3: Estructura de los Fructooligosacáridos (FOS).**



Fuente: Manrique (2003).

A continuación se presentan los beneficios para la salud que ofrece este jarabe, debido a la presencia de FOS:

**Figura 1-4: Beneficios de los Fructooligosacáridos (FOS).**



Fuente: Manrique (2003).

A continuación se explicará por qué la FOS tiene los beneficios presentados en la figura 1-4.

#### **1.4.1.1. Diabetes, obesidad y sobrepeso.**

Los fructooligosacáridos son azúcares que tienden a una baja digestibilidad en los seres humanos, y por este motivo el aporte de calorías al organismo es menor que el de la mayoría de carbohidratos. Los FOS son sustitutos hipocalóricos adecuados, ya que estos mismos representan una cuarta parte del valor calórico del almidón o de la sacarosa, y pueden ser incluidos en los regímenes dietéticos para disminuir el peso de la persona que lo desee.

Estos azúcares tienden a un comportamiento de una fibra dietética, ya que éstos no son absorbidos en el torrente sanguíneo en forma de glucosa; estos azúcares resisten la hidrólisis de las enzimas digestivas humanas, y pasan al colon para recién ser fermentados y producir ácidos grasos de cadena corta (acetato, propionato, butirato), y por todo esto los FOS no elevan la concentración de glucosa en la sangre (Iván M 2003).

#### **1.4.1.2. Colesterol y triglicéridos.**

Según estudios realizados en laboratorios se puede explicar que el organismo humano no logra tolerar dosis en grandes cantidades de FOS. Dosis superior a 20 ó 30 g. de FOS/día, ocasiona flatulencias y puede generar en el organismo un efecto laxante, en cambio las ratas de laboratorio soportan más dosis de FOS sin manifestar ningún malestar o efecto secundario (Iván M 2003).

#### **1.4.1.3. Asimilación de calcio.**

Según estudios realizados, el consumo de FOS ayuda a una mejor asimilación de calcio en ratas de laboratorio. En experiencias con personas los resultados son contradictorios, en algunos afirman que ayuda a una mejor asimilación de calcio, pero otros sugieren que no tienen ningún efecto. Pero estudios más recientes muestran que los FOS ayudan a una mejor asimilación de calcio (Anderson 2001).

#### **1.4.1.4. Cáncer de colon y fortalecimiento del sistema inmunológico.**

Los diferentes estudios que se hicieron en ratas de laboratorio han podido demostrar que ciertas bacterias del colon son productoras de sustancias tóxicas y también son cancerígenas y éstas se disminuyen si se añade a la dieta FOS. Para este estudio no existen muchos estudios realizados, pero un grupo de investigadores de Japón sugiere que los FOS podrían ser útiles para prevenir y tratar el cáncer de colon, pero para asegurar esto se tendría que hacer una investigación clínica sobre el tema (Iván M 2003).

#### **1.4.1.5. Estreñimiento.**

Un efecto positivo que se da por el consumo de FOS es que las heces se hacen más blandas, y no llegan a constituir una diarrea y por ello se dice que es positivo. Aun no hay conclusiones definitivas sobre este efecto pero si hay sobre el efecto de laxante que genera su consumo y esto podría ser aprovechado para el tratamiento del estreñimiento (Anderson 2001).

#### **1.4.2. Identificación del jarabe de yacón.**

La elaboración del jarabe de yacón consiste en extraer jugo del tubérculo para luego realizar una concentración de azúcares del mismo tubérculo hasta alcanzar un valor de 73 °Brix al concluir el proceso.

Sabiendo que la concentración de azúcares en el tubérculo esta entre el rango de 8 y 12 °Brix, significa que la cantidad de agua a evaporarse es apreciable, ya que para poder lograr una concentración final adecuada del jarabe tendríamos que hacer evaporar agua (Manrique, 2005).

Es un producto natural, orgánico y con alto contenido de fibra, logrando de esta forma presentarse como una alternativa saludable para endulzar alimentos y bebidas.

Por su alto contenido de fructooligosacáridos el jarabe permite ser utilizado en la industria alimentaria, como un edulcorante bajo en calorías y promover la restauración de la flora intestinal. Además el jarabe ayuda a la estimulación de la formación de bacterias

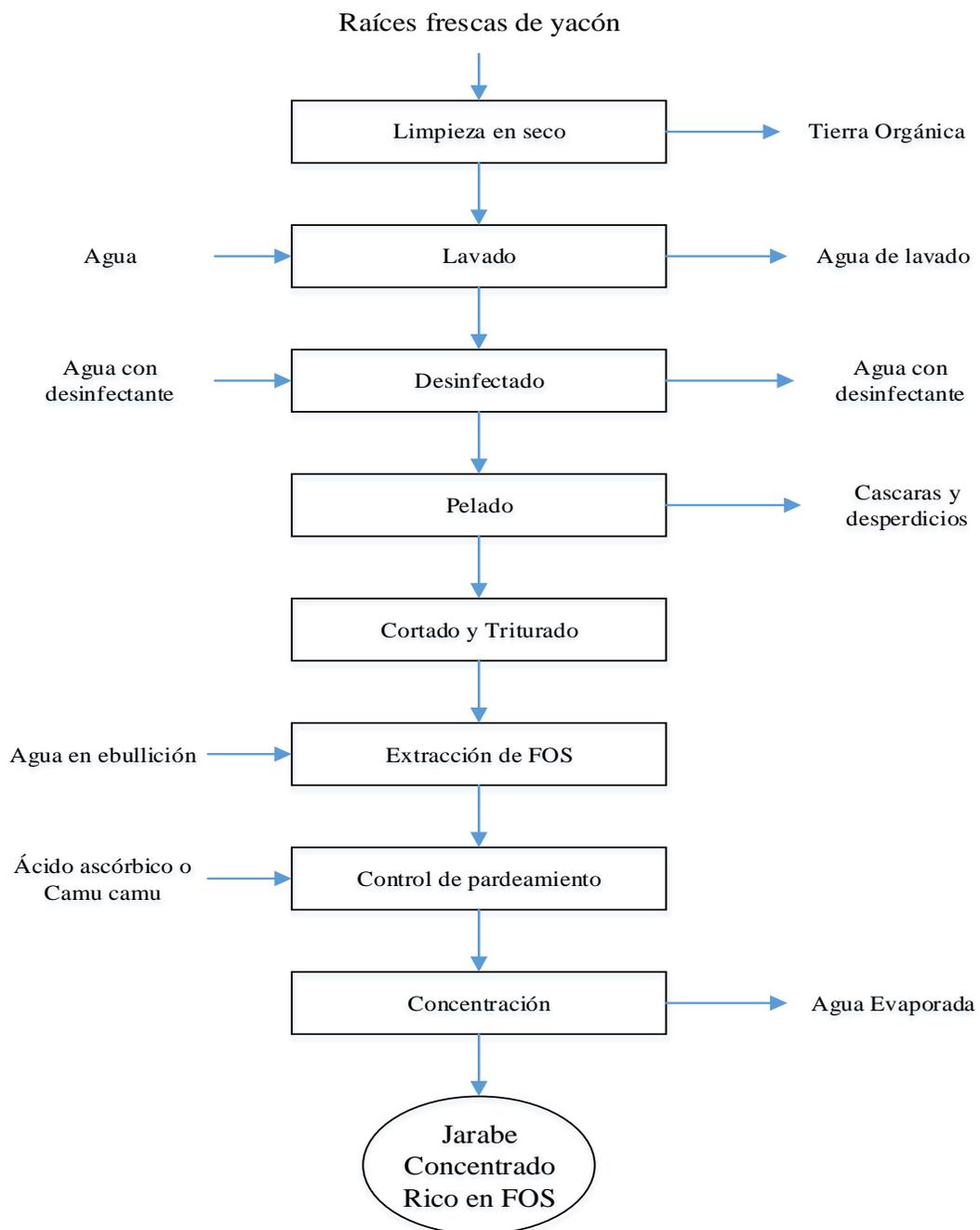
(bifidobacterias), mismas que ayudan a otras bacterias que se ocupan de la putrefacción de los residuos que se encuentran en el intestino grueso (Seminario, 2005).

#### **1.4.3. Proceso de elaboración del jarabe rico en fructooligosacáridos a base de yacón.**

A modo de referencia se presentará la elaboración del jarabe rico en FOS, mismo proceso fue extraído de la bibliografía que la Universidad Católica de Cochabamba-Bolivia.

##### **1.4.3.1. Elaboración de jarabe rico en fructooligosacáridos a partir de yacón producido en Cochabamba.**

**Figura 1-5: Diagrama elaboración de jarabe concentrado rico en FOS**



Fuente: Diana Lizeth López Torrez, (2007).

#### 1.4.3.1.1. Limpieza en seco.

Esta etapa se realiza y se va sacando la tierra de la raíz, esto se hace con la ayuda de un cepillo en seco para lograr eliminar la mayor cantidad de tierra posible.

#### **1.4.3.1.2. Lavado.**

El lavado se lo realiza con abundante agua para eliminar la totalidad de la tierra que se encuentra en el yacón.

#### **1.4.3.1.3. Desinfectado.**

La desinfección se la realiza con hipoclorito de sodio a una concentración de 200 partes por millón (ppm), esta etapa se la realiza para eliminar la mayor cantidad de carga microbiana que posee este tubérculo. El tiempo de desinfectado es aproximadamente 5 min

+

#### **1.4.3.1.4. Pelado.**

El pelado se lo realiza después del desinfectado, este proceso se lo puede realizar mediante un escaldado a vapor en un tanque de acero inoxidable por un lapso de tiempo corto, y después del escaldado se procede al pelado con cuchillos de acero inoxidable para así eliminar los restos de cáscara que quedaron en el tubérculo.

#### **1.4.3.1.5. Triturado y cortado.**

El cortado se realiza después del pelado, es cortado es para poder procesar la materia prima, se la tritura en una licuadora de acero inoxidable, e inmediatamente se procede al control del pardeamiento y se utiliza ácido ascórbico al 99.78% de pureza y también se puede utilizar la pulpa del camu camu con 2.99% de contenido de ácido ascórbico.

#### **1.4.3.1.6. Extracción de FOS.**

En esta etapa para la separación del bagazo y el jugo de yacón se debe realizar el filtrado, debemos tomar dos etapas de filtración, la primera sería filtración utilizando una tela porosa y la segunda sería utilizando un papel filtro de N° 10.

#### **1.4.3.1.7. Control de pardeamiento.**

En el control del pardeamiento se utiliza ácido ascórbico para evitar el cambio de un color

claro a uno oscuro.

En esta bibliografía se utiliza aproximadamente 2 g de ácido ascórbico por Kg de jugo de la raíz.

#### **1.4.3.1.8. Concentración.**

La concentración del zumo de yacón se puede realizar en un rotavapor hasta alcanzar una concentración de 70+/-2 °Brix.

Por último el envasado se realiza a una temperatura elevada, la temperatura del tanque debe ser mayor a 85 °C.

### **1.5. Normas de calidad del Jarabe.**

Las normas de calidad para el jarabe de yacón son muy importantes, ya éstas aseguran que el producto tenga una buena calidad y que sea apto para el consumo humano.

Por este motivo se tomará en cuenta dos normas citadas a continuación: norma de jarabes en México y norma del jarabe de yacón en Perú.

#### **1.5.1. Norma general de jarabes en México**

A continuación se muestra las especificaciones sensoriales, químicas y físicas de cualquier jarabe elaborado en cualquier industria de México que debe de cumplir en el siguiente cuadro:

**Cuadro I-7: Especificaciones sensoriales de jarabes en México**

<b>Propiedades</b>	<b>Descripción</b>
Color	Característico
Olor	Característico y libre de olores extraños
Sabor	Dulce, característico y libre se sabores extraños

Consistencia	Fluido viscoso
--------------	----------------

Fuente: Normas mexicanas. Dirección General de Normas, (2016).

### Cuadro I-8: Especificaciones químicas y física de los jarabes

Especificaciones	Mínimo	Máximo
Cenizas %	0	3
pH	3	7
°Brix	59,1	-

Fuente: Normas mexicanas. Dirección General de Normas, (2016).

Estos dos cuadros muestran las normas a las cuales se deben sujetar los productores de cualquier tipo de jarabe.

#### 1.5.2. Norma de jarabe de Yacón (Peruana).

### Cuadro I-9: Especificaciones sensoriales y físicas del jarabe de yacón.

Especificaciones	Mínimo	Máximo
°Brix	72	75
Color	Característico, marrón	-
pH	4,2	5,8
Sabor	Dulce	-
Consistencia	Viscoso	-

Fuente: Normas Peruanas (2010).

En esta norma observamos las características específicas que debe tener el jarabe de yacón.

Las normas de calidad de México y del Perú son similares, por tanto no existe ninguna diferencia entre los parámetros que se utiliza. Al no existir normas bolivianas, se asumió las dos normas nombradas anteriormente, para el presente estudio.

El pH, entre 4.2 y 5.8. Se debe evitar que este parámetro baje a menos de 4 para poder impedir que los fructooligosacáridos se conviertan en azúcares simples durante el almacenamiento del jarabe.

### **1.6. Dosis de consumo.**

Como se mencionó anteriormente es de conocimiento que dosis muy elevadas de consumo de FOS ocasionan flatulencias, presión abdominal y diarrea, pero esto sólo sucede si se toman dosis superiores a 20 g FOS/ día, por este motivo se planteó en estudios anteriores que no se debe exceder los 0.3 y 0.4 g por cada kilogramo de peso corporal en hombres y mujeres respectivamente.

Un estudio que se realizó en el Perú, dio como respuesta que la glicémica postprandial del jarabe de yacón en personas diabéticas tipo 2, es baja. Esto da como resultado que este producto puede ser consumido por personas que padecen diabetes tipo 2 debido a que su efecto tiene baja elevación de glucosa en la sangre (seclen et al.2005).

## **CAPÍTULO II**

### **PARTE EXPERIMENTAL DE LA ELABORACIÓN DEL JARABE DE YACÓN.**

#### **2.2. Evaluación del mejor método para la realización de la concentración del yacón, para obtener un jarabe rico en fructooligosacáridos.**

Se tienen en consideración 2 procesos como alternativas, en las mismas se resaltan el tema económico, rendimiento y calidad del producto.

La primera alternativa, es realizar la concentración de los FOS, en una marmita, a presión atmosférica.

La segunda alternativa, es realizar la concentración de los FOS, en un rotavapor, con una presión al vacío. El rotavapor se encuentra disponible en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de Ingeniería Química.

**Cuadro II-1: Comparación económica de los dos métodos.**

N°	Nombre de la alternativa	Inversión en equipamiento y accesorios (Bs)	Inversión en pruebas (Bs)	Total a invertir (Bs)	Tiempo de conclusión de las pruebas (semanas)
1	Presión Atmosférica	650	3450	4100	6 semanas
2	Presión al Vacío	290	1164	1454	4 semanas

Fuente: Elaboración propia (2016).

**Cuadro II-2: Comparación de resultados de eficiencia de los dos métodos.**

Yacón	Jarabe
16 Kg de yacón fresco	1 Kg de jarabe a presión atmosférica
14 Kg de yacón fresco	1 Kg de jarabe a presión al vacío

Fuente: Elaboración propia (2016).

**Cuadro II-3: Evaluación de los equipos y condiciones para la concentración de jarabe de yacón**

Factor Evaluado	Comentarios del evaluador	Concentración a presión atmosférica	Concentración al vacío
<b>Aplicabilidad al</b>	Los procesos de concentración al vacío y a presión atmosférica	<b>3</b>	<b>5</b>

<b>Factor Evaluado</b>	<b>Comentarios del evaluador</b>	<b>Concentración a presión atmosférica</b>	<b>Concentración al vacío</b>
<b>proceso</b>	para la obtención de jarabe rico en fructooligosacáridos. El proceso de concentración al vacío tiene mejor rendimiento en la obtención de fructooligosacáridos.		
<b>Generación de pérdidas</b>	En los dos tipos de evaporadores se generan pérdidas.	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Facilidad para tomar la muestra y medir los °Brix del jarabe</b>	El más cómodo para poder tomar la muestra es la marmita, dado que la misma trabaja a presión atmosférica (abierta en todo momento).	<b>5</b>	<b>3</b>
<b>Tiempo concentración</b>	El método más rápido para la concentración es al vacío.	<b>3</b>	<b>5</b>
<b>Facilidad del conseguir el equipo en laboratorio.</b>	El equipo al vacío se encuentra en el laboratorio de procesos.	<b>3</b>	<b>5</b>
<b>Cantidad de materia prima a procesar.</b>	Al utilizar el rotavapor se disminuye la cantidad de materia prima a utilizarse para los análisis	<b>3</b>	<b>5</b>

<b>Factor Evaluado</b>	<b>Comentarios del evaluador</b>	<b>Concentración a presión atmosférica</b>	<b>Concentración al vacío</b>
	deseados		
<b>Costos.</b>	Para realizar las pruebas la concentración al vacío es la más económica, ya que, a menor presión del sistema la evaporación es mayor y se alcanza a menor temperatura, razón por la cual necesita aplicar menos energía, significando un ahorro en gastos energéticos.	<b>3</b>	<b>5</b>
<b>Operación y capacidad</b>	La operación de la concentración al vacío es la más óptima para realizar este análisis, ya que es el de menor capacidad y de uso sencillo, y se trabaja a una menor temperatura de ebullición.	<b>3</b>	<b>5</b>

Elaboración: propia (2016).

**Cuadro II-4: Evaluación para la concentración de jarabe presión atmosférica**

<b>Concentración a presión atmosférica</b>					
<b>N°</b>	<b>A %</b>	<b>B Parámetros evaluados</b>	<b>C CALIFICACIÓN</b> 0 no aplica 1 deficiente 3 adecuado 5 muy bueno	<b>D C/5</b>	<b>E D*A</b>
1	20	Aplicabilidad al proceso	3	0.6	12
2	5	Generación de pérdidas	3	0.6	3
3	15	Facilidad para medir los °Brix	5	1	15
4	15	Tiempo de concentración	3	0.6	9
5	10	Facilidad de conseguir el equipo	3	0.6	6
6	10	Cantidad de materia prima a procesar	3	0.6	6
7	10	Costos	3	0.6	6
8	10	Operación y capacidad	3	0.6	6
9	5	Entorno	3	0.6	3
SUMA	100				66

Elaboración: propia (2016).

**A** = Valores ponderados que la suma de todos los valores debe llegar a 100.

**B** = Parámetros evaluados.

**C** = Criterio de calificación utilizada para el método.

**D** = Calificación asignada a cada rubro donde C se divide entre la calificación máxima.

**E** = Calificación global del proceso evaluado bajo condiciones ponderadas de la columna A.

#### **Cuadro II-5: Evaluación para la concentración de jarabe a presión a vacío**

<b>Concentración a presión al vacío</b>					
<b>N°</b>	<b>A</b> %	<b>B</b> Parámetros evaluados	<b>C</b> CALIFICACIÓN 0 no aplica 1 deficiente 3 adecuado 5 muy bueno	<b>D</b> C/5	<b>E</b> D*A
1	20	Aplicabilidad al proceso	5	1	20
2	5	Generación de pérdidas	3	0.6	3
3	15	Facilidad para medir los °Brix	3	0.6	9
4	15	Tiempo de concentración	5	1	15
5	10	Facilidad de conseguir el equipo	5	1	10
6	10	Cantidad de materia prima a procesar	5	1	10
7	10	costos	5	1	10
8	10	Operación y capacidad	5	1	10
9	5	Entorno	5	1	5
SUMA	100				92

Elaboración: propia (2016).

**A** = Valores ponderados que la suma de todos los valores debe llegar a 100.

**B** = Parámetros evaluados.

**C** = Criterio de calificación utilizada para el método.

**D** = Calificación asignada a cada rubro donde C se divide entre la calificación máxima.

**E** = Calificación global del proceso evaluado bajo condiciones ponderadas de la columna A.

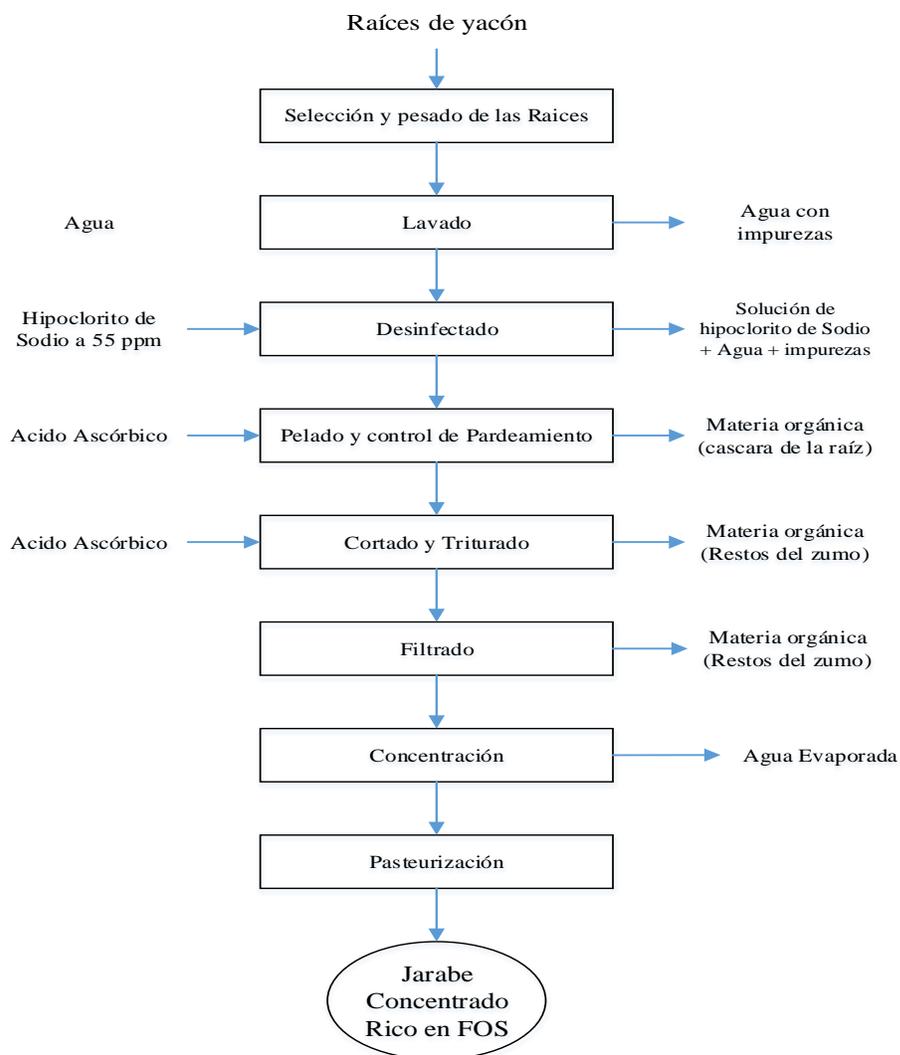
Se vio por conveniente escoger el método al vacío, porque el consumo de materia prima es mucho menor utilizando el rotavapor, ya que en la marmita se debe trabajar con cargas llenas, por razones energéticas y organolépticas. La eficiencia del método de concentración al vacío es mucho mejor ya que, se obtiene la misma cantidad de producto con una cantidad menor de materia prima y el tiempo de concentración en el rotavapor es menor que en la concentración a presión atmosférica.

En este sentido el mejor método para realizar este proceso de concentración sería, concentrando al vacío por medio de un rotavapor mismo que se encuentra disponible en el laboratorio de Operaciones Unitarias.

### 2.3. Elaboración de jarabe rico en fructooligosacáridos, mediante el método a presión al vacío.

A continuación se presenta el diagrama de flujo utilizado para la obtención del Jarabe de Yacón Rico en FOS:

**Figura 2-1: Elaboración de un jarabe rico en fructooligosacáridos**



Elaboración: propia (2016).

#### 2.3.1. Selección y pesado de las raíces.

Se debe hacer una selección para poder eliminar toda materia prima que esté dañada o que esté en mal estado para ser procesada.

Para la selección de las raíces se la realizó en forma visual, se separó raíces en mal estado y las que tenían cortes.

Se pesó la materia prima en una balanza, utilizando 1 Kg de raíces para la elaboración del jarabe.

### **2.3.2. Lavado.**

La materia prima una vez pesada se procede a la eliminación de la tierra con un cepillo, una vez terminado el anterior proceso se procede lavar las raíces con abundante agua.

En este proceso se empieza con pérdidas, pero son mínimas, así que no se las considera.

### **2.3.3. Desinfectado.**

Se utilizó hipoclorito de sodio a una concentración de 55 ppm para la desinfección de la materia prima.

Se diluye el hipoclorito de sodio en agua para proceder al colocado de las raíces en la solución por 5 minutos este proceso se lo realiza con la finalidad de eliminar la carga microbiana del yacón, una vez ya hecha la desinfección se enjuaga con agua para poder sacar restos de hipoclorito que se puedan quedar en la raíz.

### **2.3.4. Pelado y control del pardeamiento.**

En esta etapa se debe cuidar la oxidación de la materia prima, ya que su pardeamiento es casi inmediatamente.

Antes de realizar el pelado se debe pesar el ácido ascórbico de acuerdo a la cantidad de agua que se utilizará, en este caso se utilizó un litro de agua para sumergir las raíces con 2.02 g. de ácido ascórbico.

El pelado se realiza manualmente con el uso de peladores domésticos, una vez pelada la raíz se sumerge en la solución de ácido ascórbico preparada anteriormente para evitar el pardeamiento ya que este proceso es inmediato e irreversible.

### **2.3.5. Cortado y triturado.**

El cortado se da una vez se termina con el pelado; proceso que se da para que el yacón pueda entrar a la extractora.

Antes de llevar la raíz a la extractora se debe de pesar la raíz pelada y sacar una relación para poder pesar el ácido ascórbico, hasta controlar el pardeamiento.

Una vez pesado el zumo de yacón se debe tomar el °Brix, pH, color, olor, sabor.

#### **2.3.6. Filtrado.**

La filtración se la hace después de la extracción para eliminar algunos residuos que pueden haber quedado después de la extracción.

#### **2.3.7. Concentración.**

La concentración se hace en un rotavapor a presión de vacío, el zumo de 9 °Brix a 70 °Brix, este concentrador permite que el agua se evapore a una temperatura menor a la de ebullición normal.

#### **2.3.7. Pasteurización.**

Esto se lleva a cabo en el mismo equipo, aumentando la temperatura bruscamente durante 5 a 10 min.

En esta operación se sigue evaporando el agua por lo que aumenta los °Brix de 70 a 74 °Brix.

### **2.3. Equipos.**

#### **2.3.1. Rotavapor.**



**Fotografía 2.1: Rotavapor**

Elaboración: propia (2017).

El rotavapor se lo utilizó para poder concentrar el jugo de yacón al vacío, con el objetivo de obtener un jarabe rico en fructooligosacáridos; este equipo se lo encuentra en el laboratorio de operaciones unitarias.

### **2.3.2. Agitador magnético.**

**Fotografía 2.2: Agitador magnético.**



Elaboración: propia (2017).

El agitador magnético es un dispositivo electrónico que utiliza un campo magnético para mezclar de manera automatizada un solvente y uno o más solutos.

El agitador magnético tiene una barra magnética de agitación; esta barra magnética se deja deslizar dentro de un contenedor o de un vaso de precipitado conteniendo algún líquido para agitarlo.

### 2.3.3. Balanza digital de peso máximo 0.5 g.

Fotografía 2.3: Balanza digital 0.5 g



Elaboración: propia (2017).

La balanza digital de precisión, se utilizó para pesar las dosificaciones de ácido ascórbico; esta balanza fue importante dado que cumplía con las siguientes características:

Peso máximo 510 g.

Peso mínimo 1 g.

Precisión de la balanza 0,001 g.

Error de la balanza 0,01.

### 2.3.4. Balanza digital de peso máximo 5 Kg.

**Fotografía 2.4: Balanza digital.**



Elaboración: propia (2017).

La balanza digital presentada, fue utilizada para poder pesar la materia prima, dado su mayor capacidad de masa, siendo sus características las siguientes características: Peso máximo 5 Kg; Peso mínimo 1 g.

### **2.3.5. Brixómetro.**

**Fotografía 2.5: Brixómetro ivymen.**



Elaboración: propia (2017).

El brixómetro fue un equipo de suma importancia, puesto que con él se determinó, los grados Brix del jugo y del concentrado final, los que tienen las siguientes características.

Rango índice de refracción 1.300 nd a 1710 nd.

Solidos disueltos 0-85%.

Temperatura de rango 0 °C a 80 °C.

La película debe ser transparente u opaco, la misma debe tener un espesor de 0.0001 mm o mayor.

Voltaje de lámpara 6.3 VAC.

### **2.3.6. pH-metro.**

**Fotografía 2.6: pH-metro digital.**



Elaboración: propia (2017).

Con el pH metro se pudo medir el pH del inicio de la materia prima, el pH del zumo de yacón con ácido ascórbico y el pH final del jarabe y sus especificaciones técnicas son las siguientes:

Rango de medición 0,00 a 14.00 pH.

Error de medición (+-) 0,2 pH.

Resolución 0,1 pH.

Temperatura 0 °C a 50 °C.

Precisión 0,1 pH.

### 2.3.7. Extractora.

**Fotografía 2.7: Extractora.**



Elaboración: propia (2017).

La extractora se la utilizo para extraer el jugo del yacón sus características son las siguientes:

Potencia 700 W.

Orificio de entrada 75 mm.

## 2.4. Material de laboratorio y utensilios

### 2.4.1. Vasos de precipitación.

**Fotografía 2.8: Vasos de precipitación**



Elaboración: propia (2017).

El vaso de precipitación se lo utilizó para contener el zumo de yacón.

### 2.4.2. Pissetas.

**Fotografía 2.9: Pissetas.**



Elaboración: propia (2017).

Fue utilizado para el lavado de algunos materiales que se utilizó para la práctica.

### 2.4.3. Tubos de ensayo

**Fotografía 2.10: Tubos de ensayo.**



Elaboración: propia (2017).

Los tubos de ensayos fueron utilizados para poner las primeras pruebas que se realizó, ya que las mismas se hicieron con poca materia prima.

#### 2.4.4. Bandejas



**Fotografía 2.11: Bandeja.**

Elaboración: propia (2017).

Las bandejas fueron utilizadas para el almacenamiento de la materia prima, ya pelada la materia prima se la debe poner en un recipiente con agua y ácido ascórbico.

#### 2.4.5. Pelador de tubérculo y cuchillo

**Fotografía 2.12: Pelador de tubérculos y cuchillo**



Elaboración: propia (2017).

El pelador de tubérculos se lo utilizo para pelar el yacón, y el cuchillo se empleó para el troceado de la materia prima (yacón).

## 2.5. Reactivos.

### 2.5.1. Ácido ascórbico ( $C_6H_8O_6$ ).

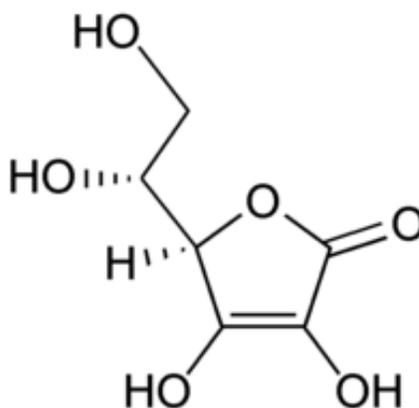
Este reactivo es para neutralizar la oxidación de la materia prima.

**Fotografía 2.13: Ácido ascórbico.**



Elaboración: propia (2017).

**Figura 2.2: Estructura del ácido ascórbico.**



Elaboración: propia (2017).

El ácido ascórbico se lo utilizó para poder evitar la oxidación del yacón.

### 2.5.2. Hipoclorito de sodio (NaClO).

**Fotografía 2.14: Hipoclorito de sodio.**



Elaboración: propia (2017).

El hipoclorito fue utilizado para desinfectar los tubérculos (yacón), con esto eliminamos la mayor cantidad de carga microbiana

### 2.6. Diseño Experimental.

Para la realización de este estudio se hicieron el siguiente diseño experimental:

#### 2.4.1. Variables Independientes o Factores.

Son aquellas variables que pueden ser manipuladas en el laboratorio:

- Concentración de ácido ascórbico ( $C_6H_8O_6$ ).
- Tiempo de concentración (t).
- Temperatura (T).

**Cuadro II-6: Tabla de Niveles y Variables.**

Variable independiente	Código	Niveles		
		1	2	3
Concentración de ácido ascórbico  (% P/P)	<b>AS</b>	0%	0.2%	0,5%
Tiempo de concentración  (min)	<b>t</b>	35	40	45
Temperatura de concentración  (°C)	<b>T</b>	80	85	90

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

#### 2.4.2. Variables Dependientes.

Son aquellas que cambian al variar las variables independientes, también se las denominan variables de control, ya que permiten hacer un seguimiento antes y después del proceso.

- pH.
- Presencia de pardeamiento.
- concentración.

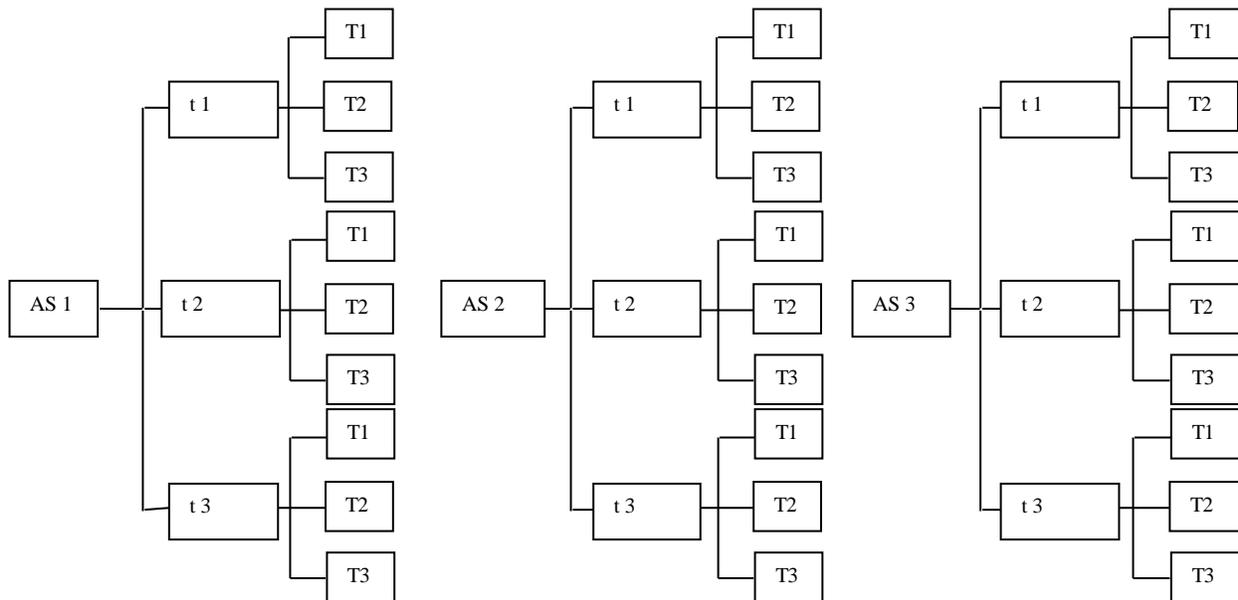
#### 2.4.3. Diseño Factorial.

El diseño experimental obtenido se presenta a continuación:

Clase de Diseño:	Factorial Multinivel
Numero de Factores Experimentales:	3
Niveles:	3
Número de ejecuciones	$3^3 = 27$

Las rutas de la experimentación son las siguientes.

**Figura 2-3: Rutas de Experimentación.**



Fuente: Elaboración propia (2016)

Ahora mostraré cómo se harán las 27 pruebas que se fijan en el diseño factorial.

**Cuadro II-7: Primera ruta de experimentación.**

<b>Concentración de ácido ascórbico 0%</b>		
<b>N°</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
1	35	80
2	35	85
3	35	90
4	40	80
5	40	85
6	40	90
7	45	80
8	45	85
9	45	90

Fuente: Elaboración propia (2016).

En el Cuadro II – 7, se muestra con qué concentración se trabajará en las primeras nueve pruebas, que es 0% de ácido ascórbico, con los tiempos de 35, 40 y 45 minutos en el rotavapor a las temperaturas de 80, 85 y 90 °C.

**Cuadro II-8: Segunda ruta de experimentación.**

<b>Concentración de ácido ascórbico 0,2%</b>		
<b>N°</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
10	35	80
11	35	85
12	35	90
13	40	80
14	40	85
15	40	90
16	45	80
17	45	85
18	45	90

Fuente: Elaboración propia (2016).

En el Cuadro II – 8, se muestra con qué concentración se trabajará en las segundas pruebas que son nueve con una concentración de 0,2% de ácido ascórbico, con los tiempos de 35, 40 y 45 minutos en el rotavapor a las temperaturas de 80, 85 y 90 °C.

**Cuadro II-9: Tercera ruta de experimentación.**

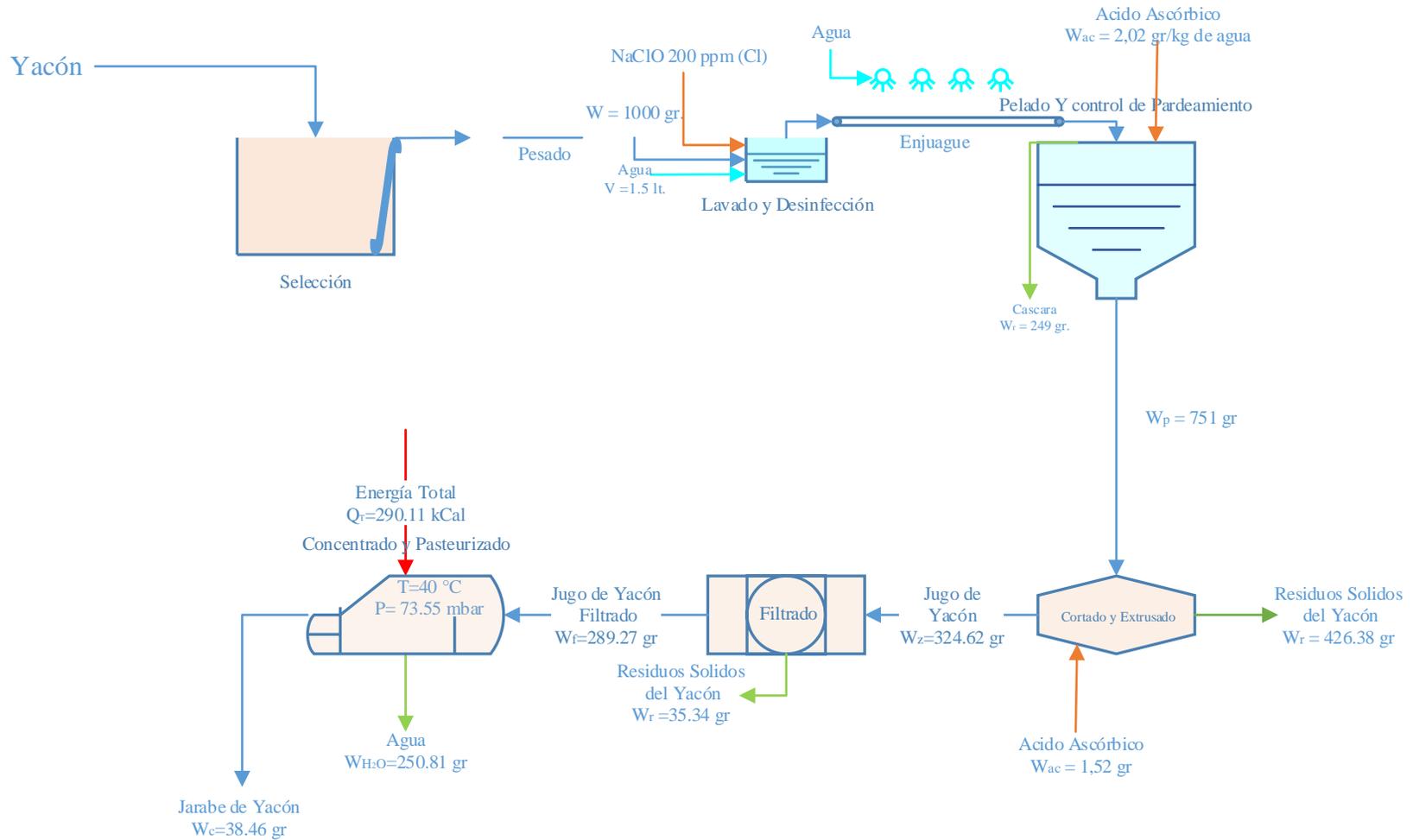
<b>Concentración de ácido ascórbico 0,5%</b>		
<b>N°</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
19	35	80
20	35	85
21	35	90
22	40	80
23	40	85
24	40	90
25	45	80
26	45	85
27	45	90

Fuente: Elaboración propia (2016).

En el Cuadro II – 9, se muestra con qué concentración se trabajará en la última ruta de experimentación que son nueve con una concentración de 0,5% de ácido ascórbico, con los tiempos de 35, 40 y 45 minutos en el rotavapor a las temperaturas de 80, 85 y 90 °C.

## 2.7. Balance de Materia y Energía.

Figura 2-4: Balance de materia y energía



Fuente: Elaboración propia (2016)

### 2.5.1. Balance de materia

Para el balance de materia se debe tomar en cuenta que es un proceso discontinuo (batch), en ese sentido se tomará como base de cálculo 1000 g de materia prima (yacón).

A continuación se presentan los datos o variables conocidos que se sacaron de la corrida número 5 de las pruebas experimentales.

**Cuadro II-10: Datos experimentales corrida número 5.**

N°	Nombre	Abreviatura	Unidad	Cantidad
1	Peso inicial	W	g.	1000
2	Peso pelado	W <sub>p</sub>	g.	751
3	Peso del zumo	W <sub>z</sub>	g.	324,616
4	Peso filtrado	W <sub>fil</sub>	g.	289,272
5	Peso del jarabe	W <sub>jarabe</sub>	g.	38,459
6	Peso del residuo total	W <sub>r total</sub>	g	--
7	Peso del residuo cascara	W <sub>r cáscara</sub>	g.	--
8	Peso del residuo extracción	W <sub>r extracción</sub>	g	--
9	Peso del residuo	W <sub>r filtrado</sub>	g	--
10	Peso del agua	W <sub>H2O</sub>	g	--
11	Temperatura zumo	T	°C	22
12	Temperatura inicial rota vapor	T <sub>I</sub>	°C	22
13	Temperatura final rota vapor	T <sub>F</sub>	°C	40
14	Calor Latente	Λ <sub>40</sub>	Kcal/Kg	574,7
15	Calor Específico	C <sub>p yacón</sub>	Kcal°C/Kg	1,02846
16	Temperatura inicial rotavapor pasteurización	T <sub>I2</sub>	°C	40
17	Temperatura final rotavapor pasteurización	T <sub>F2</sub>	°C	43

Fuente: Elaboración propia (2016).

Balance Global:

$$W = W_{jarabe} + W_{r total} + W_{H2O}$$

$$W_{r total} = W - W_{jarabe} + W_{H2O} \Rightarrow$$

$$W_{r total} = 1000g - 38.46 g - W_{H2O}$$

$$W_{r total} = 961.54g - W_{H2O}$$

Balance en el Pelado:

$$W = W_p + W_r \text{ cáscara}$$

$$W_r \text{ cáscara} = W - W_p \Rightarrow W_r \text{ cáscara} = 1000 \text{ g} - 751 \text{ g}$$

$$W_r \text{ cáscara} = 249 \text{ g}$$

Balance en el Cortado y Extracción:

$$W_p = W_z + W_r \text{ extracción}$$

$$W_r \text{ extracción} = W_p - W_z \Rightarrow W_r \text{ extracción} = 751 \text{ g} - 324.62 \text{ g}$$

$$W_r \text{ extracción} = 426.38 \text{ g}$$

Balance en el Filtrado:

$$W_z = W_{fil} + W_r \text{ filtrado}$$

$$W_r \text{ filtrado} = W_z - W_{fil} \Rightarrow W_r = 324.62 \text{ g} - 289.27 \text{ g}$$

$$W_r \text{ filtrado} = 35.34 \text{ g}$$

Balance en el Concentrado:

$$W_f = W_{jarabe} + W_{H_2O}$$

$$W_{H_2O} = W_{fil} - W_{jarabe} \Rightarrow W_{H_2O} = 289.27 \text{ g} - 38.46 \text{ g}$$

$$W_{H_2O} = 250.81 \text{ g}$$

Balance final

$$W_r \text{ total} = 961.54 \text{ g} - W_{H_2O}$$

$$W_r \text{ total} = 961.54 \text{ g} - 250.81 \text{ g}$$

$$W_r \text{ total} = 710.73 \text{ g}$$

### 2.5.2. Balance de energía

**Cuadro II-11: Abreviaturas del balance de energía.**

N°	Nombre	Abreviatura	Unidad
1	Energía de Entrada	$E_a$	Kcal
2	Energía de Salida	$E_s$	Kcal
3	Energía Acumulada	$E_a$	Kcal
4	Flujo de Calor	Q	Kcal
5	Trabajo	W	Kcal

Fuente: Elaboración propia (2016).

$$E_e - E_s + Q + W = E_a$$

$$\left(\frac{1}{2}mv^2 + mgz + U\right)_E - \left(\frac{1}{2}mv^2 + mgz + U\right)_S + Q + W = E_a$$

$$Q - W_{ext} = (U_2 - U_1) + (P_2V_2 - P_1V_1) + (m_2gz_2 - m_1gz_1) + \frac{1}{2}(m_2v_2^2 - m_1v_1^2)$$

$$Q - W_{ext} = \Delta H + \Delta E_p + \Delta E_c$$

$$Q = \Delta H$$

Para realizar el balance de energía de tomaron las siguientes consideraciones:

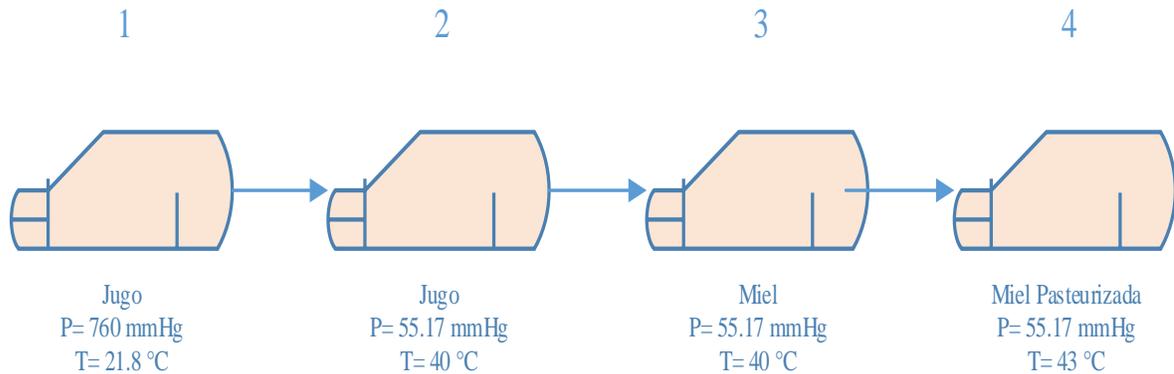
Los componentes del yacón durante el proceso no pasan a un estado gaseoso o se descomponen, es decir se trabajó a temperaturas inferiores a la temperatura de evaporación y descomposición de los mencionados componentes, siendo en este sentido, lo único que pasa a estado gaseoso, es el agua.

En el balance de energía  $Q_{1-2}$  la masa de agua se mantendrá porque el agua se calienta y no llega a su ebullición.

El balance de energía en  $Q_2$  está en función al calor latente de vaporización del agua.

### **Balance de Energía en el Evaporador:**

**Figura 2-5: Balance de energía del evaporador.**



Fuente: Elaboración propia (2016).

En el proceso 1-2 se tiene una transferencia de energía en forma de calor sensible, en el cual el agua se calienta de 21.8 °C a 40 °C, aplicando una presión al vacío:

$$Q_{1-2} = W_f * C_p * \Delta T$$

$$Q_{1-2} = 0.28927 \text{ Kg} * 1 \frac{\text{KCal}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * (40 - 21.8)^\circ\text{C}$$

$$\boxed{Q_{1-2} = 5.21 \text{ Kcal}}$$

En el proceso 3, se tiene un cambio de estado del agua, pues la misma pasa de estado líquido a gaseoso, en ese sentido se tiene un calor latente:

$$Q_3 = W_f * \lambda_{40}$$

$$Q_3 = 0.28927 \text{ Kg} * 574.7 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$\boxed{Q_3 = 166.24 \text{ Kcal}}$$

En el proceso 4, se puede observar un aumento de temperatura de la miel de 40 °C a 43 °C, nuevamente se presenta una transferencia de energía en forma de calor sensible:

$$Q_4 = W_C * C_{pyación} * \Delta T$$

$$Q_4 = 0.03846 \text{ Kg} * 1.03 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * (43 - 40)^\circ\text{C}$$

$$Q_{1-2} = 118.66 \text{ Kcal}$$

Entonces el calor total gastado, sería:

$$Q = \Delta H$$

$$Q_T = Q_{1-2} + Q_3 + Q_4$$

$$Q_T = 290.11 \text{ Kcal}$$

### CAPÍTULO III

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

##### 3.1. Rutas de experimentación de la elaboración del jarabe de yacón.

### 3.1.1. Primera ruta de experimentación con 0% de ácido ascórbico.

No se pudo realizar la primera parte de la ruta de experimentación, ya que el yacón sufre pardeamiento casi inmediatamente sin el uso del antioxidante, y por lo que la extracción del zumo no cumplía con las características organolépticas requeridas para la elaboración del jarabe rico en FOS

A continuación mostraremos fotos de lo explicado:

#### . Fotografía 3-1: Oxidación del yacón



A



B

Fuente: Elaboración propia (2016).

Como se observa en la Fotografía 3.1 (A), se ve que el agua cambia de color, ya que esta misma está oscura; este color es debido a la oxidación de la materia prima y el yacón sometido en el agua no le pasa nada y tiene un color amarillo claro como se observa en la Foto 3-1 (B).

#### Fotografía 3-2: Verificación de la oxidación del yacón.



Fuente: Elaboración propia (2016).

Como se puede observar en la Fotografía 3-2 (A) el jugo está oscuro y en la misma Foto, pero inciso (B) se tomó el pH que estaba a 6.6 y en el inciso (C) se volvió a tomar el pH

que estaba a 6.5, y el inciso (D) nos muestra el color que queda la pulpa después de la extracción del jugo.

Por este motivo ahora se mostrara el jugo con ácido ascórbico.

### Fotografía 3-3: Uso del antioxidante en la materia prima.



Fuente: Elaboración propia (2016).

En la fotografía 3.3 (A) se ve que el agua no cambia de color sigue transparente en el inciso (B) el jugo tiene un color anaranjado claro y es apto para la elaboración del jarabe.

#### 3.1.2. Segunda ruta de experimentación con 0,2 % de ácido ascórbico.

En la siguiente tabla se observan los datos de la segunda ruta de experimentación con un porcentaje de ácido ascórbico 0.2% esta parte de experimentación fue posible hacerla, ya que no existe oxidación.

Esta ruta es la más conveniente, ya que los resultados obtenidos están entre los rangos necesarios de acuerdo a las normas mexicanas y peruanas señaladas en el capítulo I, cuadro I-7, Cuadro I-8 y cuadro I-9, y el análisis microbiológico señaló que no existe desarrollo de colonias microbianas en el producto.

**Cuadro III-1: Resultados obtenidos con la segunda ruta de experimentación.**

Parámetro	Concentración al 0,2 % de ácido ascórbico								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Peso inicial del yacón (g)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso del yacón pelado (g)	785	643	741	669	751	650	654	612	641
Peso del zumo de yacón (g)	372,635	354,616	398	381,753	324,616	335,433	331,61	302,537	315,55
Peso del zumo de yacón filtrado(g)	353,846	328	363,411	358,124	289,272	286,391	308,838	277,634	281,84
pH inicial	4,5	4,4	4,4	4,3	4,5	4,5	4,3	4,8	4,5
peso del tubo (g)	6,458	6,737	6,821	6,844	6,743	6,377	6,823	7,321	6,952
Peso del concentrado dentro del tubo (g)	13,009	11,358	9,805	20,34	7,736	1,806	5,704	1,853	1,102
Índice de refracción (Nd)	1,3459	1,3442	1,3443	1,39457	1,3984	1,396	1,3499	1,3463	1,3485
°Brix	8,7	7,8	7,7	8,6	8,8	9	10,7	9	10,2
Temperatura (°C)	21,8	20,1	23,9	21,8	22	21,8	23,4	22,3	22,8
Peso del balón concentrado (g)	27,7	27,77	26,764	22,77	30,723	24,148	23,198	23,231	18,45
Peso del agua	273,685	272,761	299,1	299,702	299,854	242,361	237,778	232,231	250,361
pH final	4,1	4	4	4,1	4	4,1	4	4,3	4
Concentrado en (g)	40,709	39,128	36,569	43,11	38,459	25,954	28,902	25,027	19,552
Tiempo (min)	35	35	35	40	40	40	45	45	45
Temperatura (°C)	80	85	90	80	85	90	80	85	90

Fuente: Elaboración propia (2016).

### 3.1.3. Tercera ruta de experimentación con 0,5 % de ácido ascórbico.

En la siguiente tabla se observan los datos de la tercera ruta de experimentación con un porcentaje de ácido ascórbico 0.5%; esta parte de experimentación fue posible hacerla, ya que no existe oxidación.

En esta ruta se demostró que el pH es más ácido que el anterior, por este motivo el jarabe no cumple un requisito importante para su elaboración, esto se señala en el capítulo I cuadro I-9, y los fructooligosacáridos se convierten en azúcar simple cuando el pH es menos

a 4 en menos de 6 meses.

**Cuadro III-2: Resultados obtenidos con la tercera ruta de experimentación.**

Parámetro	Concentración al 0,5 % de ácido ascórbico								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Peso inicial del yacón (g)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso del yacón pelado (g)	645	631	650	628	618	655	612	652	632
Peso del zumo de yacón (g)	318,908	338,334	358,21	340,075	385,2	350,05	371,46	345,85	358,171
Peso del zumo de yacón filtrado(g)	290,612	307,833	302,52	309,574	315,852	310,802	327,089	289,272	298,52
pH inicial	3,6	4,4	4	4,4	4,4	4,2	4,3	4,3	4,2
peso del tubo (g)	6,667	6,823	6,682	11,326	11,335	11,35	10,422	6,668	6,682
Peso del concentrado dentro del tubo (g)	10,2780	9,7240	7,5200	3,4840	3,8560	3,2050	1,8280	4,5200	3,4820
Índice de refracción (Nd)	1,3510	1,3480	1,3520	1,3469	1,3479	1,3752	1,3985	1,3698	1,3980
°Brix	12,0000	10,1000	11,1000	9,0000	10,0000	9,9000	20,3000	10,8000	10,5000
Temperatura (°C)	23,9000	22,5000	22,5000	23,8000	22,0000	22,5000	23,4000	21,2000	20,8000
Peso del balón concentrado (g)	21,2220	21,2280	20,8950	26,6480	20,0350	18,2500	25,8500	21,2000	20,8520
Peso del agua	242,6610	246,5500	240,5200	259,0190	258,8640	252,9650	261,5800	268,5200	267,5800
pH final	3,2000	3,9000	3,7000	3,9000	3,9000	3,7000	3,9000	3,8000	3,7000
Concentrado en (g)	31,5000	30,9520	28,4150	30,1320	23,8910	21,4550	27,6780	25,7200	24,3340
Tiempo (min)	35	35	35	40	40	40	45	45	45
Temperatura (°C)	80	85	90	80	85	90	80	85	90

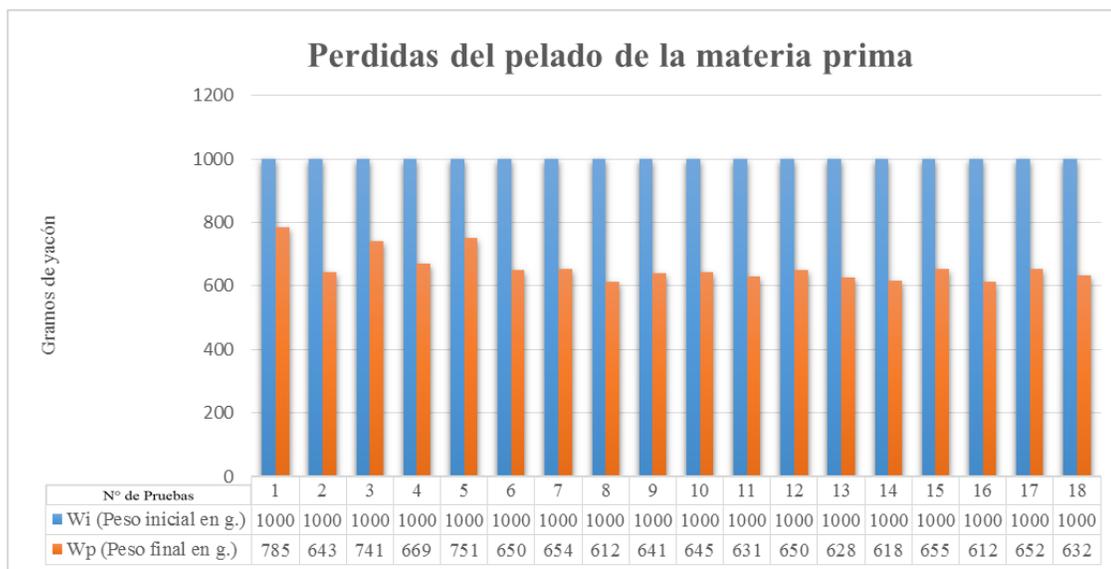
Fuente: Elaboración propia (2016).

### 2.1. Comparación del peso inicial con el peso del pelado.

Se realizó una comparación entre el peso inicial y el peso pelado del yacón, aproximadamente hay un porcentaje de pérdida del 25 al 30%.

A continuación veremos los datos:

**Gráfico 3-1: Relación del peso inicial y el peso pelado.**



Fuente: Elaboración propia (2016).

En la gráfica 3-1 se puede observar las variaciones con la etapa del pelado de la materia prima, como hay variación en el proceso mencionado anteriormente también habrá pérdidas en los procesos de extracción de zumo y el filtrado del zumo.

Donde hay menos pérdida en el proceso de pelado es cuando el yacón está fresco y a medida que se va secando la materia prima existe más pérdida.

### 3.2. Concentración del jarabe rico en fructooligosacáridos en porcentajes de 0.2% y 0.5% de ácido ascórbico.

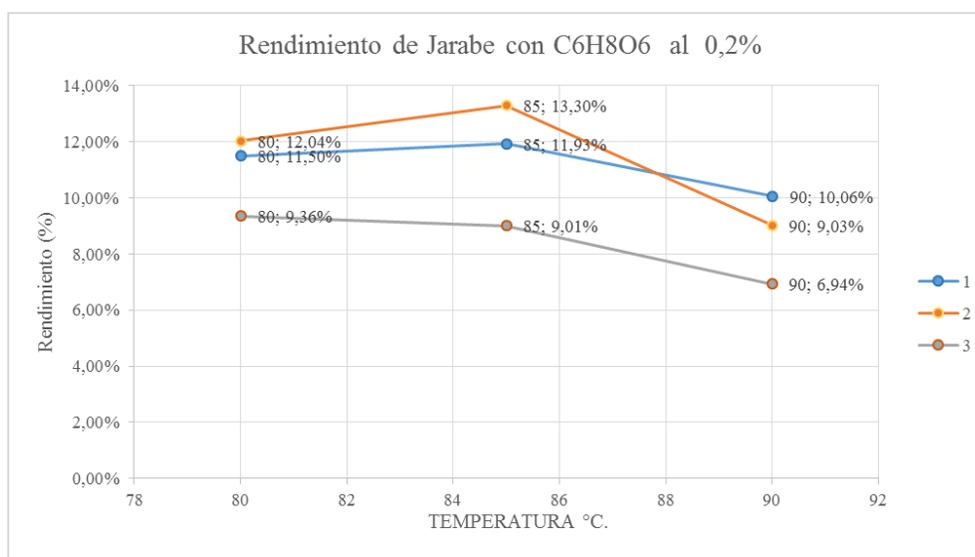
Para realizar la concentración del jarabe rico en fructooligosacáridos se tomaron en cuenta distintos tiempos y temperaturas, y se varió la cantidad de ácido ascórbico porque se debe tener un rango de pH adecuado para el producto, ya que el mismo no debe ser muy ácido:

A continuación se verán los datos más detalladamente.

**Cuadro III-3: Rendimiento de jarabe de yacón al 0.2% de ácido ascórbico**

T (°C)	Jarabe final obtenido (g)	Rendimiento de Jarabe (%)
80	40,709	11,50%
85	39,128	11,93%
90	36,569	10,06%
80	43,11	12,04%
85	38,459	13,30%
90	25,854	9,03%
80	28,902	9,36%
85	25,027	9,01%
90	19,552	6,94%

Fuente: Elaboración propia (2016).

**Gráfica 3-2: Rendimiento de jarabe de yacón al 0.2%.**

Fuente: Elaboración propia (2016).

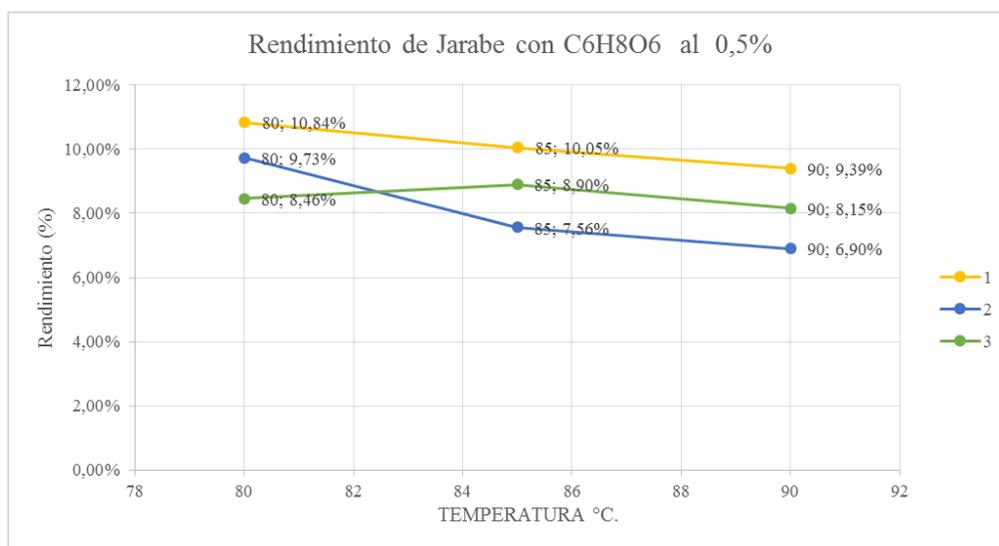
En el cuadro III-3 y la gráfica 3-2 se observan los rendimientos del jarabe de yacón que se obtuvo al hacer el concentrado final con un 0.2% de ácido ascórbico y con las temperaturas de 80, 85 y 90.

**Cuadro III-4: Rendimiento de jarabe de yacón al 0.5% de ácido ascórbico.**

T (°C)	Jarabe final obtenido (g)	Rendimiento de Jarabe (%)
80	31,5	10,84%
85	30,952	10,05%
90	28,415	9,39%
80	30,132	9,73%
85	23,891	7,56%
90	21,455	6,90%
80	27,678	8,46%
85	25,75	8,90%
90	24,334	8,15%

Fuente: Elaboración propia (2016).

**Gráfico 3-3: Rendimiento de jarabe de yacón 0.5%.**



Fuente: Elaboración propia (2016).

En el cuadro III-4 y la gráfica 3-3 se observan los rendimientos del jarabe de yacón que se obtuvo al hacer el concentrado final con un 0.5% de ácido ascórbico, y con las temperaturas de 80, 85 y 90.

### 3.4. Cálculo de la desviación estándar del pH.

Permite buscar la probabilidad de que un evento ocurra, y así poder evitar problemas con el producto, se hace este cálculo porque se utilizó dos concentraciones de ácido ascórbico y el jarabe de yacón puede azucararse a medida que el pH sea menor a 4.

**Cuadro III-5: Fórmulas para el cálculo de la desviación estándar .**

pH promedio	$pH = \frac{\sum pH_{Inicial}}{n}$
desviación estándar	$S^2 = \frac{\sum (\overline{pH} - pH_i)^2}{n - 1} \quad S = \sqrt{S}$
pH máximo	$pH_{max} = pH_{Promedio} + S$
pH mínimo	$pH_{min} = pH_{Promedio} - S$

Fuente: Elaboración propia (2016).

**Cuadro III-6: Cálculo de la varianza del pH del zumo de yacón con una concentración de 0.2% de ácido ascórbico.**

Promedio	4,46666
Desviación Estándar	0,14142
Límite Máximo	4,608088
Límite Mínimo	4,32524

Fuente: Elaboración propia (2016).

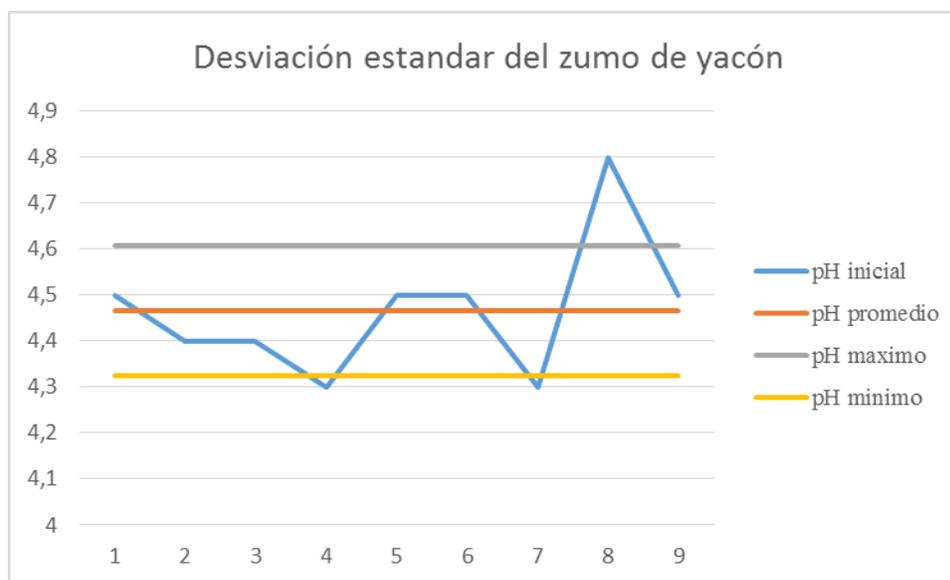
**Cuadro III-7: Desviación estándar del pH del zumo de yacón con una concentración**

**de ácido ascórbico al 0.2%.**

Numero	pH inicial	pH promedio	pH máximo	pH mínimo
1	4,5	4,467	4,608	4,325
2	4,4	4,467	4,608	4,325
3	4,4	4,467	4,608	4,325
4	4,3	4,467	4,608	4,325
5	4,5	4,467	4,608	4,325
6	4,5	4,467	4,608	4,325
7	4,3	4,467	4,608	4,325
8	4,8	4,467	4,608	4,325
9	4,5	4,467	4,608	4,325

Fuente: Elaboración propia (2016).

**Gráfica 3-4: Desviación estándar del pH del zumo de yacón con una concentración de ácido ascórbico al 0.2%.**



Fuente: Elaboración propia (2016).

En el cuadro III-6, cuadro III-7 y gráfica 3-4 se puede ver los rangos del pH al que está el zumo de yacón (4.3 a 4.8), esto se debió al efecto de neutralizar la oxidación y se da por la agregación del ácido ascórbico, es por este motivo que el pH se acidifica de 6 a un pH de 4.3.

**Cuadro III-8: Cálculo de la varianza del pH del jarabe de yacón con una**

**concentración de 0.2% de ácido ascórbico.**

Promedio	4,06666
Desviación Estándar	0,09428
Límite Máximo	4,16094
Límite Mínimo	3,97238

Fuente: Elaboración propia (2016).

**Cuadro III-9: Desviación estándar del pH del jarabe de yacón con una concentración de ácido ascórbico al 0.2%.**

Nº	pH inicial	pH promedio	pH máximo	pH mínimo
1	4,1	4,067	4,161	3,972
2	4	4,067	4,161	3,972
3	4	4,067	4,161	3,972
4	4,1	4,067	4,161	3,972
5	4	4,067	4,161	3,972
6	4,1	4,067	4,161	3,972
7	4	4,067	4,161	3,972
8	4,3	4,067	4,161	3,972
9	4	4,067	4,161	3,972

Fuente: Elaboración propia (2016).

**Gráfica 3-5: Desviación estándar del pH del jarabe de yacón con una concentración de ácido ascórbico al 0.2%**



Fuente: Elaboración propia (2016).

En el cuadro III-8, cuadro III-9 y grafica 3-5 vemos el pH final a la que llega el producto terminado, y el pH está entre los rangos de 4 y 4.3 y éste es el pH necesario para que los fructooligosacáridos mantengan sus propiedades y no se conviertan en azúcares simples rápidamente.

**Cuadro III-10: Cálculo de la varianza del pH del concentrado de yacón con una concentración de 0.5% de ácido ascórbico.**

Promedio	3,74
Desviación Estándar	0,21141
Límite Máximo	3,95584
Límite Mínimo	3,53314

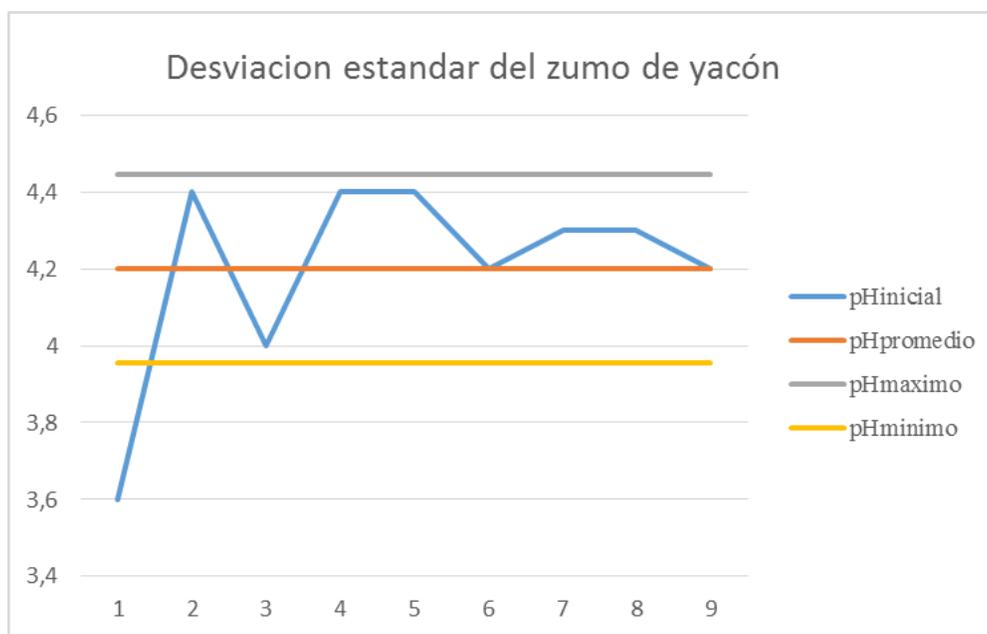
Fuente: Elaboración propia (2016).

**Cuadro III-11: Desviación estándar del pH del zumo de yacón al 0.5% de concentración de ácido ascórbico.**

Numero	pH inicial	pH promedio	pH máximo	pH mínimo
10	3,2	3,744	3,956	3,533
11	3,9	3,744	3,956	3,533
12	3,7	3,744	3,956	3,533
13	3,9	3,744	3,956	3,533
14	3,9	3,744	3,956	3,533
15	3,7	3,744	3,956	3,533
16	3,9	3,744	3,956	3,533
17	3,8	3,744	3,956	3,533
18	3,7	3,744	3,956	3,533

Fuente: Elaboración propia (2016).

**Gráfica 3-6: Desviación estándar del pH del zumo de yacón con una concentración de ácido ascórbico al 0.5%.**



Fuente: Elaboración propia (2016).

En el cuadro III-10, cuadro III-11 y gráfica 3-6 se puede ver los rangos del pH al que está el zumo de yacón, éstos son (3.6 a 4.4), esto se debió al efecto de neutralizar la oxidación y se da por la agregación del ácido ascórbico, es por este motivo que el pH se acidifica de 6 a un pH de 3.6

**Cuadro III-12: Cálculo de la varianza del pH del concentrado de yacón con una concentración de 0.5% de ácido ascórbico.**

Promedio	3,74
Desviación Estándar	0,21141
Límite Máximo	3,95584
Límite Mínimo	3,53314

Fuente: Elaboración propia (2016).

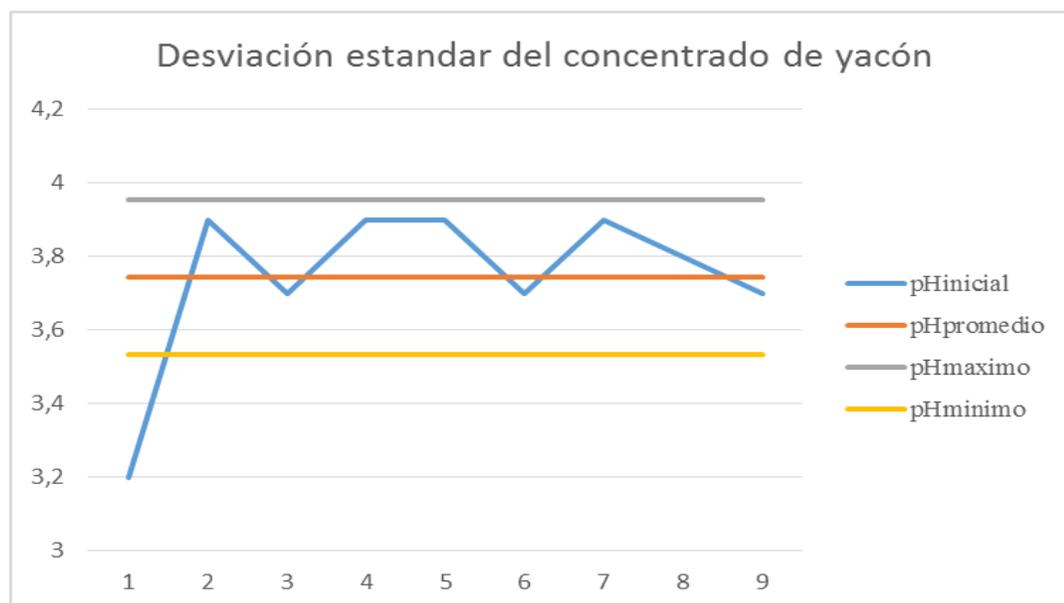
**Cuadro III-13: Desviación estándar del pH del concentrado de yacón con una concentración de ácido ascórbico al 0.5%.**

Numero	pH inicial	pH promedio	pH máximo	pH mínimo
10	3,2	3,744	3,956	3,533
11	3,9	3,744	3,956	3,533
12	3,7	3,744	3,956	3,533
13	3,9	3,744	3,956	3,533
14	3,9	3,744	3,956	3,533
15	3,7	3,744	3,956	3,533
16	3,9	3,744	3,956	3,533
17	3,8	3,744	3,956	3,533
18	3,7	3,744	3,956	3,533

Fuente: Elaboración (2016).

propia

**Gráfica 3-7:  
Desviación**



**estándar del pH del concentrado de yacón con una concentración de ácido ascórbico al 0.5%.**

Fuente: Elaboración propia (2016).

En los cuadros (III-12 y III-13) y la gráfica 3-7 vemos el pH final a la que llega el producto

**Cuadro III-14: Datos estadísticos descriptivos.**

terminado, y el pH está entre los rangos de 3.9 y 3.5 y éste es el pH en el cual los fructooligosacáridos se descomponen rápidamente, y por ello esta ruta no nos da los parámetros necesarios para la elaboración del jarabe rico en fructooligosacáridos a partir de yacón.

**3.5. Análisis estadístico del diseño experimental.**

El diseño experimental del presente trabajo se desarrolló de acuerdo al diseño factorial ya especificado en el capítulo II sección 2.6.3 de acuerdo a las variables que influyen en el proceso.

**3.5.1 Medidas de tendencia central.**

A continuación calculamos con la ayuda del programa estadístico SPSS los datos estadísticos descriptivos

DESCRIPCIÓN	Tiempo	Temperatura	Concentración	Ácido
N Válido	18	18	18	18
Pérdidos	0	0	0	0
Media	40,00	85,00	30,11	
Error estándar de la media	,990	,990	1,625	
Mediana	40,00	85,00	28,50	
Moda	35 <sup>a</sup>	80 <sup>a</sup>	24 <sup>a</sup>	
Desviación estándar	4,201	4,201	6,893	
Varianza	17,647	17,647	47,516	
Rango	10	10	23	
Mínimo	35	80	20	
Máximo	45	90	43	
Suma	720	1530	542	

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Fuente: Elaboración propia (2018)

Los valores estadísticos que se observan en el cuadro III-14, se analizaron mediante el programa estadístico SPSS, los resultados que se sacaron mediante el programa son: la media, la mediana, la moda, la desviación estándar, el rango, el valor máximo y el valor mínimo. Las variables independientes que se utilizaron para el cálculo de todos estos resultados son el tiempo y la temperatura y la variable dependiente es la concentración final del jarabe.

### 3.5.2. Análisis univariado de varianza.

Las tablas que se presentarán a continuación nos dan el análisis estadístico de los factores inter-sujetos que se realiza con el programa SPSS.

#### Cuadro III-15: Datos de los factores inter sujetos

		N
Acido	a	9
	b	9
Tiempo	35	6
	40	6
	45	6
Temperatura	80	6
	85	6
	90	6

Fuente: Elaboración propia (2018).

Acido: a) concentración de ácido al 0.2%.

b) concentración de ácido al 0.5%.

N.- Número total de pruebas realizadas.

### Cuadro III-16: Pruebas de los efectos inter-sujetos.

Variable dependiente: Concentración

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	609,222 <sup>a</sup>	5	121,844	7,364	,002
Intersección	16320,222	1	16320,222	986,337	,000
Acido	162,000	1	162,000	9,791	,009
Tiempo	261,778	2	130,889	7,910	,006
Temperatura	185,444	2	92,722	5,604	,019
Error	198,556	12	16,546		
Total	17128,000	18			
Total corregido	807,778	17			

a. R al cuadrado = ,754 (R al cuadrado ajustada = ,652)

Fuente: Elaboración propia (2018).

En el cuadro III-16 se puede observar que de acuerdo al rango de temperatura (0.019) las variables independientes no son significativas para un nivel de confianza 95%.

### 3.6. Elección de la muestra del jarabe rico en fructooligosacáridos.

De las tres ruta del diseño experimental que se presentó en el capítulo II se fueron descartando a partir de la realización del producto.

La primera ruta fue sin ácido ascórbico, la cual no fue válida por la oxidación que sufría la materia prima como se ve en la figura 3-2.

La tercera ruta también se descartó por la acidez final que tenía el producto, ya que el pH está muy ácido como se ve en el cuadro III-15, el pH encontrado a la concentración de 0.5% de ácido ascórbico no cumple con la norma peruana de la elaboración de yacón, esto se ve en el cuadro I-9.

La ruta que queda viable es la número dos, ya que el pH es aceptable, pero ahora se sabe que se utilizó en 3 tiempos las cuales son 35, 40 y 45 minutos, y tres temperaturas 80, 85 y 90 °C.

A un tiempo de 35 min y a la temperatura 80, 85 y 90 °C, y las revoluciones que se emplearon fueron de 100 rpm, los °Brix que necesitamos en el jarabe no se cumplían con el tiempo de 35 minutos, por esto mismo se descartó.

A un tiempo de 45 min y a la temperatura 80, 85 y 90 °C y las revoluciones que se utilizaron fueron de 100 rpm, los °Brix que necesitamos en el jarabe eran mayores a los que se tenía que llegar; por este motivo el tiempo de 45 minutos se descarto.

Se hizo analizar el jarabe con un tiempo de 40 minutos y 85 °C ya que era la que cumplía con el °Brix y el pH necesario para el jarabe.

**Cuadro III-17: Propiedades organolépticas de la materia prima (yacón).**

Propiedades	Características
Color	Anaranjado claro
Olor	Agradable
Sabor	Dulce
pH	6 - 6,5
°Brix (zumos)	7,7 - 12

Fuente: Elaboración propia (2016).

**Cuadro III-18: Propiedades fisicoquímicas de la materia prima.**

Parámetro	Unidad	Resultado
Ceniza	%	0,26
Densidad	g/ml	1,03
Fibra	%	0,16
Grasa	%	0,11
Hidratos de Carbono	%	12,04
Humedad	%	87
Proteína total (Nx6,25)	%	0,43
Valor energético	kcal/100 g	45,3

Fuente: Elaboración propia (2016) CEANID

### 3.7. Control de calidad del producto obtenido

Las características organolépticas que ha logrado observar y medir son:

**Tabla III-19: Propiedades organolépticas del jarabe rico en Fructooligosacáridos.**

Propiedades	
Color	Marrón
Olor	Agradable
Sabor	Dulce
pH	4,5
°Brix	73
Consistencia	Viscoso

Fuente: Elaboración propia (2016)

**Tabla III-20: Propiedades fisicoquímicas del jarabe rico en fructooligosacáridos**

Parámetro	Unidad	Resultado
Ceniza	%	2,12
Densidad	g/ml	1,39
Fibra	%	1,04
Grasa	%	0,18

Hidratos de Carbono	%	80,77
Humedad	%	14,07
Proteína total (Nx6,25)	%	1,82
Valor energético	Kcal/100 g	331,98

Fuente: Elaboración propia (2016) CEANID

**Tabla III-21: Resultado microbiológico del jarabe de rico en fructooligosacáridos**

Parámetro	Unidad	Resultado
Mohos	UFC/g	< 10 (*)
Levaduras	UFC/g	< 10 (*)

(\*) No se observa desarrollo de colonias.

Fuente: Elaboración propia (2016) CEANID

**Fotografía 3-4: Jarabe de yacón rico en fructooligosacáridos.**



Fuente: Elaboración propia (2016)

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 4.2. Conclusiones.

- Se logró caracterizar las propiedades fisicoquímicas de la materia del yacón, de acuerdo con los objetivos planteados. Demostrando que el yacón cumple con los grados °Brix dentro del rango de 8 - 12 y pH entre 3.7 y 4, estos resultados podemos verlos en el Capítulo III, cuadros III-17 y III-18.
- Durante el desarrollo de las 27 pruebas realizadas en el diseño factorial, se determinan las rutas más viables (esto se explica en el capítulo III) para la elaboración del producto terminado, a ruta utilizada es la que tiene como concentración de ácido ascórbico al 0.2% ya que cumple con las normas de calidad (mexicanas y peruanas) del jarabe terminado, como se detalla en el capítulo II y en los cuadros I-7, I-8.
- Se logró caracterizar las propiedades fisicoquímicas del jarabe rico en fructooligosacáridos, de acuerdo a lo planteado en los objetivos. Los valores obtenidos del jarabe elaborado se detallan en los cuadros III-19 y III-20.
- El balance fue realizado con éxito, resaltando una cantidad de pérdidas interesantes en los puntos de “extracción de jugo”, “pelado” y “filtrado”. El proceso de extracción es el que tiene mayor cantidad de pérdidas (56.78% de pérdidas). El balance fue fundamental para determinar la cantidad de materia prima a procesar para obtener la masa de producto deseado.
- El rendimiento de la producción del jarabe rico en fructooligosacáridos a partir del yacón es de un 4 a 5%, esto quiere decir que 1000 g de raíz produce entre 40 y 50 g de jarabe.

#### **4.2. Recomendaciones.**

- Se recomienda que en pruebas futuras, realizar el pelado de la raíz por otros métodos, como ser; Escaldado, pelado con NaOH, pelado al vapor. Con la finalidad de observar si la pérdida en este proceso disminuye, y de esta manera obtener mayor cantidad de producto.
- Se recomienda la utilización del ácido ascórbico como agente antioxidante, ya que no aumenta la acidez, preservando el color natural de los alimentos. No se utilizó el ácido cítrico porque aumenta la acidez del jarabe y reduce el tiempo de vida útil del producto. Con un pH menor a 4 los fructooligosacáridos se convertirían en azúcares simples.