



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

Vicerrectorado de  
**INVESTIGACIÓN**

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

“EL PURÉ DE YACÓN (SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS), ALIMENTO  
ALTERNATIVO DE CALIDAD”

MODALIDAD PARA OPTAR EL GRADO:

MAESTRA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS Y AGROINDUSTRIA

AUTOR:

ARISPE CHÁVEZ MARÍA ELENA

ASESOR:

MG. LUIS LEONIDAS VENTURA GUEVARA

JURADO:

DR. JUSTO PASTOR SOLIS FONSECA

DR. ABEL W. ZAMBRANO CABANILLAS

DR. CIRO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ

LIMA- PERÚ

**2018**

**A mi esposo Carroll y  
a mi hijo Bryan,  
por su infinito amor.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Federico Villarreal, a su personal docente y administrativo que me apoyó en todo momento.

Al Dr. Abel Walter Zambrano Cabanillas, por sus valiosos consejos para el desarrollo de mi tesis.

A los Drs. Justo Pastor Solís Fonseca y Ciro Rodríguez Rodríguez, por sus asesorías continuas.

Al Dr. Luis Leonidas Ventura Guevara, por sus orientaciones y sugerencias a lo largo del desarrollo de mi investigación.

Al Dr. Milber Ureña Peralta, por sus ideas que me han alentado en la realización de este estudio.

A la Universidad Femenina del Sagrado Corazón, por el apoyo moral de sus autoridades.

Al Sr. Jacinto Vidal, por su colaboración brindada durante la etapa experimental de la tesis.

A mi esposo e hijo, por sus constantes alientos y paciencia para terminar la tesis.

A todas las personas que, de una u otra manera, me apoyaron en la culminación de la presente tesis.

## **El puré de yacón (*Smallanthus sonchifolius*), alimento alternativo de calidad**

**María Elena Arispe Chávez**

### **Resumen**

El presente trabajo de investigación, se desarrolló, desde un punto de vista tecnológico, un producto nuevo a partir del yacón, con características nutricionales, organolépticas y microbiológicas aceptables, cumpliendo con las normas técnicas. Se han obtenido resultados del análisis bromatológico del yacón en fresco. Se verificó el pH del producto, que fue de 6,30; este valor ha permitido establecer rangos de temperaturas para el tratamiento térmico. Se procedió a una estandarización de la acidez del puré. Se trabajó tres tratamientos con diferentes niveles de pH para la determinación de la muestra más aceptable. Se utilizó la metodología del análisis sensorial, mediante el uso de una prueba cuantitativa de consumo, con un panel de 10 personas, semientrenado. Los resultados de la prueba fueron evaluados estadísticamente, mediante un diseño de bloque completo al azar, análisis de variancia y prueba de Tukey. Se han determinado experimentalmente los parámetros más adecuados para el procesamiento tecnológico del puré de yacón. El tubérculo fue sometido a las operaciones unitarias básicas de la elaboración de una conserva, tipo puré, envasada en frascos de vidrio. Se ensayaron 18 tratamientos como resultado de la variación de la temperatura de tratamiento térmico, tiempo de tratamiento térmico y concentración del puré. La metodología empleada para la determinación de los parámetros de procesamiento, se basó en el análisis estadístico, bajo un diseño completo al azar en un arreglo factorial de 3A x 3B x 2C, cuya variable respuesta fue la producción de azúcares reductores. Los mejores tratamientos, resultado del análisis anterior, fueron sometidos a una evaluación sensorial con el uso de la prueba de preferencia pareada, con la tabla binomial para pruebas de dos muestras, en la columna de prueba de dos colas con un nivel de significancia del 5 %, mediante un panel de 50 jueces, que calificó a la muestra elaborada como la más adecuada, con los parámetros siguientes: Temperatura de tratamiento térmico 80 °C, Tiempo de tratamiento térmico 20 min., Concentración de sólidos solubles 15 °Bx. Fue necesario realizar la operación de blanqueado por presentarse un oscurecimiento enzimático pronunciado. Los tratamientos térmicos empleados permitieron obtener productos microbiológicamente estables. El tratamiento seleccionado, en el almacenamiento, presentó un ligero incremento en el pH, acidez y azúcares reductores, y una ligera disminución en los sólidos solubles, manteniendo su estabilidad organoléptica.

#### *Palabras clave:*

Yacón, puré, análisis bromatológico, parámetros de tratamiento térmico, evaluación sensorial.

## Abstract

This research work, developed from a technological point of view, a new product from the yacon, with acceptable nutritional, organoleptic and microbiological characteristics, complying with technical standards. The results of the bromatological analysis of fresh yacon have been obtained. The pH of the product was verified, which was 6.30; this value has allowed to establish temperature ranges for the thermal treatment. The acidity of the mash was standardized. Three treatments with different pH levels were used to determine the most acceptable sample. The sensory analysis methodology was used, through the use of a quantitative consumption test, with a panel of 10 people, semi-pregnant. The results of the test were evaluated statistically, by means of a randomized complete block design, analysis of variance and Tukey test. The most suitable parameters for the technological processing of yacon puree have been experimentally determined. The tuber was subjected to the basic unit operations of the preparation of a canned, mashed type, packed in glass jars. 18 treatments were tested as a result of the variation of the heat treatment temperature, heat treatment time and mash concentration. The methodology used for the determination of processing parameters was based on statistical analysis, under a complete random design in a factorial arrangement of 3A x 3B x 2C, whose variable response was the production of reducing sugars. The best treatments, result of the previous analysis, were subjected to a sensory evaluation with the use of the paired preference test, with the binomial table for tests of two samples, in the two-tailed test column with a level of significance of 5 %, through a panel of 50 judges, who rated the sample as the most appropriate, with the following parameters: Thermal treatment temperature 80 ° C, Thermal treatment time 20 min., Concentration of soluble solids 15 ° Bx . It was necessary to carry out the bleaching operation because of pronounced enzymatic darkening. The thermal treatments used allowed obtaining microbiologically stable products. The selected treatment, in storage, presented a slight increase in pH, acidity and reducing sugars, and a slight decrease in soluble solids, maintaining its organoleptic stability.

### *Keywords:*

Yacon, puree, bromatological analysis, thermal treatment parameters, sensory evaluation.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
TÍTULO	i
NOMBRE DEL AUTOR	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRAC	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema	12
1.2.1. Descripción	12
1.2.2. Formulación de la pregunta principal	13
1.2.3. Formulación de preguntas específicas	13
1.3. Objetivos	14
1.4. Justificación	14
1.5. Alcances y limitaciones	16
1.6. Definición de las variables	16

CAPÍTULO II	MARCO TEÓRICO	17
2.1.	Aspectos generales	17
2.2.	La producción del yacón	19
2.3.	Composición química del yacón.	20
2.3.1.	Carbohidratos	23
2.3.2.	Fibra dietética	30
2.4.	Características del puré de yacón, como producto final	33
2.5.	Enzimas	34
2.6.	Microorganismos	39
2.6.1.	Factores que influyen sobre el desarrollo de los microorganismos	48
2.6.1.1.	Composición del medio	48
2.6.1.2.	La temperatura	48
2.6.1.3.	La concentración de hidrogeniones	50
2.7.	Evaluación organoléptica	52
2.8.	Caducidad de los alimentos	54
2.9.	Etapas del procesamiento	56
	Hipótesis	60
CAPÍTULO III	MÉTODO	61
3.1.	Tipo	61
3.2.	Diseño de la investigación	61
3.3.	Estrategia de prueba de hipótesis	61
3.4.	Variables	62
3.5.	Técnicas de investigación	64

3.5.1. Desarrollo del procesamiento del puré de yacón	64
3.5.2. Análisis bromatológicos de la materia prima y del puré de yacón	67
3.5.3. Control microbiológico al termino del procesamiento y durante el almacenamiento	68
3.5.4. Método para el análisis sensorial	68
3.6. Diseño experimental	70
<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>	<b>72</b>
4.1 Análisis bromatológico del yacón	72
4.2 Determinación del grado de acidez óptima	74
4.3 Determinación de los parámetros de procesamiento tecnológico del puré de yacón	76
4.4 Determinación del control microbiológico	87
4.5 Determinación de la evaluación sensorial, la aceptación organoléptica del puré de yacón	88
4.6 Determinación de los parámetros de control en almacenamiento del puré de yacón	89
<b>CAPÍTULO V CONCLUSIONES</b>	<b>97</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>99</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>100</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>109</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Producción de yacón ( <i>Smanllanthus sonchifolius</i> ) por regiones (2006-2015)	20
Tabla 2. Composición química del yacón ( <i>Smanllanthus sonchifolius</i> ) por regiones	21
Tabla 3. Cantidad de azúcares en las raíces de yacón según su origen	23
Tabla 4. Contenido promedio de inulina en especies vegetales	26
Tabla 5. Componentes de la fibra dietética	31
Tabla 6. Polisacáridos clasificados como prebióticos	32
Tabla 7. Clasificación de los microorganismos por su tolerancia a la temperatura	49
Tabla 8. Composición proximal del yacón fresco	73
Tabla 9. Datos de la evaluación sensorial, percepción de la acidez en los tratamientos	75
Tabla 10. Análisis de varianza, evaluación sensorial, percepción de la acidez en los tratamientos	76
Tabla 11. Contenido de azúcares reductores en el puré de yacón después de 10 días de su producción	77
Tabla 12. Contenido de azúcares reductores en el puré de yacón después del tratamiento térmico ( base seca)	78
Tabla 13. Análisis de varianza del contenido de azúcares reductores	79
Tabla 14. Análisis de varianza de efectos simples simples, del contenido de azúcares reductores	80
Tabla 15. Recuento de microorganismos en los tratamientos I y II	87

Tabla 16. Composición química del puré yacón	90
Tabla 17. Análisis fisicoquímicos del puré de yacón en conserva, frascos de 400 g durante tres meses de almacenamiento a temperatura ambiente (18 °C, 85 % HR)	91
Tabla 18. Análisis fisicoquímicos del puré de yacón en conserva, frascos de 400g durante tres meses de almacenamiento a temperatura ambiente (18°C, 85% HR) (base seca)	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Yacón	18
Figura 2. Raíz de yacón	19
Figura 3. Estructura química de la inulina	25
Figura 4. Flujo de procesamiento	65
Figura 5. Esquema experimental del puré de yacón ( <i>Smallanthus sonchifolius</i> )	71
Figura 6. Variación del contenido de los azúcares reductores respecto a los factores A (sólidos solubles) y B (temperatura de tratamiento térmico (interacción de A en B) para 20 min	82
Figura 7. Variación del contenido de azúcares reductores respecto a los factores A (sólidos solubles) y B (temperatura de tratamiento térmico) (interacción de A en B) para 30 min	82
Figura 8. Variación del contenido de azúcares reductores respecto a los factores A (sólidos solubles) y C (tiempo de tratamiento térmico) (interacción de A en C) para 80°C	84
Figura 9. Variación del contenido de azúcares reductores respecto a los factores A (sólidos solubles) y C (tiempo de tratamiento térmico) (interacción de A en C) para 90°C	84
Figura 10. Variación del contenido de azúcares reductores respecto a los factores A (sólidos solubles) y C (tiempo de tratamiento térmico) (interacción de A en C) para 100°C	85

Figura 11. Variación del contenido de azúcares reductores respecto a los factores B ( temperaturas de tratamiento ) y C (tiempo de tratamiento térmico) (interacciones B en C) para 10 °Bx	85
Figura 12. Variación del contenido de azúcares reductores respecto a los factores B ( temperaturas de tratamiento ) y C(tiempo de tratamiento térmico) (interacciones B en C) para 15 °Bx	86
Figura 13. Variación del contenido de azúcares reductores respecto a los factores B ( temperaturas de tratamiento ) y C (tiempo de tratamiento térmico) (interacciones B en C) para 20 °Bx	86
Figura 14. Variación del contenido de azúcares reductores durante el almacenamiento de la muestra óptima	93
Figura 15. Variación del contenido de fructooligosacáridos durante el almacenamiento de la muestra óptima	95
Figura 16. Variación del contenido de sólidos solubles durante el almacenamiento de la muestra óptima	95
Figura 17. Variación del contenido de pH durante el almacenamiento de la muestra óptima	96
Figura 18. Variación del contenido de la acidez titulable durante el almacenamiento de la muestra óptima	96

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Matriz De Consistencia	110
Anexo 2. Validación De Instrumentos	111
Anexo 3. Confiabilidad de instrumentos	111
Anexo 4. Análisis organoléptico para la determinación de la acidez óptima	112
4.1 Ficha de evaluación para la determinación de la acidez de mayor aceptación	112
4.2 Prueba de Tukey para la determinación del mejor tratamiento	113
Anexo 5. Análisis estadístico del tratamiento térmico	114
Anexo 6. Análisis sensorial	120
6.1 Ficha de evaluación de preferencia pareada	120
6.2 Resultados de la evaluación sensorial de preferencia pareada	121
6.3 Tabla de significancia para pruebas de dos colas	123
Anexo 7. Métodos de análisis físicoquímicos	124
7.1 Análisis de la humedad y materia seca	124
7.2 Determinación de cenizas	125
7.3 Determinación de materia grasa	127
7.4 Determinación de fibra cruda	129
7.5 Determinación de proteínas.	131
7.6 Determinación de pH y acidez titulable	134
7.7 Prueba de la peroxidasa	136
7.8 Determinación de azúcares reductores	137

## **Introducción**

Este trabajo de investigación está centrado en el análisis de la importancia tecnológica y del contenido bromatológico del puré del yacón, como producto nuevo y de calidad. Responde a preguntas, sobre los resultados de análisis bromatológico que se aplican a la materia prima del yacón y producto final, los parámetros del procesamiento tecnológico del puré de yacón, el resultado del análisis sensorial y de aceptación organoléptica, del puré y sobre el análisis estadístico aplicado a los datos obtenidos. Tiene como objetivo principal, desarrollar un producto nuevo, puré de yacón, con características nutricionales, organolépticas y microbiológicas aceptables.

En el marco teórico se aborda los enfoques de autores que explican los aspectos tecnológicos para lograr este producto nuevo. Se revisa un conjunto de trabajos referidos al desarrollo del tema. Específicamente, se señala los aspectos generales del yacón, su ubicación geográfica, producción y composición química, con énfasis en los carbohidratos y la fibra dietética. Se ha analizado el puré de yacón como producto final y sus componentes fisicoquímicos, microorganismos y los factores que influyen en su desarrollo.

Por otro lado, se analiza aquellos autores que explican la evaluación organoléptica, la caducidad de los alimentos y las etapas del procesamiento tecnológico del yacón como puré. Por último, presentaremos los resultados de las pruebas aplicadas en la obtención y almacenamiento del puré de yacón.

## **CAPITULO I      PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En este capítulo se puede apreciar, como antecedentes del planteamiento del problema, los estudios realizados por autores sobre el yacón, en torno a los aspectos tecnológicos del tratamiento de este producto.

### **1.1 Antecedentes.**

En los últimos diez años se han realizado una serie de trabajos de investigación sobre el yacón, en relación al cultivo mismo, y como materia prima de algún alimento. Se han llevado a cabo investigaciones y sistematizaciones de estudios sobre el yacón, relacionados con el procesamiento postcosecha, la definición de procedimientos y aclaración de aspectos tecnológicos y alimenticios. En este estudio abordaremos el análisis de algunos trabajos, cuyos autores han aportado diversos resultados, sobre aspectos sustantivos del tratamiento de este producto.

Del conjunto de trabajos revisados hemos seleccionado algunos de ellos. Tenemos el estudio de Rojas (2015), que trabajó sobre la optimización de la incorporación de aloe vera en yacón mediante impregnación al vacío. Mejía (2015), hizo un estudio sobre la impregnación al vacío de fructooligosacáridos (FOS) del yacón en manzanas, usando un jarabe con concentración de 28 °Bx a 35 °C que permitió obtener un snack de manzana con 30,5 % de fructooligosacáridos, con una estabilidad por un periodo de seis meses. Juárez (2015), desarrolló una tesis sobre la influencia del blanqueo y sobre la importancia del secado de yacón, definiendo que el mejor tratamiento de blanqueo fue por ebullición por 6 minutos en rodajas de 5 mm. Tupayachi

(2015), estableció la relación entre harina de yacón y el aceite de copaiba dietaria y la performance e integridad intestinal del ser humano.

Arce (2011), con sus estudios, obtuvo el extracto clarificado (concentrado de FOS) de la raíz de yacón, encontrando la combinación de coagulantes que permitieron obtener la mejor clarificación del extracto acuoso del yacón. Málaga (2013), analizó el efecto del procesamiento de puré de aguaymanto, cuyos aspectos de esta técnica, se pueden aplicar y relacionar con el del puré de yacón.

Otros estudios, como el de Sánchez (2010), llevaron a cabo una evaluación de la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y actividad antimutagénica de los extractos. Cuba (2009), en su estudio, abordó la actividad de la enzima fructano exohidrolasa (FEH), en las raíces tuberosas del yacón. Vega (2009), hizo una evaluación sobre la relación entre el contenido de FOS y la actividad de FEH.

Hay otros autores que han analizado procesos tecnológicos, como por ejemplo, Vásquez (2009), que analizó las influencias de las condiciones del proceso en la calidad de zumo de yacón. También, hay que tomar en cuenta la investigación de Mindani (2008), sobre la influencia de las condiciones de proceso en el secado por liofilización del yacón. Palacios (2006), estudió el efecto de la nutrición marginal en el crecimiento y desarrollo del yacón en el Perú.

Chavarry (2007), en su tesis de posgrado en la UNALM, titulada “Influencia de las condiciones de almacenaje del yacón fresco en sus compuestos bioactivos”, menciona que la velocidad de



respiración del yacón se logra disminuir con una película de polietileno de baja densidad, a 5°C. Esta disminución de velocidad de respiración influye en la estabilidad de los FOS y humedad. Por otro lado, los compuestos fenólicos se encontraron en mayor cantidad, en el empaque con la película de polietileno de baja densidad y a 22°C. Asimismo, hubo una mayor actividad antioxidante, en el empaque de caja abierta y a 22°C. Indica que la mejor manera de conservar el yacón en raíz es con una película de polietileno de baja densidad sobre una bandeja y a temperatura de 5°C a 10°C y que para ser trasladado se deberá usar mallas o cajones pero no por más de 1 semana.

Cancino (2003), en su tesis, para la Facultad de Industrias Alimentarias de la UNALM, titulada “Influencia del zumo concentrado en la deshidratación osmótica del yacón”, determinó que “los tratamientos M5, M8 y M12, con concentración de 40-60, 45-55 y 50-60 °Bx, respectivamente, fueron calificados como de superior calidad. Se seleccionó como el mejor tratamiento el M8 cuya caracterización fisicoquímica fue: 21,5 % de humedad; 0,25% proteína; 2,1% fibra; 0,45 % ceniza; 0,07 % grasa; 75,62 % carbohidratos; 63,46 % FOS; 1,955 % glucosa; 3,105 % fructosa; 7,076 % sacarosa; 76,26 °Bx; acidez de 0,97 mg de ácido cítrico; 4,9 pH.

Noratto (1999), en su tesis de posgrado en la UNALM, titulada “Producción de inulinasa a partir de cepas nativas aisladas de yacón y de *Kluyveromyces marxianus* NRRL Y-8281

(número de cepa)”. Demostró que:

La inulinasa es parcialmente constitutiva dado que con glucosa como única fuente de carbono hubo producción, obteniéndose una actividad total de 2,0 U/ml. La mayor producción de enzima se obtuvo con inulina seguida por el extracto de yacón y lactosa, a 48 horas de fermentación. En el medio con lactosa se obtuvo mayor producción de enzima intracelular.

Respecto a la lactosa, el extracto de yacón tiene ventajas: promueve la secreción de la enzima, se requiere menos azúcar y se obtiene mayor pureza; la inulina tiene la desventaja de ser muy costosa.

Chirinos (1999), en su tesis de posgrado en la UNALM, titulada “Obtención y caracterización de los oligofruktanos a partir de la raíz de yacón”, tuvo las siguientes conclusiones:

Evaluó las características fisicoquímicas, así como la distribución de los oligofruktanos de acuerdo a su peso molecular presentes en raíces de yacón de diferentes estados de madurez y procedentes de Tarma, Cusco y Chachapoyas, considerando dos alternativas tecnológicas: extracción en caliente y extracción enzimática. Se encontró concentraciones variables de oligofruktanos, fructosa, sacarosa, y glucosa en función del estado de madurez y zona de procedencia. El contenido total de oligofruktanos disminuyó conforme se acentuaba la madurez de la raíz, Obteniéndose valores de 78,3; 74,66 y 59,61% (base seca) con un grado de polimerización de 6,02; 5,06; 3,99. Siendo la fructosa el azúcar que más cambios presentó, desde 5,6 % en la primera cosecha, hasta el 26,93 % en la tercera cosecha en base seca. Durante las pruebas de extracción enzimática se observó que el contenido de oligofruktanos disminuía mientras que el de azúcares aumentaban; se debería a que las enzimas utilizadas contienen actividades colaterales como invertasa y/o inulinasa que hidrolizan a los oligofruktanos.

Chaquilla (1997), en su tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias del UNA, Puno, titulada “Obtención de jarabe a partir de yacón”, menciona que:

El rendimiento de jarabe fue de 6 %; los colores variaron de amarillo hasta naranja y rojo. Concluye que los parámetros óptimos definidos en la etapa de evaporación dieron el máximo rendimiento de azúcares totales a 69,07 °C, con 0,05 % de bisulfito de sodio y con un rendimiento de 34,54 g de azúcar. El jarabe de yacón tiene una concentración de 65 °BX similar a la miel de abejas, con una humedad de 24,12 %, cenizas 3,03 %, proteína total de 3,53 %, fibra bruta de 3,05 % y 64,18 % de carbohidratos. El análisis microbiológico reporta presencia de <100 UFC/g, el análisis sensorial reportó mayor aceptación a los tratamientos T1 (60 °C, 0,1 %) y T2 (60 °C, 0,05 %). El análisis de glucosa en la sangre en ratas, después de 4

semanas, se concluye que el tratamiento óptimo de jarabe utilizado es el que contiene un 31 %, e induce a un menor nivel de glucosa en sangre.

Pinto y Rosales (2007), en su tesis presentada en la Facultad de Química e Ingeniería Química de la UNMSM, titulada “Comparación de dos métodos tecnológicos para la obtención de miel de yacón utilizando un concentrador a presión a vacío y una marmita a presión atmosférica”, comparan dos métodos tecnológicos para la obtención de miel de yacón a nivel de planta piloto, y señalan lo siguiente:

Los resultados del análisis microbiológico indican que la miel de yacón es apta para el consumo humano; los resultados de análisis del análisis sensorial señalan que el panel de degustación acepta la miel producida a presión atmosférica. Sin embargo, a presión de vacío esta tiene mejor aceptación. En el estudio económico la miel de yacón, producida en un concentrador de vacío, es más económica que aquella producida en marmita. En los análisis los FOS se obtienen como resultado en 34,55 g/100g materia seca, en marmita y 41,77 g /100g materia seca al vacío.

Ramos (2007), en su tesis presentada en la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UNMSM, titulada “Estudio químico-bromatológico de algunas variedades de yacón, de la provincia de Sandia Puno”, señala que los valores promedios obtenidos de: 80,83 % de humedad; 2,81 % de proteínas totales; 4,21 % de fibra bruta; 0,29 % de extracto etéreo; 2,85 % de cenizas,; 6,35 de pH, 0,30 mg de ácido cítrico de acidez; 90,1 % de carbohidratos, 7,62 % de azúcares reductores directos y 26,32 % de azúcares reductores totales, en base seca.

Pedreschi (2002), en su tesis de la Facultad de Industrial Alimentarias, UNALM, titulada “Fermentación de fructooligosacaridos del yacón por *L. acidophilus*, *L. brevis*, *L. gasseri*, *L. plantarum*, y *B. bifidum*”, encontró que los microorganismos que crecieron en el extracto de

yacón fueron: *L. plantarum*, *L. acidophilus* y el *B. bifidum*. Con ellos se evaluó la influencia de la fuente de carbono y la tensión de oxígeno en su crecimiento. Las cepas fueron capaces de utilizar eficientemente la fuente de carbono (glucosa, sacarosa, fructooligosacáridos, extracto de yacón) pero no fueron capaces de fermentar la inulina.

Aguilar (2007), en su tesis de Posgrado de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de UNMSM, cuyo título es “Estudio de los flavonoides aislados de las hojas de *Samllanthus sonchifolius* (yacón) y determinación de su actividad antioxidante e inmunológica”, menciona que:

El rendimiento de fracción flavónica de 1 % y los flavonoides aislados fueron: 5,7dihidroxi-4'-metoxiflavonol, 5,7,3'-trihidroxi-4'-metoxiflavonol, 5-hidroxi-4'-metoxi-7-0-glicocilfavona y 7,4'-dihidroxi-3,5'-dimetoxiflavona. Los flavonoides demostraron tener actividad antioxidante semejante a la rutina, quercetina y la vitamina C dependiente de la concentración y actividad inmunológica al estimular el aumento del número de glóbulos blancos y rojos en animales inmunosuprimidos y sin evidencia de toxicidad a las dosis ensayadas.

Por lo tanto, este autor concluye que las hojas tienen cuatro flavonoides y estas tienen actividad antioxidante e inmunológica.

García (2000), en su tesis de posgrado de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UNMSM titulada “Producción de jarabe de fructosa del yacón por fermentación con una cepa nativa (*Bacillus sp*)”, reporta que se aisló:

Microorganismos con elevada actividad de inulinasa de la rizósfera del yacón, se optimizó las condiciones de fermentación para la producción de jarabe de fructosa del yacón y, finalmente, se realizó el análisis fisicoquímico del jarabe. Los resultados experimentales muestran un mayor grado de hidrólisis de oligofruktanos a pH de 4,5 y 10 % de sustrato, 5 % de inóculo y 72 horas de incubación. Bajo esas condiciones se obtuvo un jarabe de 69 % de fructosa, por lo

que mediante la hidrólisis enzimática, se logró obtener el 32,30 % más de fructosa, porcentaje que es importante para proyectar a nivel industrial. En la composición fisicoquímica del jarabe se obtuvo 20,0 % de humedad, 80°Bx, 69 % de fructosa, 10 % de glucosa, 0,71 % de cenizas sulfatadas, 4,3 de pH, 2,2 ppm de plomo, 4,3 ppm de cobre y arsénico no detectable, valores que están dentro de los requeridos por la norma del Codex Alimentarius.

Mansilla (2001), en su tesis para la Facultad de Ciencias de la UNALM, titulada “Caracterización genética molecular de *Smallanthus sonchifolius* mediante marcadores RAPD’s” (Random amplified polymorphic DNA), realizó la caracterización de 30 muestras del yacón peruano cultivados, provenientes de los departamentos del norte, centro y sur del país. Con este procedimiento le permitió establecer que existe una mayor diversidad de yacones, proveniente de la zona centro. En el análisis molecular de varianza se obtiene un 21,14 % de variabilidad correspondiente al componente interregional, lo que indicaría que sí existen diferencias de yacones entre las regiones.

Ynouye (2005), en su tesis para la Facultad de Ciencias de la UNALM, titulada “Determinación del contenido de carbohidratos de reserva, la actividad enzimática de la polifenoloxidasas y la concentración de polifenoles en raíces reservantes del yacón”, señala:

Las muestras evaluadas presentaron un bajo contenido de materia seca 3,68 a 7,5 % y sólidos solubles 4,85 a 7,67 °Bx. El contenido promedio de azúcares de reserva en base seca fue de glucosa 20,8 %; fructosa 34,3 %; sacarosa 18,5 %; y fructooligosacáridos 7,21 %. Se encontró que la concentración de sólidos solubles es un buen estimador de la concentración de fructooligosacáridos y del contenido de materia seca, el rango en el contenido de compuestos fenólicos de las muestras fue de 0,32 a 0,79 mg de ácido clorogénico/ g en materia seca., el rango de actividad de la polifenoloxidasas fue de 1,22 a 72,21 UE/g en base seca donde una unidad enzimática (UE) fue definida como el cambio en la absorbancia de 0,001 por minuto/ g de materia seca, se determinó que la actividad enzimática de la polifenoloxidasas tiene mayor

influencia sobre la susceptibilidad al pardeamiento, que la concentración de compuestos fenólicos en las raíces de yacón evaluadas.

Colán & Picón (2002), en su tesis para la Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Ricardo Palma, titulada “Proyecto de factibilidad para la producción y comercialización del yacón”, indican “las ventajas que se tendrían en aplicar a la industria de bebidas gaseosas como sustituto del jarabe de maíz, en las industrias farmacéutica (inulina) y alimentaria (néctares, harina de yacón); asimismo, la tesis se enfoca hacia el mercado exterior por sus bondades terapéuticas”.

Según Arango, Cuarán & Fajardo (2008), en su estudio, reportan lo siguiente:

La optimización del proceso de extracción sólido-líquido, con agua caliente, de inulina a partir de raíces de yacón. La cuantificación de inulina presente en el extracto se hizo a través de refractometría. La técnica para la separación de los cristales a partir de la solución rica en inulina tuvo un rendimiento del 17,3 % con relación al peso en fresco del material experimental. Los cristales fueron caracterizados bajo propiedades físicas, químicas y organolépticas.

El máximo rendimiento de inulina bruta en el extracto 20,7 %, se obtuvo sometiendo el material vegetal a una extracción de 82,2 °C durante 23 minutos con una relación solvente - materia prima de 4,5 l por cada 500 g. De las tres variables analizadas para la técnica de extracción de inulina de yacón, las más relevantes fueron la variable relación solvente – materia prima y la temperatura. El contenido de inulina presente en las raíces de yacón, perfilan a esta materia prima como una alternativa promisorio para su utilización en la industria alimentaria y farmacéutica.

Por otro lado, el estudio, realizado por Muñoz et al. (2007), concluyen lo siguiente:

La capacidad antioxidante obtenida por los métodos de radical libre de 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH) y Ácido 2,2'-azinobis (3etilbenzotiazolín)-6-sulfónico (ABTS) está correlacionada con el contenido de compuestos fenólicos totales.

Los frutos estudiados poseen una actividad antioxidante muy elevada (el camu-camu y el tumbo serrano); elevada la guinda, el noni y el yacón. Existe una correlación directa entre los valores obtenidos por el método y los valores de compuestos fenólicos totales, lo que explica

que las frutas estudiadas tengan un alto poder antioxidante, recomendándose el consumo de estos frutos para una alimentación saludable y una mejor calidad de vida.

Según Jiménez & Sammán (2014), el principal componente de los carbohidratos del yacón fueron los fructooligosacáridos (8,89%) y concluyen que:

Las raíces y tubérculos estudiados, además de aportar nutrientes, contienen compuestos funcionales que les confieren un valor adicional como alimentos útiles para la prevención de algunas enfermedades no transmisibles. Las ocas y el yacón son buena fuente de vitamina C. Se pueden considerar alimentos aportadores de este nutriente para la población de las regiones andinas, donde el consumo de cítricos es bajo. Las ocas y el yacón contienen cantidades importantes de fructooligosacáridos como carbohidrato de reserva. También, son fuente de fibra dietaria principalmente insoluble, la cual es un componente alimentario de valor para mantener la salud intestinal. Respecto a la vitamina C, una porción de yacón (100 g) cubriría 22 % de la Ingesta Diaria Recomendada (IDR) para mujeres y 18 % para hombres si se considera la recomendación de la National Academy of Sciences, la cual es 75 y 90 mg/día para mujer y hombre adultos respectivamente; al ser una raíz que se consume cruda se la puede considerar como una buena fuente de este nutriente para los pobladores de regiones andinas que lo consumen.

Respecto al almacenamiento del puré, tomando como referencia el caso del tomate, Panadés et al. (2007), concluyen lo siguiente:

La influencia del almacenamiento aséptico sobre la calidad física, química, sensorial, microbiológica y contenido de ácido ascórbico del puré de tomate envasado en bolsas flexibles de 4 litros durante 15 meses. El producto se evaluó periódicamente en cuanto al contenido de acidez, sólidos solubles, humedad, azúcares reductores, índice de pardeamiento y ácido ascórbico. Se efectuaron también, evaluaciones sensoriales de la calidad general y por atributos (consistencia, color, olor a tomate, olor extraño, sabor a tomate, amargor, dulzor, acidez y sabor extraño). Los análisis microbiológicos incluyeron conteos de mesófilos aerobios, esporas mesófilas, mohos y levaduras. Se corrobora que el procesamiento aséptico y envasado en bolsas flexibles no altera la calidad física, química y microbiológica del producto. El contenido de ácido ascórbico se reduce significativamente con el procesamiento aséptico pero no se afecta

durante 6 meses de almacenamiento. A los 15 meses el producto se evaluó sensorialmente en su calidad general entre “Bueno” y “Aceptable”.

Arizmendi (2016), con respecto a la elaboración de polímeros naturales injertados con compuestos antioxidantes y evaluación de sus propiedades funcionales, señala:

Con el fin de generar una nueva fibra dietética antioxidante y prebiótica, el ácido gálico (AG) se injertó en inulina nativa por el método de radicales libres, generados mediante el par *Redox* peróxido de hidrógeno/ácido ascórbico ( $H_2O_2$  /AA). A través de Resonancia Paramagnética Electrónica (EPR), se evaluaron relaciones molares (RM) a 9, 20, 39 y 49 moles de  $H_2O_2$  /AA para determinar el efecto de la oxidación de la inulina y medir la eficiencia en el injerto Inulina-ácido gálico (IGA). El injerto se confirmó mediante UV, espectroscopia de infrarrojo (FT-IR) y difracción de rayos X en polvos. Además, la actividad antioxidante fue evaluada por métodos espectroscópicos y la actividad prebiótica del IGA se determinó por el crecimiento *In vitro* de *Lactobacillus acidophilus*. La concentración más alta de macroradical en la inulina se obtuvo con relaciones molares de  $H_2O_2$  /AA de 20 y 49. El macroradical de la inulina se forma por la eliminación de un átomo de hidrógeno de los grupos metilo en los monómeros de fructosa. Los espectros UV muestran picos de absorbancia a 214 y 266-268 nm que evidencian la presencia de anillos aromáticos en el injerto IGA y los espectros FT-IR muestran una banda a 1743  $cm^{-1}$ , que confirma el enlace covalente entre la inulina y el AG. Las concentraciones equivalentes de AG en IGA fueron; 30.4 y 16.3 mg AG/ g IGA, con RM = 9 M de  $H_2O_2$  /AA. Los nuevos polímeros exhiben capacidad de inhibir radicales libres tales como 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH),  $^1O_2$ , y para reducir la peroxidación de lípidos. La inulina muestra una significativa capacidad de estimular el crecimiento de *L. acidophilus* que no se ve afectada por la presencia de moléculas de AG injertado. Este trabajo demuestra que es posible proporcionar capacidad de inhibición de radicales libres a los fructooligosacáridos, evitando que sus propiedades prebióticas disminuyan, lo que podría extender su potencial como alimentos funcionales.



## **1.2 Planteamiento del Problema**

En esta sección he abordado las razones por las que he escogido este producto procesado como puré de yacón, por sus propiedades fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas. Empezaré por la descripción del yacón, como materia prima.

### **1.2.1. Descripción**

El yacón, en el mercado peruano, tiene una diversidad de presentaciones y es utilizado como materia prima por sus excelentes propiedades fisicoquímicas y organolépticas. Si bien el yacón ha servido como materia prima para producir mermeladas, hojuelas y jarabes, no ha sido procesado, todavía, como puré, que tenga calidad y cuente con una presentación comercial, accesible y atractiva a muchos sectores de la población.

Analizaremos la importancia de dicha presentación, de tal forma que pueda expandirse en el mercado como un producto nuevo y agradable, que puede ser consumido como parte de la dieta alimentaria de la población. Esta investigación viene a cubrir la ausencia de una forma de diversificación del producto del yacón, accesible por sus cualidades nutricionales, puesto al alcance del poblador. Asimismo, en este trabajo se buscará la definición de los parámetros técnicos de elaboración del puré de yacón y su caracterización organoléptica.

En otras palabras, la población desconoce otras alternativas de consumo como, por ejemplo, el producto tipo puré de yacón. De hecho, no existe en el mercado este tipo de producto. En la práctica, este estudio permitirá conocer los parámetros, a nivel industrial

(flujo de procesamiento, tiempos de tratamiento térmico, temperaturas, etc.) y dar un valor agregado a un producto relegado en el mercado.

En síntesis, este trabajo contribuirá al impulso del consumo interno del producto en los mercados del país y que no se vea, solamente, como materia prima para otros fines, como la extracción de fructooligosacáridos (FOS) para la exportación.

### **1.2.2 Formulación de la pregunta principal**

¿Se puede obtener, puré de yacón como producto nuevo utilizando un proceso tecnológico adecuado?

### **1.2.3 Formulación de preguntas específicas:**

¿Cuáles son los resultados de los análisis bromatológicos del yacón en estado fresco?

¿Cuál es el grado de acidez óptima del puré de yacón?

¿Cuáles son los parámetros de procesamiento tecnológico del puré de yacón?

¿Cuál es el resultado del control microbiológico del puré de yacón?

¿Cuál es el resultado de la evaluación sensorial, la aceptación organoléptica, del puré de yacón?

¿Cuáles son los parámetros de control en almacenamiento del puré de yacón?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Desarrollar un producto nuevo, “el puré de yacón”, con características fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas aceptables cumpliendo con las normas técnicas.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Realizar los análisis bromatológicos del yacón en estado fresco.
- Determinar el grado de acidez óptima del puré de yacón.
- Determinar los parámetros de procesamiento tecnológico del puré de yacón.
- Determinar el control microbiológico del puré de yacón.
- Determinar la evaluación sensorial, la aceptación organoléptica, del puré de yacón.
- Determinar de los parámetros de control en almacenamiento del puré de yacón.

## **1.4 Justificación**

El yacón es un alimento rico en fibra y bajo en azúcares, de sabor dulce, resultante de la presencia de oligofruktanos, lo que hace apetecible su consumo en fresco o como producto procesado. El yacón fue una planta cultivada desde la época incaica, en grandes extensiones, en los Andes del Perú. Este alimento fue parte de la dieta alimentaria y sirvió como medio medicinal. Posteriormente, fue relegado al igual que otros cultivos andinos.

Actualmente, el yacón es cultivado en la región andina, por sus enormes bondades y succulentas raíces para el consumo humano, así como por el frondoso follaje para la alimentación animal, desarrollándose desde el nivel del mar, hasta los 3600 metros de altitud.

Estratégicamente hablando, el procesamiento de yacón se convierte en una de las potencialidades alimenticias de las zonas andinas que puede ser atractiva para los inversionistas interesados en su producción y comercialización, a partir de la aplicación de tecnologías adecuadas. La población puede tener acceso a este procesamiento, después de un periodo de capacitación y entrenamiento. En los últimos años, el Estado y la empresa privada han estado impulsando la investigación aplicada del yacón, con buenos resultados, como se puede apreciar en los antecedentes de este estudio. Su procesamiento industrial se convierte en un instrumento para darle un valor agregado, a nivel de alimento. Asimismo, permitirá incrementar los ingresos y empleo en aquellas familias que lo utilicen.

El diseño y desarrollo tecnológico de este alimento constituye la justificación de este trabajo y se presenta como una oportunidad de investigación. Este producto, si tiene calidad funcional, sanitaria y organoléptica, puede conservarse en forma adecuada, durante el período en que se desarrolla su comercialización.

El alimento que vamos a producir, presenta características fundamentales, como es el contenido en fibra y bajas calorías; además el carbohidrato que contiene este tubérculo es almacenado como fructosa que no puede ser metabolizado por el tracto digestivo, constituyéndose en un alimento potencialmente dietético, y de fácil ingesta y de accesibilidad para la población.

## **1.5 Alcances y limitaciones**

Esta investigación se suma al conjunto de trabajos realizados en los últimos diez años, se han realizado una serie de investigaciones sobre el yacón, en relación al cultivo mismo, y como materia prima de algún alimento. Se han llevado a cabo investigaciones y sistematizaciones de estudios sobre el yacón, relacionados con el procesamiento poscosecha, la definición de procedimientos y aclaración de aspectos tecnológicos y alimenticios. Sin embargo, esta investigación está orientada al desarrollo de un nuevo producto, de calidad, al alcance de una población que no tiene facilidad de almacenar alimentos por un tiempo prolongado. Este trabajo se centra en dar una explicación, a partir de un experimento en laboratorio, sobre los alcances de la conservación de un producto que puede alargar su periodo de vida útil.

En cuanto a las limitaciones del estudio mismo, la producción del yacón no se realiza en todas las regiones del país, ni en grandes volúmenes. Se aprecia que hay una variación del yacón, en cuanto a sus características como materia prima, tomando en cuenta el origen de procedencia, es decir, de qué regiones del país provienen. Por otro lado, el yacón tiene un alto contenido de humedad y enzimas, que al momento del procesamiento, podría generar un menor rendimiento.

## **1.6 Definición de las variables**

Variable independiente:

Parámetros de procesamiento para la elaboración del puré de yacón.

Variable dependiente:

Puré de yacón con características fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas durante su tiempo de vida útil, adecuadas.

## **CAPITULO II      MARCO TEÓRICO**

En este capítulo he analizado la importancia de los aspectos relacionados con el proceso tecnológico para obtener el producto de puré del yacón, a partir de las ideas de diversos autores que sustentan un análisis sobre los mismos. He revisado un conjunto de trabajos referidos al desarrollo del tema. Empezaré por señalar los aspectos generales del yacón, su ubicación geográfica, su producción y composición química, con énfasis en los carbohidratos y la fibra dietética. He analizado el yacón como producto final y los componentes relacionados con las enzimas, los microorganismos y los factores que influyen en su desarrollo. Por otro lado, he señalado las ideas de algunos autores que explican la evaluación organoléptica, la caducidad de los alimentos y las etapas del procesamiento de elaboración del yacón como puré. A continuación, explicaré los aspectos generales del yacón.

### **2.1. Aspectos generales**

Uno de los autores que abordan las características del yacón (Figura1), es Rea (1995), que señala que el yacón es una planta cultivada antiguamente por los incas de los Andes del Perú; se cultivó en grandes extensiones por constituir parte de la dieta alimentaria. Posteriormente, este cultivo fue relegado y sustituido por otros como trigo, cebada etc.; actualmente, su cultivo se ha difundido por los andes sudamericanos como en Colombia, Ecuador, Bolivia, Chile y Argentina.

Según León y Cárdenas, citados por Manrique y Hermann (2003), reafirman que el yacón se cultiva, desde Venezuela y Colombia hasta el norte de Argentina, siendo, en este último, cultivado para consumo familiar en las provincias de Salta y Jujuy. En Bolivia se produce en las provincias de

Tarija, Chuquisaca, Cochabamba y La Paz; en esta última zona se encuentran las áreas de mayor cultivo y diversidad de germoplasma.

El Yacón fue declarado en emergencia por la FAO en 1981; a partir de esta fecha organismos internacionales apoyaron estudios de investigación de este producto (Arbizu, 2004).

Según Robinson (1991), el nombre científico del yacón es *Smallanthus sonchifolius*; tiene como sinónimo, el nombre de *Polimnia sonchifolia*. El género *Smallanthus* presenta, en total, 21 especies, todas americanas.



*Figura 1. Yacón.*  
Fuente: Rea (1995).

Esta planta es perenne; la fecha de siembra se da en los meses de setiembre, octubre y noviembre y la cosecha, en los meses de junio, julio, agosto. Tiene de 1,5 a 3 metros de altura; algunas son pequeños árboles y raramente son plantas anuales. Se desarrolla muy bien desde el nivel del mar, hasta los 3600 msnm. Sus raíces son reservantes y carnosas, en número de 4 a 20, y alcanzan un tamaño de 25 cm de longitud y 10 cm de diámetro, con un sistema extensivo de delgadas raíces fibrosas, como se observa en la Figura 2.



*Figura 2. Raíz de Yacón.*  
Fuente: UNALM (2004).

Estas raíces son fusiformes, tienen una naturaleza adventicia, que crecen de un tronco desarrollado y ramificado, formada por rizomas cortos y gruesos simpódicos, que continúa el crecimiento en la rama lateral. Existen formas hortícolas como la blanca, anaranjada y morada; esta diversidad se ha mantenido en el Perú, debido a su origen cultural y ecológico.

Estos cultivos están ligados a las tradiciones de las comunidades y condiciones topográficas de los andes. La Universidad Agraria La Molina conserva muestras de las formas hortícolas, sometidas a evaluaciones morfológicas y moleculares (UNALM, 2004).

## **2.2. La producción del Yacón**

Las zonas productoras principales del yacón en el Perú, son Amazonas, Puno, Cuzco Huancavelica, Junín y La Libertad (Tabla 1). Amazonas tiene el mayor volumen de producción. No se ha encontrado mayor información en los registros de producción del Ministerio de Agricultura, debido, probablemente, a que el volumen de producción es muy bajo.



Tabla 1

*Producción de yacón (Smanllanthus sonchifolius) por regiones (2006-2015)*

REGIÓN	VOLUMEN DE PRODUCCIÓN (toneladas)										
	Años 1980-1984	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Puno	1286	972	969	1129	1137	1152	1206	1361	1267	1246	1531
Sandia	-	912	900	1051	1040	1091	1026	1144	1001	1011	1089
Carabaya	-	60	69	78	97	61	180	217	266	235	442
Junín	126	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La Libertad	71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Huancavelica	222	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cajamarca	-	16	8	-	-	-	-	-	--	-	-
Cusco	-	2132	1925	140	1314	1152	900	1178	-	-	-
Paucartambo	-	1326	875	55	630	522	458	364			
Challabamba	-	806	1050	85	684	630	442	814			
Amazonas	-	1602	2446	6437	5187	4851	4492	5187	-	-	-

Fuente: Elaboración propia, basada en datos de la Dirección de Información Agraria de: Puno, Cusco, Cajamarca y Amazonas 1980-2015.

### 2.3. Composición química del yacón

Diversos autores, como Collazos et al. (1993); Nieto et al. (1987); Chaquilla (1997), Chirinos (1999) y León (1983), reportan la composición química de la raíz de yacón en estado fresco, como vemos en la Tabla 2. Podemos observar que, el yacón presenta un alto contenido de humedad, así como el contenido de carbohidratos, fibra y un bajo contenido calórico.

Tabla 2

*Composición química del yacón (Smanllanthus sonchifolius) por regiones*

Componente	(1)	(2)	(3)	(4)	(4)	(4)	(5)
	bh	bh	bh	Tarma bs	Chanchamayo bs	Cuzco bs	Cajamarca bh
Energía (kcal)	54	-	-	-	-	-	-
Humedad (%)	86,6	84,3	87-86	89,15	89,12	90,15	90,25
Proteína (%)	0,3	3,7	1,49	2,48	3,03	2,97	0,231
Grasa (%)	0,3	1,5	0,07	0,21	0,18	0,17	0,126
Carbohidratos (%)	12,5	-	10,5	87,08	87,23	87,5	8,321
Fibra (%)	0,5	3,4	0,35	7,55	6,06	6,68	--
Ceniza (%)	0,3	3,6	0,46	2,67	3,5	2,67	1,072
Calcio (mg)	23	0,08	-	-	-	-	-
Fósforo (mg)	21	12,2	-	-	-	-	-
Hierro (mg)	0,3	96	-	-	-	-	-
Retinol (µg)	12	-	-	-	-	-	-
Tiamina (mg)	0,002	-	-	-	-	-	-
Riboflavina (mg)	0,11	-	-	-	-	-	-
Niacina (mg)	0,34	-	-	-	-	-	-
Acido ascórbico (mg)	13,1	-	-	-	-	-	-
Azúcares reductores (%)	-	-	-	30,23	35,15	25,57	3,85

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de los siguientes autores:

(1) Collazos et al. (1993); (2) Nieto et al. (1987); (3) Chaquilla (1997); (4) Chirinos (1999); (5) León (1983).

bs : base seca

bh: base húmeda

León (1983), hace referencia al análisis bromatológico del yacón de la zona de Cajamarca; indica porcentajes, en base seca, de carbohidratos de 60,27 a 75,50 %; sacarosa de 12,02 a 19,23 %, inulina de 12,85 a 14,65 %. Asimismo, reporta la composición química proximal y fisicoquímica promedio del yacón fresco, de 90,25 % de humedad; 0,231 % de proteína; 0,126 % de grasa; 1,072 % de ceniza; 6,01 de pH; 0,0265 % acidez; 3,85 % de azúcares reductores y 10,6 % de azúcares totales.

El yacón, a diferencia de otros tubérculos que almacenan sus carbohidratos en forma de almidón, los conserva como fructosa y oligofructanos, lo cual representa un gran potencial industrial, como fuente de inulina. Este producto es considerado como un alimento dietético, puesto que pasa por el tracto digestivo sin ser metabolizado.

El azúcar proveniente del yacón ayuda a incrementar la flora del intestino grueso; esta población de bifidobacterias, permiten regular a otras bacterias que se encargan de la putrefacción de residuos del mismo. Gracias a las bifidobacterias estimuladas por el consumo de yacón habrá menos toxinas y, consecuentemente, menos riesgos de producirse un cáncer al colon (Arbizu, 2004).

Chirinos (1999), reporta el contenido de glucosa, fructosa, sacarosa y oligofructanos presentes en las raíces de yacón procedente de diferentes zonas geográficas del Perú, como se muestra en la Tabla 3. Se puede apreciar que Chachapoyas una mayor cantidad de azúcares, que el resto de zonas rurales.

Tabla 3

*Cantidad de azúcares en las raíces de yacón, según su origen*

Azúcar (%)	Tarma	Chachapoyas	Cuzco
Glucosa	3,47	3,92	3,31
Fructosa	24,76	30,74	25,57
Sacarosa	2,54	4,61	2,87
Oligofruktanos	58,11	44,15	57,14

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de Chirinos (1999).

### 2.3.1. Carbohidratos

Robinson (1991), menciona que el número de monosacáridos libres existentes de forma natural en los alimentos es bajo, estando limitado principalmente a la D-Glucosa, la D-fructosa y el ácido-L-ascórbico, detectándose pequeñas cantidades de D-Galactosa, alcohol azúcares, mioinositoles.

Asimismo, señala que el disacárido más conocido es la sacarosa que se obtiene a partir de la remolacha o caña azucarera, en las frutas y verduras existen pequeñas cantidades de maltosa (disacárido que se repite en el almidón) y celobiosa (unidad que se repite en la celulosa) que provienen de la hidrólisis enzimática de los polímeros grandes. La estaquiosa es el único tetrasacárido presente, frecuentemente en raíces comestibles y legumbres, familia de la rafinosa, que producen flatulencia en el hombre, debido a que fermentan bajo la acción de microorganismos intestinales.

El término oligosacárido se refiere a polímeros que tienen menos de diez unidades de monosacárido, mientras que los polisacáridos son polímeros más grandes como las gomas

complejas, los mucilagos de las algas marinas y las bacterias (unidad que se repite en la celulosa) que provienen de la hidrólisis enzimática de los polímeros grandes. La estaquiosa es el único tetrasacárido presente, frecuentemente en raíces comestibles y legumbres, familia de la rafinosa, que producen flatulencia en el hombre, debido a que fermentan bajo la acción de microorganismos intestinales., los arabinanos de las semillas, los mananos, el almidón, la celulosa, las pectinas y el glucógeno animal (Robinson, 1991).

Los polisacáridos son designados con nombres comunes tradicionales, aunque los términos glucano, manano, o galactano se incluyen en las recomendaciones dadas por la IUPAC-IUB que aconsejan la nomenclatura de los compuestos químicos.

Para la determinación de los monosacáridos se emplea el reactivo de Fehling, el cual es reducido por la propiedad de que todas las hexosas pueden experimentar la apertura del anillo dando la forma carbonilo abierta. El mecanismo de esta reacción para los azúcares con un grupo carbonilo potencialmente libre en el carbono 2 o 3 implica primero la transformación catalizada por una base a enodiol, que es fácilmente oxidado después a ácido aldónico. Esta reacción que se utiliza para la determinación de azúcares reductores totales (Robinson, 1991).

El autor antes mencionado indica que la fructosa es una 2-cetohexosa, que en forma cristalina y en equilibrio en agua destilada se presenta principalmente en forma  $\beta$ -piranosa, más estable, y que es la responsable de su sabor dulce. La fructosa es el azúcar natural más dulce en comparación con otros azúcares, por lo que se puede bajar la cantidad de energía contenida en los alimentos, manteniendo el contenido de sólidos solubles y una actividad de agua baja.

La fructosa se metaboliza independientemente de la insulina del hígado y, por lo tanto, es útil para la dieta de los diabéticos, se absorbe lentamente en el intestino para pasar a la sangre. La

fructosa puede existir en solución, en la conformación de furanosa y es un componente de algunos oligosacáridos de cadena corta, en particular de los azúcares de la familia de la rafinosa. También, es principal constituyente de algunos polisacáridos (fructanos), por ejemplo de la inulina, presente en muchos tubérculos.

Respecto a la inulina (Figura 3), es un carbohidrato no metabolizable a nivel del tracto digestivo, considerado como un carbohidrato dietético; es un polímero lineal de moléculas de D-fructosa unidos mediante enlaces glucosídicos  $\beta$  (2-1) a una molécula de glucosa en la unidad terminal (Chirinos, 1999).

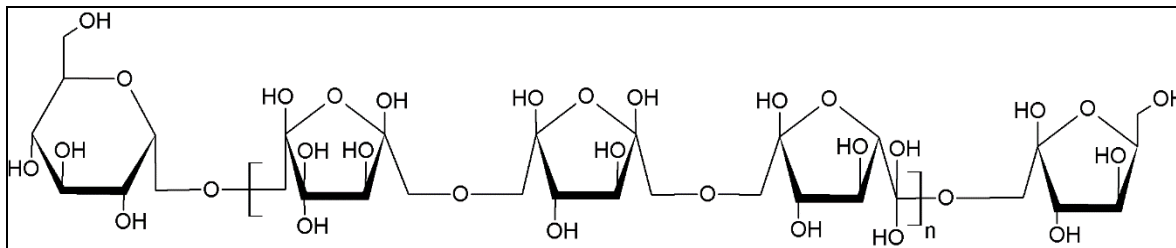


Figura 3. Estructura química de la inulina.  
Fuente: Arizmendi (2016).

Arizmendi (2016), menciona que:

Después del almidón, los fructanos, tipo inulina, son los polisacáridos más abundantes en la naturaleza. Entre las especies de plantas que producen fructanos se encuentran algunas pertenecientes a la familia *Liliaceae* (ajo, cebolla, espárrago, ajoporro), *Asteraceae* (achicoria, patata o tupinambo, yacón) y recientemente se reportan fructanos tipo inulina en hojas de *Agave tequilan* weber azul.

El mencionado autor hace referencia al contenido de inulina en algunas especies vegetales como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

*Contenido promedio de inulina en especies vegetales*

<b>Nombre común</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Inulina (g/100 g materia seca)</b>
Pataca	<i>Helianthus tuberosus</i>	8,9
Achicoria	<i>Cichorium intybus</i>	7,9
Agave tequilero azul	<i>Agave tequilana</i>	6,8
Raíz de Dalia	<i>Dhalia spp</i>	5,9
Cebolla	<i>Allium cepa L.</i>	4,8
Ajoporro	<i>Allium porro L.</i>	3,7
Ajo	<i>Allium sativum</i>	2,9
Yacón	<i>Smallanthus sonchifolius</i>	2,7
Espárrago	<i>Asparragus officinalis L.</i>	0,4
Cambur	<i>Musa cavendishii</i>	0,2
Centeno	<i>Secale cereale</i>	0,1

Fuente: Arizmendi (2016).

Arizmendi (2016), citando a varios autores (Palafox-Carlos, Ayala-Zavala, & González-Aguilar, 2011; Saura-Calixto, Pérez-Jiménez, & Goñi, 2009), menciona lo siguiente:

Dependiendo del origen y método de extracción, los fructanos tipo inulina suelen tener diferentes grados de polimerización (GP) que puede ir desde 12 a 46, estas diferencias condicionan sus propiedades físicas y químicas. La inulina nativa 12 (GP=12), contiene azúcares libres, mientras que la inulina de alta pureza (GP=25) presenta menor solubilidad que la inulina nativa, debido a la casi total ausencia de azúcares libres (0,5 % de materia seca). Propiedades como la digestibilidad, la actividad prebiótica y aportación calórica, poder edulcorante, entre otras, difieren sustancialmente por el grado de polimerización. Otras propiedades que se ven influenciadas por el GP de los fructanos son la capacidad antioxidante, cuando el grado de polimerización es mayor, su capacidad para reducir radicales libres (DPPH, •OH, <sup>1</sup>O<sub>2</sub>) disminuye considerablemente. Sin embargo, algunos compuestos fenólicos pueden estar asociados naturalmente a la inulina y otras fibras dietéticas aumentando significativamente su actividad antioxidante.

Osborne y Voogt (1978), mencionan que los carbohidratos proporcionan de un 50 – 65 % de la necesidad energética total de la dieta humana que proceden primariamente de productos vegetales, como los cereales, harinas, verduras, azúcares, conservas. Se presentan de diversas formas, en primer lugar, en cantidades relativamente pequeñas como monosacáridos (glucosa, fructosa, galactosa, ribosa); en segundo lugar, en forma natural o añadida cantidades sustanciales de disacáridos (sacarosa, lactosa, maltosa); en tercer lugar, pequeñas cantidades de dextrina como consecuencia de la degradación parcial de los polisacáridos; en cuarto lugar, cantidades sustanciales como polisacáridos (almidón, celulosa, hemicelulosas, pectinas y otros).

Estos autores refieren que dentro de los carbohidratos hay fracciones mayoritarias que son utilizables (monosacáridos, disacáridos, dextrinas, almidones y glucógenos) por el hombre, que son absorbidas a la corriente sanguínea que los transporta a los tejidos corporales para su síntesis o producción de energía, mientras que hay fracciones que no son utilizables (celulosa, hemicelulosa, gomas, y pectinas), que algunas sirven como principal componente estructural de los vegetales. El tracto digestivo humano no segrega ninguna enzima capaz de romper los enlaces  $\beta$ -(1-4) glicosídicos por lo que las hemicelulosas y la lignina pasan por el cuerpo inalterados aportando un voluminoso material de relleno esencial para el funcionamiento normal del tracto intestinal inferior. Asimismo, mencionan que, aunque las bacterias intestinales pueden degradar y utilizar cantidades variables de carbohidrato no utilizable, se considera que la contribución al aporte de energía para el hombre no es significativa (Osborne y Voogt, 1978).

Según Chirinos (1999), los oligofruetosacáridos presentan un perfil de sabor similar al de la sacarosa. Cuando estos se presentan puros su poder edulcorante es el 30 % del de la sacarosa.



Pertenecen al grupo de azúcares no reductores y no intervienen en la reacción de Maillard, son estables a pH mayor de 3 y a temperaturas por debajo de 140°C.

Asimismo, Osborne y Voogt (1978), mencionan que los carbohidratos no utilizables comprenden la suma de la celulosa, hemicelulosas, gomas y pectinas naturalmente presentes y de otros polisacáridos que pueden añadirse a los alimentos a bajos niveles con fines tecnológicos como agares, carrageanes, etc.

Hay evidencias para considerar los fructooligosacáridos (FOS) y la inulina, como alimentos funcionales. Tiene un carácter dietético, respaldado por su bajo poder calórico de 4 -10 kj /g (UNALM, 2004).

Los conceptos antes mencionados, permiten entender que las raíces tuberosas del yacón almacenan grandes cantidades de carbohidratos, al parecer, oligofructanos, denominados inulina. Algunos autores reportan valores de 57 a 66 % de este componente en base seca.

Según Chaquilla (1997), los azúcares pertenecen al grupo de los carbohidratos que son nutrientes básicos de la alimentación. Menciona que en el yacón se tiene un alto contenido de carbohidratos como la Inulina y fructooligosacáridos (polímeros de fructosa) los cuales no pueden ser hidrolizados por el organismo humano y atraviesan el tracto digestivo sin ser metabolizados, proporcionando calorías inferiores al de la sacarosa.

Chirinos (1999), reporta que el yacón procedente de la provincia de Chachapoyas Perú, tiene un contenido de azúcares reductores de 35,5 % en base seca, cuyo valor es mayor que el procedente de Tarma (30,23 %) y Cuzco (25,37 %). Asimismo, reporta que el contenido en el

yacón de azúcares simples (glucosa y fructosa), sacarosa y oligofruktanos es mayor en la raíz procedente de Chachapoyas frente a las provenientes de Tarma y Cuzco.

Según Chirinos (1999), el contenido de azúcares reductores, sacarosa y oligofruktanos varía en función al grado de madurez y la zona de procedencia. El contenido oligofruktanos disminuye a medida que madura la raíz, mientras que los azúcares reductores aumentan, obteniéndose a los 5, 7 y 9 meses de crecimiento, el 78,30 %, 74,66 % y 59,61 % de oligofruktanos; y contenidos de azúcares reductores de 30,23 %, 25,57 % y 35,15 % (base seca) para Tarma, Chachapoyas y Cuzco respectivamente.

Según Carvalho et al. (2004), obtuvieron conclusiones importantes sobre los contenidos de fructanos totales:

La exposición al sol de raíces de yacón y posterior almacenamiento a sombra en temperatura ambiente, reduce los contenidos de fructanos totales en el tejido. Las más bajas alteraciones en el contenido de fructooligosacáridos con grados de polimerización de bajo de 12, se lograron con un día de exposición al sol, independiente de los días de almacenamiento, a la sombra y al ambiente natural. Los rendimientos de fructosas totales obtenidos alcanzaron hasta 6,8 t/ha, valores significativos, diferentes con el aumento de tiempo de exposición al sol. Los tratamientos provocaron disminución del contenido de fructooligosacáridos y un incremento en el contenido de fructosa, glucosa y sacarosa. Fue posible identificar la cadena de los fructanos  $\beta$  (2-1) del tipo inulina.

Chacón-Villalobos (2006), nos brinda una opinión sobre los fructooligosacáridos, al resaltar y señalar las perspectivas de sus aplicaciones agroindustriales:

Los fructooligosacáridos representan una importante tendencia agroindustrial por sus aplicaciones técnicas, productivas y nutricionales; las aplicaciones industriales prácticas de estos carbohidratos, entre ellas, su capacidad como sustituto de la grasa, estabilizante y mejorador de

textura. Se encuentran muy desarrollados los métodos de extracción, purificación, y aplicación de los oligofruktanos; las técnicas de obtención y mejoramiento de los fructanos permitiría reducir costos en el control y mejoramiento de la salud, ofrecer una mejor calidad de vida y una mayor variedad de productos saludables.

### **2.3.2. Fibra dietética**

La Fibra alimentaria se puede clasificar de acuerdo a su solubilidad: insolubles (celulosas, hemicelulosas y la lignina), solubles (pectinas, betaglucanos, galactomanano, gomas, y un amplio rango de oligosacáridos incluyendo la inulina) y por su fermentabilidad por las bacterias en el colon (prebióticos, pectinas y salvado de avena, trigo).

Arizmendi (2016), citando a otros autores, considera como fibra dietética (FD) a los polisacáridos vegetales y la lignina, que son resistentes a la hidrólisis enzimática del tracto digestivo. La fibra dietética la definió como parte comestible de las plantas o hidratos de carbono, resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación parcial o completa en el intestino grueso.

Asimismo, Arizmendi (2016), señala que las fibras dietéticas contienen una mezcla de componentes bioactivos, que incluyen almidones resistentes, vitaminas, minerales, fitoquímicos y antioxidantes. Sin embargo, el principal componente de la fibra dietética son polisacáridos y oligosacáridos resistentes.

Los carbohidratos resistentes a la digestión en el intestino delgado, que requieren de la fermentación bacteriana en el intestino grueso con un grado de polimerización mayor a tres, son considerados fibra dietética. En la Tabla 5, se presentan los componentes de la fibra dietética.

Tabla 5

*Componentes de la fibra dietética*

Polisacáridos no almidón y Oligosacáridos	Carbohidratos análogos	Lignina y sustancias asociadas a carbohidratos no estructurados
Celulosa	Dextrinas indigestibles	Ceras
Hemicelulosa	Maltodextrinas resistentes	Saponinas
Arobinoxilanos	Dextrinas resistentes de papa	Suberinas
Arabinogalactanos	Compuestos carbohidratos sintetizados	Taninos
Polifructosas		
Inulina	Polidextrosas	
Oligofructanos	Metil celulosa	
Galacto-Oligosacáridos	Hidroxipropilmetil celulosa	
Gomas	Almidones resistentes	
Mucílagos		
Pectinas		

Fuente: Arizmendi, (2016).

Arizmendi (2016), refiere que estos componentes son polisacáridos que contienen de 2 a 20 unidades de azúcares, tipo inulina como ingredientes de alimentos que promueven el crecimiento o actividad de bacterias de algunas especies de los géneros *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*, benéficas para la salud. Asimismo, señala que estos polisacáridos, para ser considerados prebióticos, deben cumplir los siguientes requisitos: a) Resistencia a la acidez gástrica, la hidrólisis por las enzimas de mamíferos y la absorción gastrointestinal. b) Ser fermentados por la microflora intestinal. c) Estimular la actividad de bacterias intestinales, asociadas a la salud y el bienestar. En la Tabla 6, se mencionan algunos polisacáridos que cumplen con los criterios mencionados y pueden clasificarse como prebióticos.

Tabla 6

*Polisacáridos clasificados como prebióticos*

Nombre	Composición	Fuente	GP2
Inulina	$\beta(2-1)$ Fructanos	Raíz de achicoria	11 – 65
Fructo-Oligosacáridos	$\beta(2-1)$ Fructanos	Hidrólisis de inulina de achicoria	3 – 5
Galacto-oligosacáridos	Oligo-galactosa (85%) con fracciones de glucosa y lactosa	Producida de lactosa por $\beta$ -galactosidasa	2 – 5
Soya-oligosacáridos	Mezcla de Rafinosa (F-Gal-G)1 y estaquirosa (F-Gal-Gal-G)	Extracción de suero de leche de soya	3 – 4
Xylo-oligosacáridos	$\beta(1-4)$ -xilosa	Hidrólisis enzimática de xilanos	2 – 4
Pyrodextrinas	Mezcla de oligosacáridos que contiene G	Pirólisis de papa o almidón de maíz	Variable
Isomalto-oligosacáridos	$\alpha(1-4)$ G con ramificaciones $\alpha(1-6)$ G	Transgalactosilación de maltosa	2 – 8

Fuente: Arizmendi (2016).

F: fructosa, Gal: galactosa, G: glucosa, GP2: Grado de Polimerización.

Los prebióticos son ingredientes alimentarios no digeribles que afectan benéficamente en el crecimiento y/o actividad de la microflora intestinal. La inulina y los fructooligosacáridos como la oligofructosa son  $\beta$  2-1 fructanos lineales presentes en cantidades significativas en distintas frutas y vegetales.

Según Gonzales et al. (2014), señalan que, en el año 2011 se estableció una definición, a nivel internacional, para los alimentos funcionales: “Es un alimento natural o procesado que contiene compuestos conocidos como biológicamente activos, que cuando se ingieren en determinadas

cantidades (cualitativas y cuantitativas) proporciona un beneficio para la salud clínicamente probada y documentada”.

Un alimento funcional puede ser, según Gonzales et al. (2014), un alimento natural o no modificado; un alimento natural en el que uno de sus componentes ha sido mejorado; un alimento al que se le ha añadido un componente para que produzca beneficios; un alimento del cual se ha eliminado un componente y producirá menos efectos adversos sobre la salud; un alimento en el cual, alguno de sus componentes ha sido modificado químicamente para mejorar la salud; un alimento en el que la biodisponibilidad de uno o más componentes ha sido aumentada y/o combinaciones de las anteriores.

Dentro de los vegetales que han demostrado bioactividad con beneficio a la salud se encuentran los antioxidantes, péptidos bioactivos, fibra, prebióticos, esteroides entre otros.

#### **2.4. Características del puré de yacón, como producto final**

El puré, término que proviene del francés “*purée*”, es una técnica culinaria que consiste en machacar o triturar un alimento cocido, de tal forma que muestre una textura homogénea de pasta. Los alimentos elaborados en forma de puré, suelen ser hortalizas o legumbres. Según su consistencia, más o menos espesa, los purés se consumen como sopa o como guarnición de carnes o pescados.

También, se hacen purés de fruta, aunque en este caso la materia prima a veces se usa cruda. Industrialmente, son conocidos como cremogenados y son una de las materias primas más

utilizadas para la elaboración del 100 % de néctares, mermeladas, compotas, yogures con fruta, helados, cremas de frutas, etc. de yacón.

Es un producto versátil para presentarlo en la dieta para ser consumido como complemento en la alimentación del ser humano. Para este tipo de producto, podemos aplicar el concepto de calidad, como un parámetro que mide el grado de excelencia cualitativa y cuantitativa de un producto. Hay factores relacionados con la calidad, como son el grado de madurez, tamaño, forma, composición, valor nutricional, toxicidad, que se constituyen en parámetros de control. Además, contribuye a definir lo que es apto para el consumo en el mercado, lo que es adecuado para el consumidor o para el industrial interesado.

## **2.5. Enzimas**

Las enzimas se definen como proteínas, cuyo peso molecular cubre un amplio rango, cuya función catalítica se debe exclusivamente a su naturaleza proteica. Son biocatalizadores complejos de gran especificidad y eficiencia producidos por las células de los organismos vivos que aumentan la velocidad de las reacciones biológicas a través de vías bien definidas y cuya actividad está sujeta a regulación. Estas sustancias catalizadoras de los procesos vitales pueden presentarse extraordinariamente activas durante el periodo después de la cosecha y los cambios que ellas determinan, pueden influir en forma considerable sobre los caracteres organolépticos, textura y presentación del producto terminado (Schmidt & Pennachiotti, 1982).

La precocción trata de inactivar las enzimas de alteración; estas pueden ser endocelulares o exocelulares, por ejemplo, la savia, del tejido vegetal, enzimas microbianas, estas últimas

pueden ejercer su acción, aún cuando los microorganismos ya no tengan la posibilidad de proliferar o estén muertos. Por lo tanto, no siempre resulta fácil precisar el origen de la enzima o enzimas responsables de la alteración.

Las enzimas más dañinas pueden agruparse en tres categorías principales:

- a) Enzimas poco específicas, que provocan, al mismo tiempo, modificaciones del color aroma y otros caracteres. Se trata, principalmente, de enzimas oxidativas, tales como la catalasa y la peroxidasa. La catalasa da lugar a la formación de oxígeno a partir de peróxido de hidrógeno. La peroxidasa cataliza la deshidrogenación directa por el peróxido de hidrógeno o peróxidos orgánicos de diversos sustratos.
- b) Enzimas que originan la formación específica de olores y sabores indeseables: enzimas hidrolíticas, tales como las lipasas (formación de ácidos grasos libres y jabones), proteasas (formación de péptidos amargos), amilasas (formación de compuestos de sabor azucarados), enzimas de glicolisis anaerobia que transforman los glúcidos en etanol, acetaldehído, lipoxidasas acelerantes de la oxidación de ácidos grasos no saturados con formación de compuestos carbonilos volátiles, de olor rancio.
- c) Enzimas cuya actividad originan especialmente alteraciones de color: polifenoloxidasas, responsables del pardeamiento enzimático; clorofilasa, que degrada la clorofila; las ya mencionadas lipoxidasas, que originan la oxidación de los carotenos; enzimas amilolíticos, que pueden favorecer el pardeamiento no enzimático.

Además de estas categorías, se pueden citar enzimas que atacan, específicamente, a algunas sustancias presentes en los vegetales alimenticios: oxidasa del ácido ascórbico, que lo



transforma en ácido dehidroascórbico; tiaminasa, que escinde la vitamina B<sub>1</sub> en sus dos anillos pirimídico y tiazólico; pectinohidrolasas, que degradan las pectinas y, por lo tanto, modifican la textura del producto (Cheftel & Cheftel, 1976).

En el procesamiento del puré yacón se debe tener en cuenta la presencia de las enzimas en la materia prima, determinar su pretratamiento para la inactivación de éstas y evitar el pardeamiento del producto final.

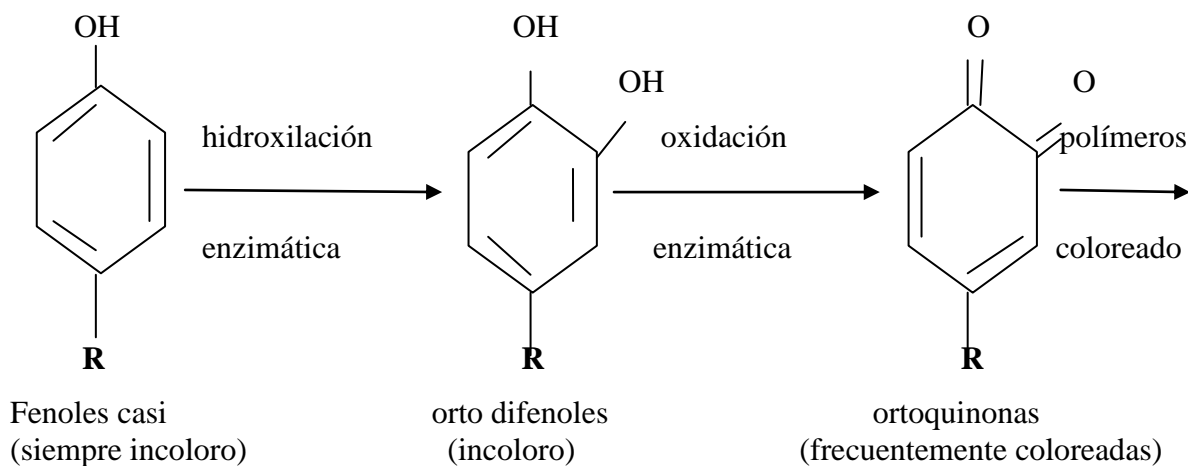
Sobre este aspecto mencionado, Schmidt & Pennachiotti (1982) señalan:

Las enzimas son biocatalizadores complejos de gran especificidad y eficiencia, producidos por células de organismos vivos, que aumentan la velocidad de las reacciones biológicas a través de vías bien definidas y cuya actividad está sujeta a regulación. Las enzimas muestran una marcada fragilidad térmica cuando se calientan a temperaturas mayores a 50 °C por tiempos de 2 a 5 minutos. El pardeamiento enzimático conduce a polímeros oscuros de tipo de la melanina, el cambio de color en frutas, verduras y tubérculos se observa cuando sufren daño mecánico o fisiológico. Se debe a la presencia en los tejidos de enzimas del tipo polifenoloxidasas, cuya proteína contiene cobre que cataliza la oxidación de compuestos fenólicos a quinonas. Estas prosiguen su oxidación por el O<sub>2</sub> del aire sobre el tejido en corte reciente para formar pigmentos oscuros melanoideos por polimerización. Los compuestos no son tóxicos, pero es de preocupación tecnológica por el aspecto, color y presentación de frutas y verduras. La inactivación por calor tiene la ventaja de no aplicar aditivo alguno.

Según Jeantet et al. (2006), se denomina “pardeamiento enzimático” a la transformación enzimática en sus primeras etapas y en presencia de oxígeno, de compuestos fenólicos en polímeros coloreados, frecuentemente marrones o negros pasando por coloraciones intermedias de rosa, rojo o azul.

Los pigmentos oscuros que se forman al final de esta cadena de reacciones, se denominan con el término general de melaninas. El pardeamiento enzimático se produce en los vegetales ricos en compuestos fenólicos. Al igual que el pardeamiento no enzimático, el pardeamiento enzimático es no deseable ya que modifica las características organolépticas y nutricionales de los alimentos.

Cheftel & Cheftel (1976), denominan pardeamiento enzimático, a la transformación enzimática en sus primeras etapas, de compuestos fenólicos en polímeros coloreados, frecuentemente pardo o negros. Las fases de su transformación son las siguientes:



Jeantet et al. (2006), mencionan que las enzimas implicadas en las reacciones de pardeamiento son las polifenoloxidasas (PPO) y, en menor medida, las peroxidasas. Las polifenoloxidasas actúan sobre los fenoles en presencia de oxígeno, mientras que las peroxidasas hacen intervenir al peróxido de hidrógeno. Este último, está débilmente presente en las células, ya que es eliminado rápidamente y, por esta razón, su participación en el pardeamiento, es limitada.

Asimismo, mencionan que las polifenoloxidasas se localizan en muchos organismos en dos formas ligeramente diferentes denominadas isoenzimas. Se diferencian por su afinidad por el oxígeno y los sustratos fenólicos, su velocidad de reacción máxima y su relación de actividad hidroxilante/actividad oxidante. La actividad hidroxilante no siempre está presente y cuando están las dos actividades, la relación actividad hidroxilante/actividad oxidante puede variar considerablemente (Jeantet et al. 2006),

Las polifenoloxidasas de la banana, del melocotón, del té, del tabaco catalizan específicamente la oxidación de los difenoles; las de la manzana, de la pera, de la patata, de los champiñones, poseen, también, actividad hidroxilante. Estas dos reacciones consumen oxígeno. Las polifenoloxidasas son metaloproteínas que contienen cobre, indispensable para el mecanismo catalítico de la enzima. Su pH de actividad óptima se sitúa, generalmente, entre 5 y 7 y la actividad decrece rápidamente con el pH.

La termoestabilidad de las polifenoloxidasas, que depende del pH, es más débil que la de las otras enzimas responsables de la alteración de los alimentos. De esta forma, la desnaturalización térmica de las polifenoloxidasas (escaldado) por inmersión en agua caliente mediante vapor o tratamiento con microondas, es un medio eficaz para impedir el desarrollo del pardeamiento enzimático en las conservas y en los productos congelados. Una corta exposición a temperaturas de 70 a 90°C es suficiente, en general, para una total inactivación de la enzima. El descenso del pH a valores < 4 se puede utilizar para reducir el pardeamiento siempre que sea tolerada desde el punto de vista organoléptico (Jeantet et al., 2006).

## 2.6. Los Microorganismos

Loncín y Carballo (1965), mencionan que se consideran como microorganismos, en el más amplio sentido de la palabra, a todos los seres vivos cuyas dimensiones son tales que no pueden ser observados a simple vista. Son en general: los protozoos, las algas microscópicas, las bacterias, los hongos, las levaduras, así como los virus y bacteriófagos.

Los microorganismos más importantes en relación con las industrias alimentarias y bioquímicas son las bacterias, levaduras y hongos.

Las bacterias (esquizomicetos) son seres unicelulares de núcleo difuso y que se reproducen por división transversal de la célula. Las bacterias que nos interesan carecen de clorofila y aunque numerosas especies utilizan el CO<sub>2</sub>, éste no sirve más que para realizar adiciones de grupos carboxilos de forma diferente de la nutrición autótrofa de las plantas.

Las bacterias se presentan en forma de cocos o bastoncitos o ligeramente curvados y que excepcionalmente tienen ramificaciones, sus dimensiones son de 1 a 2 milimicras, su movilidad es variable. Algunas bacterias forman esporas, que suelen estar localizadas hacia el centro del bastoncillo en el género *Bacillus* y en el extremo en el género *Clostridium*.

Estas bacterias son mucho más resistentes que las formas vegetativas. Así un calentamiento moderado a temperatura de 100 °C permite la destrucción de las bacterias pero no de las esporas; estas germinan posteriormente dando lugar a la formación de bacterias que se reproducen de nuevo por bipartición. Una bacteria que esporula, el *Clostridium botulinum* tiene la importancia notable en la industria de la conserva, ya que forma en el medio en que se

desarrolla una sustancia tóxica muy peligrosa. La dosis letal de esta toxina para el hombre es de  $1,2 \times 10^{-7}$  gramos y 1 cc de medio puede contener hasta 800 veces la dosis letal para el hombre (Loncín y Carballo, 1965).

Las levaduras pertenecen a la clase de los Eumicetos, familia de la Endomicetáceas, son organismos unicelulares que se reproducen normalmente por gemación, los géneros más importantes son los *Saccharomyces* y las *Torulpsis*. Las levaduras se presentan en forma redondeada y son mayores que las bacterias, sus dimensiones normales oscilan entre 4 y 8 milimicras y tienen núcleo diferenciado. Las levaduras como las bacterias carecen de clorofila. Pueden esporular, las esporas son menos resistentes al calor que las de origen bacteriano.

Los mohos son Eumicetos que se presentan en forma filamentosa, de dimensiones variables, que forman un micelio, que puede ser continuo o tabicado, cada célula tiene uno o varios núcleos. Los géneros más usuales son los *Aspergillus*, *Penicillium*, *Oospora*, *Mucor*, etc. Los mohos forman esporas, cuya formación y asociación son características que permiten su identificación y clasificación. Tanto las formas vegetativas como las esporas son fácilmente destruidas cuando se calientan a temperaturas superiores a los 100 °C.

Los virus y los bacteriófagos, son los seres vivos de menor tamaño, sus dimensiones son solamente de algunas de milimicras es decir del orden de dimensión de las grandes moléculas proteicas. Son siempre parásitos y no pueden reproducirse más que en presencia de células vivas del huésped y de la forma muy específica. Los virus y los bacteriófagos se destruyen fácilmente por calentamiento a temperaturas inferiores a 100 °C.

En el procesamiento de alimentos, la conservación térmica, es entendida como la destrucción de microorganismos, por la acción controlada de altas temperaturas, con el objetivo de garantizar una mayor conservación de los productos.

Elías et al. (2014), mencionan que la severidad de los tratamientos térmicos depende, tanto del tiempo, como de la temperatura. En términos generales, un tratamiento poco severo es aquel que se aplica temperatura por debajo de los 100 °C y en el que sólo se eliminan células vegetativas y células no esporuladas. Se diferencia de un tratamiento térmico severo, en el que se aplica una temperatura por encima de 100 °C, y tiene por objetivo eliminar esporas.

Ducar (1971), observa que la mayoría de legumbres y hortalizas pueden contaminarse por los microorganismos del suelo entre las que se encuentran bacterias más resistentes al calor, por lo que necesitan tratamientos severos ya que podrían alterar los alimentos. Se toma como base para la salud pública al microorganismo esporulado *Clostridium botulinum*, capaz de generar una toxina causante del botulismo. La toxina puede formarse sin una alteración manifiesta dentro del envase.

James (2013), menciona que la incidencia de microorganismos en las verduras puede verse reflejada en la calidad sanitaria de las etapas de preparación; las condiciones microbiológicas del producto crudo, en el momento de comenzar la manipulación.

Splittstoesser & Col, mencionado por James (2013), reportaron que, al examinar detenidamente las diferentes etapas de elaboración de verduras, raíces y hortalizas, localizaron “la contaminación general por estafilococos, en las manos de los operarios. Los coliformes (pero no

*E. coli*) y los enterococos se aíslan en la mayoría de las fases del procesado de verduras crudas, aunque no parecen ser hasta el presente un riesgo para la salud pública”.

Jeantet et al. (2006), mencionan que entre los tratamientos térmicos destinados a mejorar la calidad higiénica o a asegurar una larga conservación, se encuentran clásicamente la pasteurización y la esterilización. En la pasteurización, con respecto a la prolongación de fecha de caducidad, en general se busca obtener como mínimo 5 reducciones decimales de las formas vegetativas presentes. En función a este objetivo, se utilizan tres zonas de tiempo temperatura: pasteurización baja (15-30 min/60-65 °C), pasteurización alta (15 – 40 s / 70 -75 °C) y pasteurización flash (1-2 s / 85-95 °C).

En la esterilización, el tratamiento debe corresponder como mínimo a 12 reducciones decimales de *Clostridium botulinum* ( $D_{121,1} \equiv 12$  s,  $F_{121,1}^{10} = 144$  s), es decir un valor esterilizante de alrededor de 180 s. En la práctica, señalado por Loncín y Carballo (1965) se destaca que para que comercialmente se tenga un valor aceptable de riesgo de alteración se utilizan las zonas de tiempo temperatura de 15-20 min / 115-125 °C y 2-6 s / 140-150 °C.

Loncín y Carballo (1965), consideran que la pasteurización es una operación que tiene como finalidad, la destrucción de la mayor parte de los microorganismos y, especialmente, de las bacterias patógenas no esporuladas, contenidas en un producto. En tanto, la esterilización tiende a destruir todos los microorganismos. En la industria alimentaria se destruyen todos los microorganismos que están a punto de desarrollarse en el producto considerado. Estas operaciones consisten en llevar el producto a temperaturas determinadas durante un cierto tiempo.

Según Caps (2014), la conservación por calor de los alimentos, y entre ellos de los vegetales, es una tecnología relativamente moderna. El autor menciona que Pasteur, en 1860, demostró que la alteración de los alimentos estaba producida por microorganismos y que la invención de Appert unía a su destrucción por calor la imposibilidad de que se produjeran recontaminaciones gracias al sistema estanco del envasado.

Se puede afirmar, que en la actualidad la conservación por calor es una tecnología capaz de poner en el mercado una gran variedad de alimentos de excelente calidad nutricional y organoléptica, de conservación sencilla y que no ponen en peligro la seguridad del consumidor.

Tscheuschner (2001), menciona que las materias primas destinadas a la producción de alimentos son, en su gran mayoría, de origen animal o vegetal. Como sustancias biológicamente activas, están sujetas a una intensa interacción con el medio ambiente. Por ello, es necesario tener en cuenta, que las características de calidad varían mucho, tienen poca durabilidad. Por lo general, son de composición extremadamente compleja, lo cual impone determinados límites en su transformación en lo referente a temperatura, presión y manipulaciones mecánicas. Asimismo, los complejos micro-procesos físicos, químicos, bioquímicos, microbiológicos, biológicos y físico-químicos, que discurren durante el almacenado y el tratamiento tecnológico, exigen adecuados sistemas de conservación y almacenado.

Este mismo autor menciona que los productos a procesar se caracterizan por dos rasgos esenciales: Producción estacional (periodo de cosecha limitado) y capacidad de conservación



reducida, debido al alto contenido de agua (85-95 %). Por ello, se hace necesario diversificar dichos productos y procesarlos como productos listos para consumir, para que estén a disposición del consumidor durante todo el año (conservas esterilizadas, zumos de frutas y hortalizas, conservas congeladas, conservas crudas, conservas desecadas, compotas y mermeladas y alimentos infantiles). Se trata de lograr una ejecución óptima del proceso para conseguir el mejor mantenimiento posible de los componentes esenciales (vitaminas, pigmentos, minerales, oligoelementos) así como su estado de preparación, caracterizado por una cocción térmica (textura) y condimentación (aderezantes, azúcar, sal vinagre, especias condimentos como laurel, clavo, pimienta) (Tscheuschner, 2001).

Holdsworth (1988), plantea que el término “procesado térmico” se emplea para incluir todos aquellos procesos que implican la esterilización del producto dentro de un envase (lata de estaño, aluminio, envases plásticos, frascos de vidrio, bolsas de plástico laminado, envases semirígidos) o en intercambiadores de calor, seguidos de un envasado aséptico en envases preesterilizados. En estas operaciones el calor se emplea para inactivar enzimas y destruir cualquier tipo de bacteria existente. La fase más importante del proceso, aplicable a todo tipo de envase, es la destrucción de las esporas bacterianas por el calor.

Armendáriz (2016), plantea que las conservas y semiconservas son productos de fácil almacenaje y disponibilidad y listos para su utilización, muchas conservas nos ofrecen además productos de muy alta calidad. Las semiconservas se distinguen de las conservas porque no han recibido un tratamiento de esterilización, en el tarro o lata por lo que deben mantenerse en refrigeración. La esterilización establece parámetros de temperatura de 115 a 130 °C por un

tiempo de 15 a 30 minutos; mientras que la tinalización es de 80 a 100 °C por una hora y por tres días periodos sucesivos.

Otros factores que determina la decisión de aplicar un tratamiento térmico de mayor o menor severidad, es el valor del pH y de la Actividad de agua ( $A_w$ ) del alimento. Elías et al. (2014), afirman que valores mayores a 4,6 y 0,85, respectivamente, el alimento estará desprotegido.

Caps (2014), refiere que los productos vegetales esterilizados después de envasados con un  $pH > 4,5$  presentan riesgo de contener bacterias (tanto patógenas como responsables del deterioro del producto) capaces de producir esporas. El tratamiento térmico debe cumplir tres objetivos: a) Conseguir la destrucción de las esporas patógenas, representadas por el *Clostridium botulinum*, suficiente para que quede preservada la salud pública. b) Obtener la suficiente destrucción del conjunto de microorganismos responsables del deterioro del producto para que quede asegurada la vida útil prevista 5 años a temperatura ambiente. c) Conseguir la estabilidad de la conserva y calidad organoléptica adecuada, lo que obligará a elegir los parámetros de tiempo, temperatura, capaces de cumplir a la vez, con los objetivos mencionados.

Los alimentos que tienen un pH superior a 4,5, denominados poco ácidos, necesitan un proceso relativamente intenso, con temperaturas de 116 a 130°C durante diversos tiempos suficientes para calentar todo el producto de forma que la posibilidad de que sobreviva el *Clostridium botulinum* sea en extremo remota. Si están presentes esporas de *Clostridium botulinum*, después del tratamiento, entonces cabe que en el crecimiento se produzca la toxina botulínica mortal. Sin embargo, la toxina no es muy termoresistente y pierde su actividad biológica calentando durante

30 minutos a 80°C. La mayoría de los tratamientos culinarios son suficientes para destruir la toxina. Esto, en la práctica, reduce el peligro potencial, haciendo improbable los riesgos de una infraesterilización (Holdsworth, 1988).

Cheftel & Cheftel (1976), menciona que para productos de pH < 4,5 que es suficiente un tratamiento térmico moderado para la apertización de productos ácidos. En efecto, por un lado, los microorganismos mueren más fácilmente por calentamiento cuando el pH es bajo. Por otro lado, las especies esporuladas termoresistentes, lo mismo que la mayoría de las bacterias aún no esporuladas, no se desarrollan en medio ácido, de tal manera que solo es de preocupación las levaduras y mohos, así como algunas especies, todas ellas termolábiles.

Por lo general, un calentamiento de algunos minutos a 85-90 °C permite eliminarlas. En ocasiones, se recurre a temperaturas más elevadas, ya sea para inactivar enzimas o para reducir el tiempo de tratamiento térmico con el fin de conservar mejor las características organolépticas del alimento.

Bajo condiciones ácidas las bacterias no se multiplican y por ello, sólo se necesita un proceso de pasteurización (pH inferior a 3,7), empleando agua en ebullición durante varios minutos, dependiendo del tiempo, del tamaño del envase. Para pH entre 3,7 y 4,5 (productos menos ácidos como el tomate) existen unos microorganismos causantes de alteración de los alimentos como *Bacillus coagulans*, *Clostridium butyricum* y *Lactobacilli leuconostoc*, que son capaces de multiplicarse y, por consiguiente, se necesita un proceso más largo, o bien habrá de acidificar el producto (Holdsworth, 1988).

Si el tratamiento es insuficiente, entonces las bacterias que quedan vivas se multiplicaran, causarán alteración del alimento y, en muchos casos, se producirá gas que provocará el abombamiento del envase. Las bacterias en estado activo no son muy resistentes al calor, pero las formas esporuladas, frecuentemente, son muy termoresistentes y, en consecuencia, se requieren temperaturas hasta de 130 °C en varios tiempos para inactivarlas. Para fijar el proceso, esto es determinar la temperatura y el tiempo de calentamiento requerido por cada producto, es necesario conocer la acidez del producto (Holdsworth, 1988).

Cheftel & Cheftel (1976), refieren que se podrían presentar algunas alteraciones microbiológicas, debidas al barreno de esterilización insuficiente, una carga microbiana inicial elevada, lavado de los alimentos en forma insuficiente, condiciones de almacenamiento, recontaminación posterior a la esterilización (falta de hermeticidad en el envase, cierre incorrecto, golpes que hayan dañado el envase, etc.), defectuosa manipulación de la autoclave, instrumentos de control mal regulados.

Se puede diseñar un sistema para medir la eficacia de los diferentes procesamientos de calentamiento; esto se basa en la determinación del máximo de resistencia al calor de las esporas de *Clostridium botulinum*, expresado esto en términos de tiempos de reducción decimal, D, a una temperaturas de referencia dada 121,1°C, (250 °F), que viene a resultar de unos 0,3 minutos. Por consiguiente, para alcanzar la probabilidad estadística se requerirán 4,2 minutos. La unidad de medida para comparar el potencial relativo de esterilización de los diferentes procesos de calor se conoce como valor F. Este valor se determina, ordinariamente,

introduciendo termopares en los botes en el punto de calentamiento más lento (el punto crítico) el valor se denomina Fo. Siempre que esté por encima del mínimo prescrito, ese tratamiento se considera seguro.

## **2.6.1 Factores que influyen sobre el desarrollo de los microorganismos**

### **2.6.1.1. Composición del medio**

Las levaduras, mohos y la inmensa mayoría de las bacterias que no pueden captar la energía solar, deben tomar la energía necesaria para su vida de la degradación o de la oxidación de ciertos cuerpos en general de naturaleza orgánica.

### **2.6.1.2. La temperatura**

Cada especie bacteriana prolifera entre ciertos límites de temperatura y tiene, para su desarrollo una temperatura óptima. Por eso, la temperatura de almacenamiento va a tener una influencia considerable, sobre la alteración que pueda padecer un alimento. En general, teniendo en cuenta la temperatura a la cual prolifera, en la Tabla 7 se distinguen tres grupos de microorganismos que afectan a los alimentos. En cada grupo se encuentran especies para las cuales el carácter termófilo, mesófilo, o psicrófilo es estricto y para otras especies, es facultativo. Asimismo, los límites de temperatura son más o menos amplios; ciertos *Streptococcus* se desarrollan entre 0 y 30°C. Estos datos son suficientes para confirmar que las posibles alteraciones bacterianas que pudieran presentarse van a variar según la temperatura de almacenamiento. Los termófilos se encuentran sobre todo entre los *Bacillus* y los *Clostridium*, esporulados dotados frecuentemente de una fuerte resistencia al calor, tienen importancia especial para las conservas (Cheftel & Cheftel, 1976).

Tabla 7

*Clasificación de los microorganismos por su tolerancia a la temperatura*

Microorganismos	Temperatura de desarrollo (°C)		
	Mínima	Óptima	Máxima
Psicrófilos	- 15	+ 10	+ 20 aproximada
Mesófilos	+ 5 a + 10	+ 30 a + 40	+ 50 aproximada
Termófilos	+ 40	+ 50 a + 55	+ 65

Fuente: Cheftel & Cheftel (1976).

Si los microorganismos se someten a una temperatura suficientemente elevada, durante un tiempo suficientemente largo, mueren, pero su resistencia al calor varía considerablemente de una especie a otra y aún de una cepa a otra e incluso dentro de la misma cepa según las condiciones y la edad del cultivo (Cheftel & Cheftel, 1976). Este es el factor más importante en la resistencia o ausencia de esporas; estas resisten mucho más que las formas vegetativas y es conveniente resaltar que las especies termoresistentes se encuentran entre las capaces de formar esporas.

Con relación a los mohos, cuyas esporas son morfológica y fisiológicamente muy diferentes de las formas resistentes, de las esporas de bacterias, hay que resaltar que presentan mínima resistencia al calor.

### 2.6.1.3. La concentración de hidrogeniones

La concentración de hidrogeniones (pH), tiene una gran influencia sobre la resistencia al calor, como un máximo, que se sitúa en torno a un pH 7. Por lo tanto, desde un punto de vista bacteriológico, los productos de pH más bajo, son los más fáciles de conservar, en razón a la menor resistencia de los microorganismos al calor, frente a un pH bajo, ya no proliferen muchas especies de bacterias (Cheftel & Cheftel, 1976)

Jeantet et al. (2006), explican que las características fisicoquímicas del medio (pH, Aw, composición) modifican la termoresistencia de los microorganismos. La influencia del pH es determinante sobre la capacidad de desarrollo de las bacterias sobrevivientes y, llegado el caso, sobre la producción de toxina. En general, se considera que la germinación y el crecimiento de *Clostridium botulinum*, es óptimo a pH cerca de la neutralidad; son imposibles a un pH inferior a 4,5. Los tratamientos que se pueden aplicar en relación a este parámetro, se consideran de dos categorías: En los productos cuyo pH es inferior a 4,5, los tratamientos a temperaturas iguales o inferiores a 100 °C permiten estabilizar estos productos, con respecto, tanto a las formas vegetativas, como esporuladas. Esta regla sólo se aplica mientras se mantengan las condiciones de pH en todo el producto y durante el periodo completo de conservación. Mientras que en los productos con pH superior a 4,5, la destrucción de esporas se produce a temperaturas superiores a 100 °C, generalmente comprendidas entre 115 y 150 °C.

Elías et al. (2014), mencionan que los microorganismos que se toman como base para el tratamiento de los alimentos ácidos, en función del pH, son: para el pH 4,0 – 4,5 el *Bacillus coagulans*, *B. polymixa*, *B. macerans* y de anaerobios butíricos como *Clostridium butyricum*. *C.*

*pasterianum*; para  $\text{pH} < 3,7$  el *Bissocholamys fulva* y *B. nívea* y para  $\text{pH} = 7$  casos como en el jamón, se toma como base el *Streptococos-D*, porque los nitritos que están presentes en su elaboración controlan el *Clostridium. botulinum*.

Elías et al. (2014), refieren que la pasteurización es un tratamiento térmico poco severo con el uso de temperaturas menores a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  y tiene objetivos, dependiendo del alimento al cual se aplique, como los casos siguientes:

- En alimentos poco ácidos ( $\text{pH} > 4,6$ ), el objetivo es bajar la carga microbiana y principalmente a destrucción de patógenos; el tiempo de vida es de corta duración.
- En alimentos ácidos ( $\text{pH} < 4,6$ ), el objetivo está enfocado a mantener las cualidades organolépticas. Los alimentos ácidos están protegidos por la acidez que presentan, por lo que no son necesarias temperaturas mayores, ya que no es posible la presencia de bacterias esporuladas.

La esterilización, en cambio, es un tratamiento térmico severo aplicado, generalmente, a productos poco ácidos ( $\text{pH} > 4,6$ ) en los que se pueden desarrollar bacterias esporuladas y cuyo fin es eliminar los riesgos para la salud pública, para que el producto tenga un largo tiempo de vida en el anaquel, a temperatura ambiente. Para llegar a temperaturas mayores a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  se necesita sobrepresión tales como calderos, autoclaves o ductos de vapor (Elías et al., 2014).

En la cocción son evaluados los cambios que se producen en la textura, color, digestibilidad, calidad nutricional, entre otros cambios. Este tratamiento térmico producirá también reducción de la carga microbiana del alimento y de su actividad enzimática, aunque este no sea el objetivo



principal buscado en el tratamiento. De acuerdo al concepto actualizado de la esterilización por calor, se busca la estabilidad, no la esterilización absoluta. Debido a esto, surge el concepto de esterilización comercial, en el cual sobreviven algunos microorganismos, se destruye gérmenes patógenos que pueden desarrollarse en condiciones de almacenamiento y transporte (Elías et al., 2014).

## **2.7. Evaluación organoléptica**

Carpenter et al. (2002), mencionan la definición de “calidad” como un conjunto de características sensoriales de un producto o servicio que le confieren su capacidad para satisfacer las necesidades establecidas o implicadas. Las especificaciones sensoriales se obtienen por acuerdo, utilizando rangos de calidad del producto para mostrar y determinar los límites de aceptabilidad de las características sensoriales.

Ureña et al. (1999), mencionan que la evaluación sensorial de los alimentos se constituye en la actualidad como una de las más importantes herramientas para el logro del mejor desenvolvimiento de las actividades alimentarias. Como disciplina científica es usada 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.

Ureña et al. (1999), clasifican los análisis sensoriales orientados al producto y al consumidor. Con los análisis orientados al producto se obtendrán datos que permitirán luego, con el análisis estadístico adecuado, hacer inferencias sobre las características de la población de alimentos que se analiza. Estos son discriminativos para determinar diferencias, descriptivos para categorizar

muestras y determinar perfiles sensoriales. Los orientados al consumidor permitirán estimar la capacidad analítica sensorial de un juez o en su caso, hacer inferencias sobre una población de posibles usuarios del producto. Estos son discriminativos para determinar el grado de percepción y afectivos.

Los análisis afectivos son empleados en la evaluación sensorial de alimentos para conocer la aceptabilidad, así como también las preferencias por parte del consumidor.

Carpenter et al. (2002), plantean que la aceptabilidad del producto tiene que ver con el juicio del consumidor, por lo que no se requiere de jueces entrenados. Es importante para los fabricantes comprender las necesidades de los consumidores y medirlas a través de análisis sensoriales que se relacionen con el aprecio o rechazo del consumidor hacia el producto.

Ureña et al. (1999), refieren que, para los análisis afectivos, el juez más idóneo es el consumidor habitual o potencial. Basta, entonces, con encuestar a un grupo de individuos de una misma zona, con costumbres de consumo generales comunes, aparentemente en estado psicossomático satisfactorio y asequibles. Por lo general, son personas tomadas al azar, ya sea en la calle, en una escuela o en una tienda.

Ureña et al. (1999), citando a otros autores, mencionan que el jurado puede estar conformado por 80, 40 y 30 personas. Sin embargo, refieren que el número de 30 jueces parece ser el mínimo necesario para que la evaluación de sus apreciaciones tenga validez estadística. Por otro lado, mencionan que la apreciación hedónica de los jueces, es usada para medir el nivel de placer al que son capaces de llegar y manifestar, al consumir un determinado alimento; lo cual

se determina a partir de la apreciación de cómo agrada o desagrada este alimento, a una muestra poblacional de potenciales consumidores.

Carpenter et al. (2002), refieren que, en la clasificación hedónica, se pide al juez que informe el grado de satisfacción que le merece el producto, que oscila entre “me gusta muchísimo” a “me disgusta muchísimo”. Es común a la hora de analizar los datos, asignar valores de 1 a 9 ó de 1 a 5, a las categorías de la escala, asumiendo, entonces, que los intervalos son iguales.

## **2.8. Caducidad de los alimentos.**

Man (2004), define la caducidad como el periodo de tiempo que transcurre, después del envasado o elaboración, cumpliendo con determinadas condiciones de almacenamiento, en el que el alimento sigue siendo seguro y apropiado para su consumo.

En otras palabras, durante ese tiempo debe conservar sus características sensoriales, químicas, físicas, funcionales o microbiológicas y, en caso necesario, cumplir con la información nutricional, indicada en la etiqueta, cuando se almacena correctamente (Man, 2004).

Carpenter et al. (2002), explican los términos de vida útil o durabilidad mínima, en el sentido de señalar “hasta incluida la fecha en la que se espera de forma razonable, que el alimento retenga sus propiedades específicas si se encuentra adecuadamente almacenado”.

Todo va a depender del modo en que los alimentos se estropean, y la duración de su vida útil, van a estar influenciados por las propiedades del producto final y del medio ambiente en el que se elaboraron, almacenaron, distribuyeron y utilizaron. Pueden dividirse en:

- Factores intrínsecos: Materias primas, composición y formulación del producto estructura del producto, presentación del producto, actividad de agua  $A_w$ , valor del pH, acidez total y disponibilidad del oxígeno.
- Factores extrínsecos: Elaboración, higiene, sistemas y materiales de envasado, almacenamiento, distribución y exposición en punto de venta, en particular, con relación a la exposición de luz, variaciones de temperatura y humedad.
- Otros factores: Manipulación y utilización por el consumidor, consideraciones comerciales.

Man (2004), menciona que, en una determinación rápida de la caducidad, se utilizan, los efectos que causan el aumento de la temperatura en muchas reacciones químicas, junto con los cambios negativos que tienen lugar en el almacenamiento.

Por lo tanto, se asume que, almacenando el producto a una temperatura más alta, cualquier efecto adverso que se tenga, podrá ser observado en un periodo de tiempo menor, pudiendo estimarse la caducidad en condiciones normales de almacenamiento, por extrapolación de datos obtenidos en la determinación rápida. Menciono, algunos ejemplos de pruebas rápidas:

- Incubación de alimentos enlatados durante 4 a 5 días a  $5^{\circ}\text{C}$ , para la detección de bacterias termófilas.
- Incubación de alimentos enlatados de baja o media acidez durante un mínimo de una semana a  $37^{\circ}\text{C}$  para calcular la transferencia de estaño.
- Almacenamiento de pasteles que no necesitan refrigeración a  $27^{\circ}\text{C}$  y 75 % de humedad relativa para estimar la caducidad sin crecimiento de mohos.

Las pruebas rápidas son esencialmente útiles cuando los modelos de cambio son prácticamente idénticos durante el almacenamiento normal y acelerado, de modo que la caducidad, en condiciones normales de almacenamiento, puede ser predicha con alto grado de certeza (Man, 2004).

## **2.9. Etapas del procesamiento**

Las operaciones previas al tratamiento, u operaciones de preparación de la materia prima, son las operaciones necesarias para que la materia prima esté en condiciones de ser envasada, tratada térmicamente y comercializada (Caps, 2014).

A continuación, las etapas del procesamiento:

**Recepción:** Es la primera operación en la cual se debe considerar el almacenamiento de acuerdo a las características de la materia prima, puede ser a granel, en cajones, etc.

**Limpieza:** Las materias primas suelen llegar a la planta, acompañadas de tierra y piedras. La limpieza puede realizarse por vía seca o por vía húmeda de acuerdo a las características de la materia prima y de la suciedad que le acompaña. La limpieza por vía seca es adecuada para la eliminación de hojas, polvo y piedras y puede llevarse a cabo antes que la limpieza por vía húmeda para reducir la carga de esta última.

**Selección:** La producción agrícola no es de calidad uniforme, es decir, se cosechan piezas de características diferentes: color, tamaño, apariencia, etc. Por lo que será necesario hacer una selección que asegure la uniformidad del lote. Puede realizarse en forma manual, haciendo

circular el producto de tan manera que los operarios retiren las piezas que no cumplan con los patrones de calidad.

Los productos no aptos para su procesado se seleccionan aparte, los aptos, con características aproximadamente iguales, son llevados a las instalaciones de procesado para satisfacer las exigencias de calidad de los productos finales. Las características de clasificación son: por dimensiones geométricas (diámetro, longitud), resistencia al flujo, densidad, color (superficial, de la pulpa) y estado (daños, grado de maduración, putrefacciones) (Tscheuschner, 2001),

**Pelado:** Algunas hortalizas, raíces y tubérculos presentan una piel que debe ser eliminada antes de su consumo. El pelado puede realizarse en forma manual con el uso de cuchillos, se han desarrollados diversos sistemas mecánicos que realizan el pelado por abrasión o uso de cuchillas que no deterioran la materia prima. Pueden ser de forma continua o por batch.

**Troceado o reducción de tamaño:** En el acondicionamiento de los vegetales puede exigir distintos tipos de cortes, de acuerdo con la materia prima de que se trate y dependiendo del producto que se pretenda elaborar.

**Escaldado o Blanqueado:** Consiste en mantener la materia prima unos minutos a temperaturas próximas a 100 °C, cuyo objetivo será de acuerdo con el proceso completo de conservación que se emplee. El efecto del escaldado sobre la materia prima dependerá de la temperatura de trabajo, es de esperar que se produzca una pérdida significativa de vitaminas sensibles a estas

condiciones como el ácido ascórbico, asimismo tendrá efecto sobre el color de los vegetales por la degradación del  $\beta$  caroteno, contenido microbiano y enzimático.

Tscheuschne (2001), menciona que esta breve precocción comprende las siguientes fases:

- Inactivación de enzimas propias, para evitar en la mayor medida posible, alteraciones no deseadas de color, del contenido de vitaminas y del sabor. Las enzimas de oxidación catalizan procesos catabólicos, especialmente tras la disgregación mecánica de los tejidos celulares y al acceder el oxígeno a estas.
- Contracción y reducción del volumen del producto para un mejor aprovechamiento del volumen del recipiente de la conserva.
- Extracción del aire y  $\text{CO}_2$  (respiración) de los espacios intercelulares para impedir abombamientos y para eliminar sustancias volátiles responsables de aromas y sabores.
- Reblandecimiento de los tejidos vegetales en virtud de la precocción.
- Limpieza fundamental es decir, reducción del número de gérmenes de un 1/50 a 1/100 del valor inicial.

Asimismo, Elías et al. (2014), mencionan que el objetivo del escaldado es el de fijar el color, inactivar la enzima de deterioro, eliminar el oxígeno ocluido e incrementar la flexibilidad de los productos.

**Concentración:** Es una operación de eliminación de agua con la que pueden buscarse distintos objetivos de acuerdo al producto que se aplique, reducir su peso, abaratar su transporte, ajustar el contenido de sólidos solubles que proporcionará la textura deseada, para incrementar su viscosidad.

Loncín y Carballo (1965), mencionan que la evaporación es la “vaporización” de un líquido, con el fin de obtener un cuerpo disuelto no volátil, en forma más concentrada o pura. En la práctica, ocurre que varios cuerpos están disueltos en un mismo disolvente y que este, a su vez, está formado por una mezcla de cuerpos volátiles.

**Llenado/ensado y cierre:** Los envases para las conservas de hortalizas suelen ser de hojalata o de vidrio. Por razones de higiene es necesario lavar los envases antes de su llenado, no importa que lleguen limpios, los envases suministrados, aún cuando conste su esterilización térmica. Para uso de envases retornables, debe realizarse una limpieza exhaustiva con lavadoras de vidrio sin cepillos, conforme al principio de tratamiento combinado de reblandecimiento y pulverización, análogo al seguido en las plantas embotelladoras de refrescos. El pequeño coeficiente de dilatación térmica del vidrio respecto del acero, exige que se deje un espacio vacío del 8 %; las latas pueden llenarse hasta el borde (Tscheuschner, 2001).

Asimismo, Tscheuschner (2001), menciona que las necesidades de vacío en los envases con el producto listo responden a:

- Elevación de la fuerza de apriete del cierre sobre el recipiente;
- Reducción de la presión interior del recipiente durante la esterilización;
- Disminución del contenido de oxígeno en el espacio vacío superior y en el producto;
- Indicador para estimar la aptitud de consumo del contenido de la conserva.

El vacío previo se logra mediante un llenado en caliente, llenado en frío y vaporización en el espacio superior del envase, o mediante una evacuación mecánica durante el cierre de envases.

Tras la operación, no es posible ningún intercambio gaseoso. El cierre se lleva a cabo con



máquinas de cierre automáticas o de cierre al vacío; las más comunes son: cierre engatillado para latas, cierre a presión o roscado para envases de vidrio.

Elías et al. (2014), mencionan que existen dos tipos de calor: calor seco, el medio de transferencia de calor es el aire y la causa de la destrucción térmica es la oxidación; mientras que, cuando se usa calor húmedo, el medio de transferencia de calor es el agua (vapor de agua) y la causa de la destrucción térmica es la desnaturalización. Con este tipo de calor se desnaturalizan las proteínas y las enzimas del microorganismo; al no haber hidrólisis enzimática, no hay simplificación de los nutrientes presentes en los alimentos y estos no pueden ser utilizados como sustratos. Por lo tanto, el microorganismo, no tiene energía para realizar sus funciones vitales.

Asimismo, La Academia del Área de Plantas Piloto de Alimentos (2011), indica que en la transmisión de calor, la penetración de calor en un alimento envasado puede realizarse por conducción o por convección por el movimiento de líquidos o gases; o bien por una combinación de ambas, que es como ocurre con frecuencia. Existen factores que afectan la velocidad de penetración de calor como: Tamaño y forma del envase, relación sólido/líquido, consistencia del alimento, volumen del llenado del envase, material del envase.

## **HIPÓTESIS**

Si los parámetros de procesamiento tecnológico y las condiciones de elaboración del puré de yacón son adecuados, entonces se obtendrá el puré del mismo, conservando sus características fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas, durante su tiempo de vida útil.

## **CAPITULO III      MÉTODO**

### **3.1.    Tipo**

El tipo de método en esta investigación es empírico, centrado en la aplicación tecnológica relacionada con la solución de problemas que se presentan durante el procesamiento del puré, a partir de la materia prima del yacón. Se aplican los conceptos fundamentales de la ciencia de alimentos y del procesamiento de conservación de una materia prima, que presenta algunas características que dificultan el proceso, aportando parámetros de control del proceso, para darle al puré un mayor tiempo de vida útil.

### **3.2.    Diseño de investigación**

De acuerdo al objeto de estudio, es una investigación multivariada, formal, de análisis de causa - efecto (experimental), realizada en el laboratorio, diacrónica, porque se verificaron los cambios que se generan en el producto, durante 6 meses. Tiene un enfoque mixto, que incluye una parte cuantitativa y otra, cualitativa.

### **3.3.    Estrategia de prueba de hipótesis**

La estrategia más adecuada para probar la hipótesis tiene que ver con el análisis estadístico de este proceso tecnológico, es decir, validar los parámetros que se requieren para obtener el producto final del puré de yacón. Se ha tomado como referencia la hipótesis antes mencionada.

### 3.4. Variables

Las variables e indicadores importantes de este estudio, basados en el marco teórico que hemos abordado, son los siguientes:

Variable independiente:

Parámetros de procesamiento para la elaboración del puré de yacón:

- a) Concentración del puré: (10, 15 y 20) °Bx
- b) Temperatura de tratamiento térmico: (80, 90 y 100) °C
- c) Tiempo de tratamiento térmico: (20 y 30) min

Indicadores:

- a) Análisis de azúcares reductores
- b) Análisis organoléptico
- c) Recuento de microorganismos:
  - Recuento en placa de aerobios mesófilos (UFC/g)
  - Numeración de *Clostridium perfringens* (UFC/g)
  - Recuento de enterobacterias (UFC/g)
  - Enumeración de *Stafilococcus aureus* coagulasa positiva (NMP/g)
  - Mohos (UFC/g)
  - Levaduras (UFC/g)
  - Detección de *Salmonella* (en 25 g)
- d) Análisis estadístico

Variable dependiente:

Puré de yacón, con características fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas, durante su tiempo de vida útil, adecuadas.

Indicadores:

a) Análisis bromatológico de la materia prima y puré de yacón

- % humedad
- % cenizas
- % grasas
- % fibra
- % carbohidratos
- % proteínas
- Acidez titulable
- pH
- Bx
- Azúcares totales

b) Análisis fisicoquímicos en almacenamiento

- Azúcares reductores
- Azúcares totales
- Acidez Titulable
- pH
- Fructooligosacáridos

### **3.5. Técnicas de la investigación**

La investigación se desarrolló siguiendo el flujo de procesamiento para la elaboración de puré y el esquema experimental que a continuación se presenta.

#### **3.5.1. Desarrollo del procesamiento del puré de yacón**

##### **3.5.1.1. Elaboración del puré de yacón**

Se trabajó con el flujo de procesamiento tentativo, que se presentó en el plan de tesis, a medida que se llevó a cabo el proceso; se vio por conveniente ir modificando el orden de algunas de las operaciones unitarias, por tener mejor eficiencia. El proceso que, a continuación, se presenta en la Figura 4, es el que quedó establecido en forma definitiva para la elaboración de puré de yacón (*Smallanthus sonchifolios*).

Asimismo, a continuación, se presenta una descripción de cada operación unitaria, de acuerdo a las acciones específicas que se desarrollaron:

- a)** Recepción de la materia prima: Se adquirió el producto de yacón, proveniente de provincia de Chachapoyas capital del departamento de Amazonas, en el mercado de Santa Anita, Lima.
- b)** Selección, lavado y pelado: Se extrajo las materias extrañas, hojas, piedras, etc.; se procedió a un lavado manual con agua y cepillo, a fin de quitar la tierra y las impurezas, y limpiar la superficie del mismo, así como, bajar la carga microbiana. Se realizó un pelado manual, con cuchillos de acero inoxidable, se separó la muestra para los análisis de la materia prima.

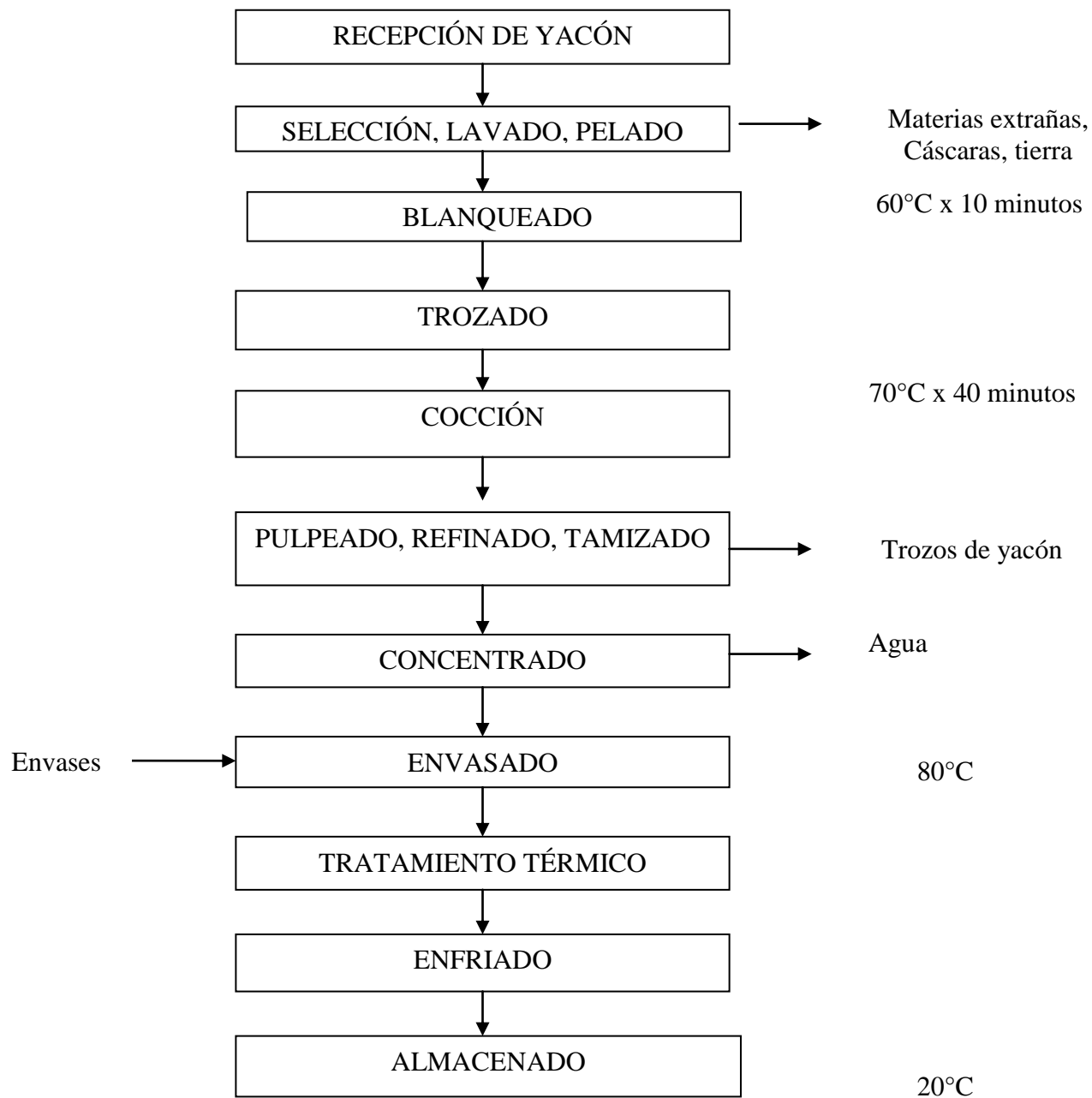


Figura 4. Flujo De Procesamiento tecnológico para la obtención del puré de yacón.  
Fuente: Elaboración propia.

- d) **Blanqueado:** Se realizó el pre-tratamiento (blanqueado) en una marmita de acero inoxidable, a 60°C de temperatura, por 10 minutos, para controlar el oscurecimiento enzimático; se corroboró visualmente el oscurecimiento, con el método de la peroxidasa.
- e) **Trozado:** Se cortó el yacón en forma manual con cuchillos de acero inoxidable, en cubos, para dar mayor área de contacto para la cocción.
- f) **Cocción:** Se colocó el yacón trozado, en marmitas con una cantidad de agua para cubrir el producto; se procedió a la cocción a 70°C por 40 minutos.
- g) **Pulpeado:** Se realizó el pulpeado del yacón, con una pulpeadora de acero inoxidable, con el objeto de dar una textura de pasta adecuada al tipo de producto.
- h) **Tamizado:** Se utilizó un tamiz, malla N° 16, a fin de separar los trozos de textura diferente a la del puré.
- i) **Concentrado:** Se concentró el producto en una marmita de acero inoxidable, hasta que tenga una estabilidad y consistencia de puré, controlando los sólidos solubles a 10, 15 y 20 °Bx.
- j) **Envasado:** En forma manual se envasó en caliente a 80 °C, en frascos de vidrio de 400 g se tapó y volteó para generar el vacío apropiado.
- k) **Tratamiento Térmico:** Se mantuvo la presión constante en la autoclave, con temperaturas de 80, 90 y 100 °C, por un tiempo de 20 y 30 minutos para cada temperatura de procesamiento. Se evaluó el tiempo y temperatura, de acuerdo a la cantidad de azúcares reductores producidos por la hidrólisis de los fructooligosacáridos, características microbiológicas y organolépticas del producto final.

- l) **Enfriado:** Se enfrió para detener el tratamiento térmico, hasta 40 °C y, posteriormente, hasta la temperatura ambiente.
- m) **Almacenado:** Después del enfriado, se almacenó el puré de yacón, por espacio de seis meses, a temperatura ambiente.

### 3.5.2. Análisis bromatológicos de la materia prima y del puré de yacón

- a) **Humedad.** Se evaluó la humedad de la muestra por medio de un secado en estufa a 50 °C, hasta obtener un peso constante (AOAC, 1990).
- b) **Ceniza.** Se la determinó, sometiendo la muestra a una incineración a 550°C para quemar todo el material orgánico (AOAC, 1990).
- c) **Proteína.** Se la determinó a través del método Kjeldahl, considerando el factor 6,25 de conversión del nitrógeno a proteína (AOAC, 1990).
- d) **Extracto etéreo.** Se empleó el método de Soxhlet (AOAC, 1990).
- e) **Fibra cruda.** Se determinó la fibra, eliminando los carbohidratos solubles, por hidrólisis mediante la acción de los ácidos y álcalis débiles en caliente y las cenizas, Por diferencia de peso, después de la ignición de la fibra obtenida (AOAC, 1990).
- f) **Extracto libre de nitrógeno.** Se obtuvo por diferencia, después de los análisis de humedad, ceniza, proteína, extracto etéreo (AOAC, 1990).
- g) **Prueba de la peroxidasa.** Se realizó la prueba, para el control de la actividad de la peroxidasa como índice del escaldado adecuado (Hart y Fisher, 1971).



- h) **Sólidos totales.** Se determinó mediante el método de la norma técnica peruana (INACAL, 1977).
- i) **Azúcares totales.** Se determinó mediante el método de la norma técnica peruana (INACAL, 2014).
- j) **Azúcares reductores.** Se determinó mediante el método de la norma técnica peruana (INACAL, 2014).
- k) **pH.** Se determinó por medio del potenciómetro (AOAC, 1990).
- l) **Acidez titulable.** Se determinó de acuerdo al método de la norma técnica peruana (INACAL, 1977).

### **3.5.3 Control microbiológico, al término del procesamiento y durante el almacenamiento (ICMSF, 2000).**

- a) Recuento en placa de aerobios mesófilos.
- b) Numeración de *Clostridium perfringens*.
- c) Recuento de enterobacterias.
- d) Enumeración de *Stafilococcus aureus* coagulasa positiva.
- e) Recuento de mohos.
- f) Recuento de levaduras.
- g) Detección de *Salmonella sp.*

### **3.5.4 Método para el análisis sensorial**

El análisis sensorial se ha llevado a cabo, en dos momentos: Primero, para la determinación de la acidez de mayor preferencia, en el puré de yacón. Para esta prueba

se utilizó la degustación con el uso de una ficha que contiene una escala categórica no estructurada. Se empleó para dicha prueba un equipo de 10 catadores, 5 hombres y 5 mujeres, entre 20 y 40 años, semientrenados en evaluación sensorial. Fueron evaluados los tratamientos de acuerdo a la intensidad de la presencia de acidez, de mínima a máxima acidez, presentados en el Anexo 4.1. Los resultados de la prueba fueron evaluados estadísticamente, mediante un diseño de bloque completo al azar, análisis de varianza y prueba de Tukey (Anexo 4.2).

Segundo, para la elección del tratamiento más apropiado, se sometieron las muestras, a una evaluación sensorial de preferencias, con el fin de priorizar uno de los tratamientos. Se trabajó con la prueba de preferencia pareada, con la tabla de significación para pruebas de dos muestras, de acuerdo a Roessler y Col, citado por Anzaldúa (1994), en la columna de prueba de dos colas con un nivel de significancia del 5 %.

El análisis sensorial se efectuó de la siguiente manera: a) Se escogió dos números para codificar las muestras de la tabla de números aleatorios. b) Se presentó las muestras en bandejas de aproximadamente 50 g. Se trabajó con 50 jueces, de los cuales 25 probaron primero la muestra 3828 (tratamiento I) y, luego, la 6152 (tratamiento II) y los otros 25 jueces en orden inverso. El análisis estadístico se realizó mediante las tablas binomiales de dos colas, tabulándose las razones de preferencias.

### **3.6 Diseño experimental**

El esquema experimental de la elaboración del puré de yacón se presenta en la Figura 5, donde se observa por un lado las diferentes operaciones unitarias del proceso, indicando los parámetros a los que fueron sometidos. Por otro lado, los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales realizados en cada operación unitaria y en el almacenamiento del producto.

Materia prima selección lavado pelado	Blanqueado trozado	Cocción	Pulpeado Refinado	Estandarización pH	Concentrado °Bx	Envasado	Tratamiento Térmico	Caracterización	Almacenado
Yacón	60°C x10min	90°C x 30 min →	→	3,2 3,8 4,0 →	11°Bx 15°Bx 20°Bx →	→	80°Cx(20 y 30 min) 90°C x(20 y30 min) 100°Cx(20 y 30 min) →	→	→
ANÁLISIS Composición Proximal Sólidos solubles Acidez pH Azúcares reductores Azúcares totales	Evaluación de la peroxidasa control visual	Control del tiempo y temperatura	Tamizado en malla N°16 inspección visual del tamaño de partícula	Evaluación sensorial etapa I sabor, con análisis estadístico	Control °Bx	En frascos de vidrio 400 g de capacidad Control de temperatura	Análisis estadístico del mejor tratamiento Análisis microbiológico Análisis sensorial etapa 2	Composición Proximal Sólidos solubles Acidez pH Azúcares reductores Azúcares totales Fructooligo- sacáridos	Azúcares reductores Sólidos solubles Azúcares totales Acidez Fructooligo- sacáridos Evaluación sensorial grado de aceptación

Figura 5. Esquema experimental del puré de Yacón (*Smallanthus sonchifolius*).  
Fuente: Elaboración propia.

## CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis bromatológico del yacón.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos del yacón, en estado fresco, con una textura firme, apropiada para soportar el tratamiento térmico sin ablandarse demasiado (Cheftel & Cheftel, 1976), se muestran en la Tabla 8.

El contenido de humedad que presentó el yacón, objeto de este estudio, fue de 87,14 %; este valor se encuentra dentro del rango obtenido, por diferentes autores: Juárez (2015), encontró que el contenido de humedad es de 82 % en muestras blanqueadas por ebullición y 83.9 las blanqueadas por vapor. Por otro lado, Chaquilla (1997), reportó un valor de 87,86 % .Collazos (1993), reporta 86,6 % de humedad. Chirinos compara tres cosechas y encuentra en promedio un 82 % de humedad. León (1964), reportó una humedad 92,7 % y por último, Hermann (1997), mencionó que la humedad esta dentro del rango de 86 - 91 %. Como se puede apreciar el valor de humedad obtenido en esta investigación se aproxima al señalado por los otros autores ya mencionados.

Respecto a los contenidos en proteína (0,37 %) y fibra (0,69 %) del yacón, encontrados en este estudio, se ubican dentro del rango obtenido por algunos de los tubérculos andinos, que da a conocer en la tabla de composición de alimentos (Collazos, 1993). En relación al contenido de carbohidratos, fue de 11,49 % expresado en base húmeda. Este valor es cercano al encontrado por Chaquilla (1997), que reportó el valor de 10,51 %. Mientras que el valor de carbohidratos expresado en base seca fue de 89,37 % ligeramente por del rango de 90 a 94 %, reportado por Chirinos (1997).

Tabla 8  
*Composición proximal del Yacón fresco expresado en porcentaje por 100 g de muestra*

PARÁMETRO	CONTENIDO	
	% base húmeda	% base seca
Humedad	87,14	-----
Proteínas	0,38	2,92
Grasas	0,11	0,86
Cenizas	0,36	2,76
Carbohidratos	11,49	89,37
Sólidos totales	12,86	100,00
Fibra	0,69	5,77
Azúcares totales	10,45	81,25
Azúcares reductores	3,90	30,32
Fructosa	3,48	27,02
Glucosa	0,46	3,57
Sólidos Solubles °Bx	10,20	-----
pH	6,30	----
Acidez (mg de ác. Cítrico/100 g muestra)	0,21	----
Índice de Madurez (°Bx/ % Ac. Cítrico)	18,99	----

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

\* Promedio de tres repeticiones.

El contenido de los azúcares reductores, en este estudio reportó una cantidad de 3,89 g de glucosa /100 g de la muestra. Este valor corresponde al estado de madurez y la actividad enzimática del tubérculo fresco, es producto del desdoblamiento de los carbohidratos de cadena larga. La raíz presentó un pH de 6,3, por lo que se le considera un alimento básico, lo que significa una desventaja para el tratamiento térmico, debido a la necesidad de tener que usar temperaturas mayores a 100°C, para garantizar un buen tratamiento (Elías, 2014).

#### **4.2 Determinación del grado de acidez óptima**

Se procedió al estudio de la acidez del puré, a fin de estandarizar el producto, para lo cual se le agregó ácido cítrico y bajar el pH a valores de 4,0, 3,8 y 3,2, que garantizan que el tratamiento térmico sea óptimo (Elías, 2014).

Se realizó una prueba sensorial cuantitativa de consumo con escalas de intervalo; la cual nos permitió obtener el grado de preferencia entre las muestras. Se trabajó con un panel de 10 personas, quienes evaluaron el producto, anotando sus repuestas en una ficha de evaluación que se presenta en el Anexo 4.1.

Las escalas de intervalo permiten ordenar muestras de acuerdo a la magnitud de una sola característica del producto, o de acuerdo a la aceptabilidad o preferencia. Los resultados obtenidos que se presentan en la Tabla 9, se sometieron a un análisis estadístico de varianza, que se presenta en la Tabla 10. Podemos concluir que existen diferencias significativas entre los tratamientos, o que, al menos, una muestra es diferente a las demás. Asimismo, se apreció que no hay diferencias significativas entre la opinión de los jueces, respecto a esta determinación. Para determinar la muestra de mayor aceptación, se realizó la prueba de Tukey (Anexo 4.2), la cual nos permitió determinar la muestra de mayor aceptabilidad, cuyo valor de pH fue de 3,8.

Tabla 9

*La evaluación sensorial, percepción de la acidez en los tratamientos*

JUECES	TRATAMIENTOS			TOTAL JUECES
	<b>498</b>	<b>525</b>	<b>185</b>	$\Sigma Y_j$
1	3,4	8,6	2,8	14,80
2	3,0	7,9	2,5	13,40
3	3,9	8,7	2,3	14,90
4	4,0	8,0	2,7	14,70
5	4,1	8,3	2,3	14,70
6	3,2	8,5	2,8	14,50
7	3,7	8,8	2,4	14,90
8	3,5	9,0	2,9	15,40
9	2,8	8,4	3,0	14,20
10	3,0	8,6	2,8	14,40
TOTAL				
TRATAMIENTOS	34,60	84,80	26,50	145,9
$\Sigma Y_i$				

Fuente: Elaboración propia.



Tabla10

*Análisis de varianza, evaluación sensorial de la percepción de acidez en los tratamientos*

Fuentes de variación	SC	GL	CM	F <sub>C</sub>	F <sub>TAB</sub>
Tratamientos	199,4847	2	99,7422	684,76	3,55
Entre Jueces	0,8430	9	0,09366	0,643	2,51
Error Exp.	2,6219	18	0,14566		
Total	202,9496	29			

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.3 Determinación de los parámetros de procesamiento tecnológico del puré de yacón**

En las Tablas 11 y 12 se muestran los resultados de la determinación del contenido de los azúcares reductores, a los 10 días de efectuado el procesamiento del envasado; este tiempo es considerado como adecuado, para establecer el equilibrio en la conserva (Bergeret, 1963).

Los tratamientos térmicos fueron evaluados mediante la cuantificación de los azúcares reductores, retenidos después del proceso. Asimismo, se evaluó la influencia de los factores A (concentración del puré °Bx), B (temperatura del tratamiento térmico °C) y C (tiempo del tratamiento térmico mínimo). Se trabajó en un arreglo factorial 3A x 3B x 2C, conducido desde un diseño, completamente, al azar, para la determinación del mejor tratamiento. Para lo cual, se estableció el análisis de varianza que se presenta en la Tabla 13. Podemos precisar, que los tres factores y sus interacciones presentan diferencias altamente significativas, por lo que se procedió al análisis de la varianza de los efectos simples, presentados en la Tabla 14.

Tabla 11

*Contenido de azúcares reductores en el puré de yacón, después de 10 días de su producción*

A Concentración de sólidos solubles (°bx)	B Temperatura tratamiento térmicos (°c)	C Tiempo de tratamiento térmico (min)	Azúcares reductores (g de glucosa/100g de muestra)	
			1	2
10	80	20	6,45	6,48
		30	6,62	6,61
	90	20	7,32	7,35
		30	10,98	10,95
	100	20	8,15	8,25
		30	11,22	11,20
15	80	20	6,02	6,14
		30	6,99	7,05
	90	20	6,79	6,85
		30	10,30	10,50
	100	20	7,65	7,62
		30	10,45	10,20
20	80	20	7,12	7,20
		30	8,78	8,65
	90	20	8,26	8,28
		30	12,47	12,45
	100	20	9,05	9,20
		30	12,54	12,60

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12

*Contenido de azúcares reductores en el puré de yacón después del tratamiento térmico (base seca)*

A Concentración de sólidos solubles (°bx)	B Temperatura tratamiento térmico (°c)	C Tiempo de tratamiento térmico (min)	Azúcares reductores (g de glucosa/100g de muestra)	
			1	2
10	80	20	50,16	50,39
		30	51,47	51,40
	90	20	56,92	57,15
		30	85,38	81,65
	100	20	63,37	64,15
		30	87,25	87,09
15	80	20	34,50	35,17
		30	40,03	40,38
	90	20	38,39	39,23
		30	58,99	60,14
	100	20	43,81	43,64
		30	59,85	58,42
20	80	20	34,23	34,61
		30	42,21	41,59
	90	20	39,71	39,81
		30	59,95	59,86
	100	20	43,51	44,23
		30	60,29	60,58

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13

*Análisis de varianza contenido de azúcares reductores*

Fuentes de variación	SC	GL	CM	F <sub>C</sub>	P>F <sub>TAB</sub>
Modelo	149,81236	17	8,8125	2489,09	0,0000
A	17,8406	2	8,9203	2519,54	0,0000
B	55,8469	2	27,9234	7886,99	0,0000
C	60,2589	1	60,2589	17020,18	0,0000
A B	0,5429	4	0,1357	38,33	0,0000
A C	1,0634	2	0,5317	150,17	0,0000
B C	13,8795	2	6,9397	1960,13	0,0000
A B C	0,3801	4	0,9504	26,84	0,0000
Error	0,063728	18	0,0035		
Total	149,87601	35	4,2822		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14

*Análisis de varianza de efectos simples simples contenido de azúcares reductores*

Fuentes de variación	GL	SC	CM	F	Ftabla	Significancia
AB(80)C(20)	2	1,1945	0,597	4,2	3,55	*
AB(80)C(30)	2	4,9647	2,482	701,1	3,55	*
AB(90)C(20)	2	2,1613	1,081	305,2	3,55	*
AB(90)C(30)	2	4,5319	2,266	640,0	3,55	*
AB(100)C(20)	2	2,2633	1,132	319,6	3,55	*
AB(100)C(30)	2	4,7112	2,356	665,3	3,55	*
BA(10)C(20)	2	3,0102	1,505	425,1	3,55	*
BA(10)C(30)	2	26,7310	13,366	3775,1	3,55	*
BA(15)C(20)	2	2,4138	1,207	340,9	3,55	*
BA(15)C(30)	2	15,3460	7,673	2167,2	3,55	*
BA(20)C(20)	2	3,8829	1,941	548,4	3,55	*
BA(20)C(30)	2	19,2654	9,633	2720,8	3,55	*
CA(10)B(80)	1	0,0225	0,023	6,4	4,41	*
CA(10)B(90)	1	13,1769	13,177	3721,8	4,41	*
CA(10)B(100)	1	9,0601	9,060	2559,0	4,41	*
CA(15)B(80)	1	0,879844	0,880	248,5	4,41	*
CA(15)B(90)	1	12,8164	12,816	3620,0	4,41	*
CA(15)B(100)	1	7,7841	7,784	2198,6	4,41	*
CA(20)B(80)	1	2,418025	2,418	683,0	4,41	*
CA(20)B(90)	1	17,5561	17,556	4958,7	4,41	*
CA(20)B(100)	1	11,868025	11,868	3352,1	4,41	*
Error	18	0,063728	0,004			

Fuente: Elaboración propia.

De este análisis se puede inferir lo siguiente:

- El factor A (concentración del puré) en sus tres niveles 10, 15 y 20 °Bx, presenta diferencias significativas en la producción de los azúcares reductores; es decir, la concentración del puré, afecta la retención de los azúcares reductores.
- El factor B (temperatura de tratamiento térmico) en sus tres niveles (80,90 y 100) °C presenta diferencias significativas, es decir, la temperatura afecta la producción de azúcares reductores. Cabe señalar, que Duckworth (1968), menciona que la cocción de los vegetales provoca la hidrólisis de los carbohidratos de cadenas largas hasta niveles altos.
- Los tratamientos de menor temperatura presentaron mejores comportamientos de producción, obteniéndose valores de azúcares reductores, más bajos.
- El Factor C (tiempo de tratamiento térmico) en sus dos niveles, 20 y 30 minutos, tiene diferencias significativas, por lo que el tiempo va a afectar la producción. Según Desrosier (1984), en tratamientos térmicos de menor duración, la producción es menor.
- La interacción AB (concentración del puré, temperatura de tratamiento térmico), Tabla 14, es significativa; por lo que los factores A y B, juntos, van a afectar la producción de azúcares reductores. El factor A<sub>2</sub> frente a los tres niveles de B, presentó una mejor influencia, produciendo menores cantidades (6,082 g de glucosa/100g de muestra). En las Figuras 6 y 7, se puede observar que el nivel B<sub>1</sub> presenta efectos similares y bajos en los diferentes niveles de A, frente a los otros de B (B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>), para los diferentes niveles de C.

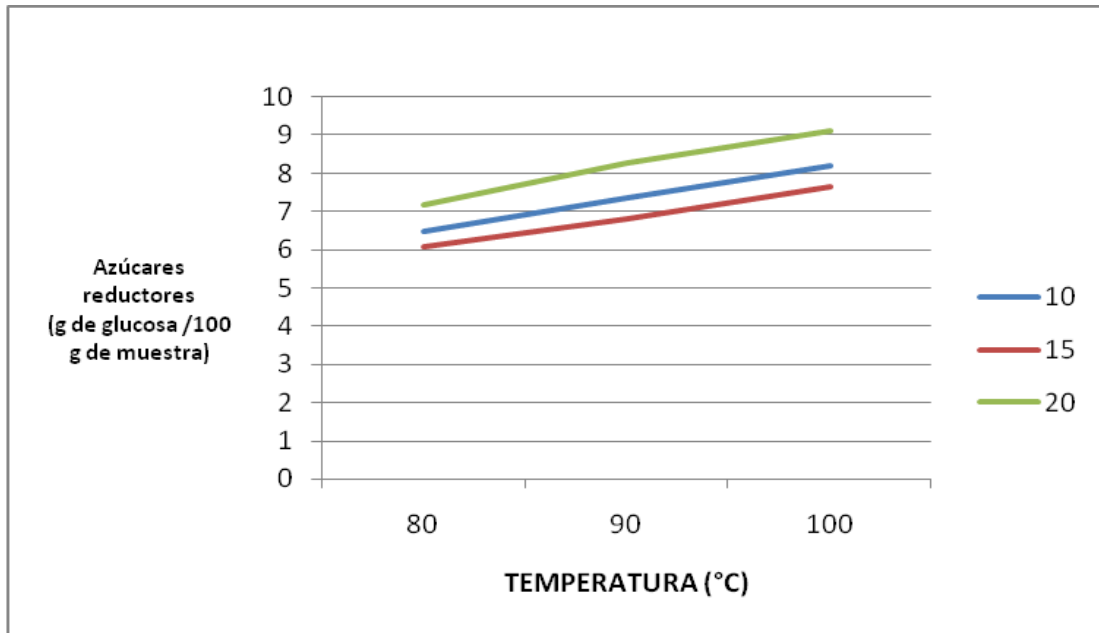


Figura 6. Variación del contenido de los azúcares reductores respecto a los factores A(sólidos solubles) y B (temperatura de tratamiento térmico)(interacción de A en B) para 20 minutos.

Fuente: Elaboración propia.

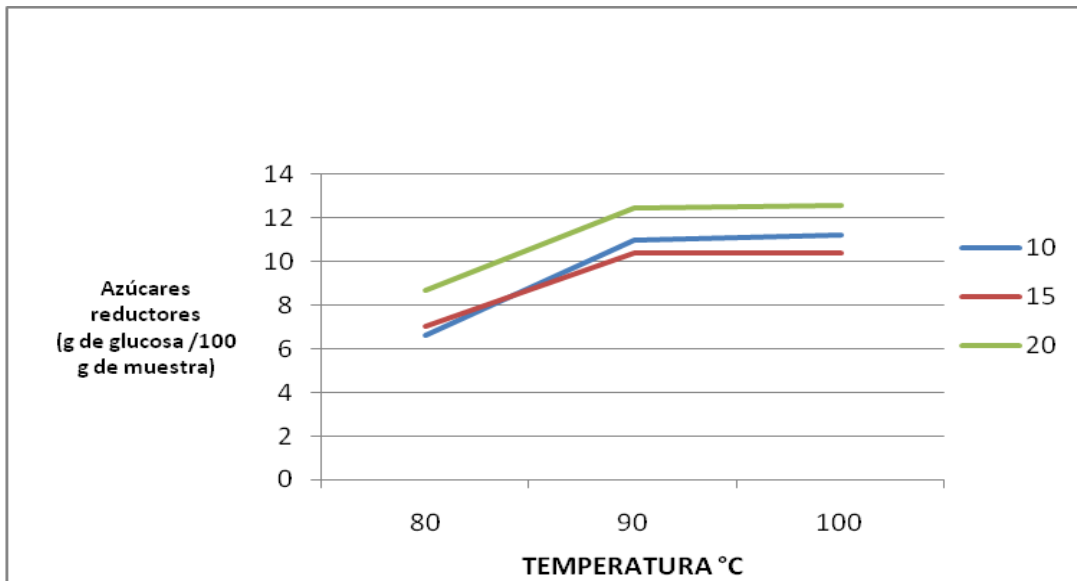
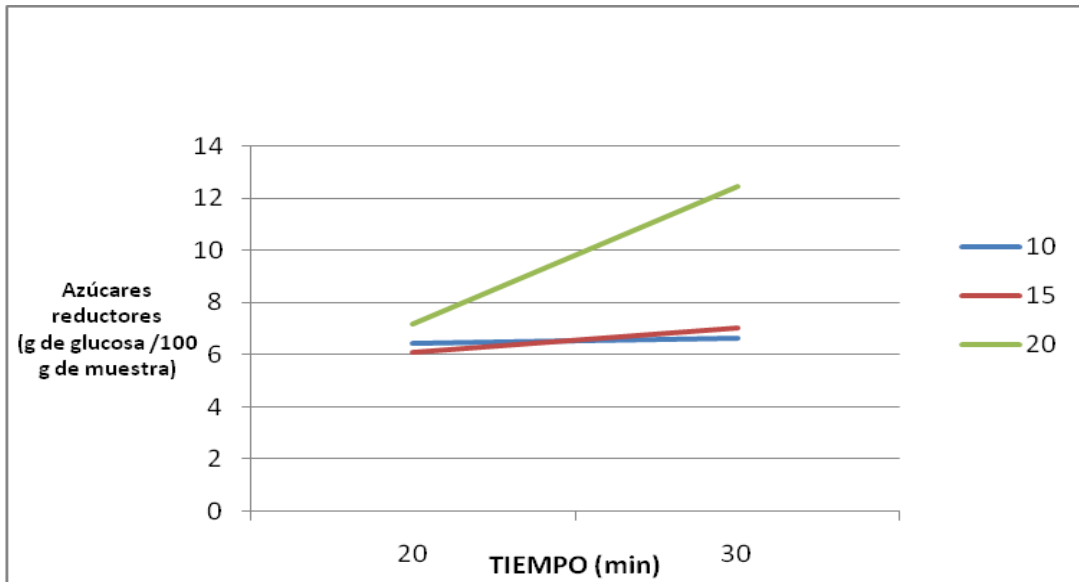


Figura 7. Variación del contenido de azúcares reductores respecto a los factores A(sólidos solubles) y B (temperatura de tratamiento térmico) interacción de A en B) para 30 minutos.

Fuente: Elaboración propia.

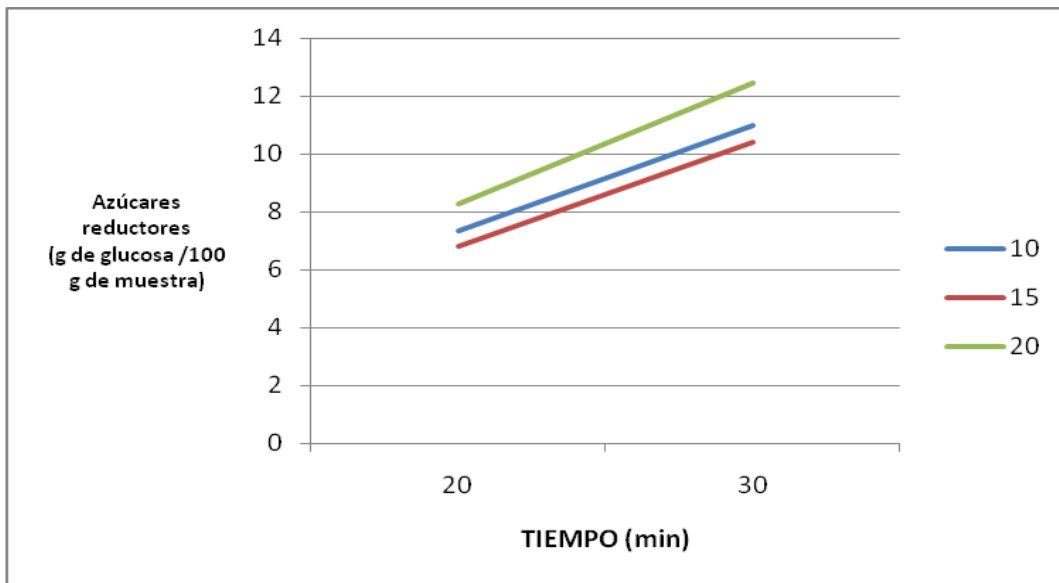
- La interacción de AC (concentración del puré, tiempo de tratamiento térmico) es significativa, por lo que los factores de A y C juntos, van a afectar la producción de azúcares reductores. En las Figuras 8, 9 y 10 podemos observar que, a mayor tiempo de tratamiento térmico, la producción de azúcares reductores es mayor para los tres niveles de A.
- La interacción A, B y C (concentración del puré, temperatura del tratamiento térmico y tiempo de tratamiento térmico) es significativa; por lo que los factores A, B y C, juntos afectan la producción, presentando valores diferenciales en sus niveles (Figuras 11,12 y 13). Al mantener constante A, se puede observar que se presenta una interacción, cuando las curvas presentan diferentes pendientes.
  - A<sub>1</sub>, la curva C<sub>1</sub>, tiene valores más bajos con B<sub>1</sub>.
  - A<sub>2</sub>, la curva C<sub>1</sub>, tiene valores más bajos con B<sub>1</sub>.
  - A<sub>3</sub>, la curva C<sub>1</sub>, tiene valores más bajos con B<sub>1</sub>.
- En el análisis de varianza de efectos simples, encontramos que las interacciones son altamente significativas. Se procedió a realizar la prueba de Tukey, para determinar el mejor tratamiento (ver Anexo 5).
- Los tratamientos en los que se obtiene menor producción de azúcares reductores, son los siguientes:
  - a) Tratamiento I: 15°Bx, 80 °C, 20 minutos,
  - b) Tratamiento II: 10°Bx, 80 °C, 20 minutos.





*Figura 8.* Variación del contenido de azúcares reductores respecto a los factores A (sólidos solubles) y C (tiempo de tratamiento térmico) (interacción A en C) para 80°C.

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 9.* Variación del contenido de azúcares reductores respecto a los factores A (sólidos solubles) y C (tiempo de tratamiento térmico) (interacción A en C) para 90 °C.

Fuente : Elaboración propia.

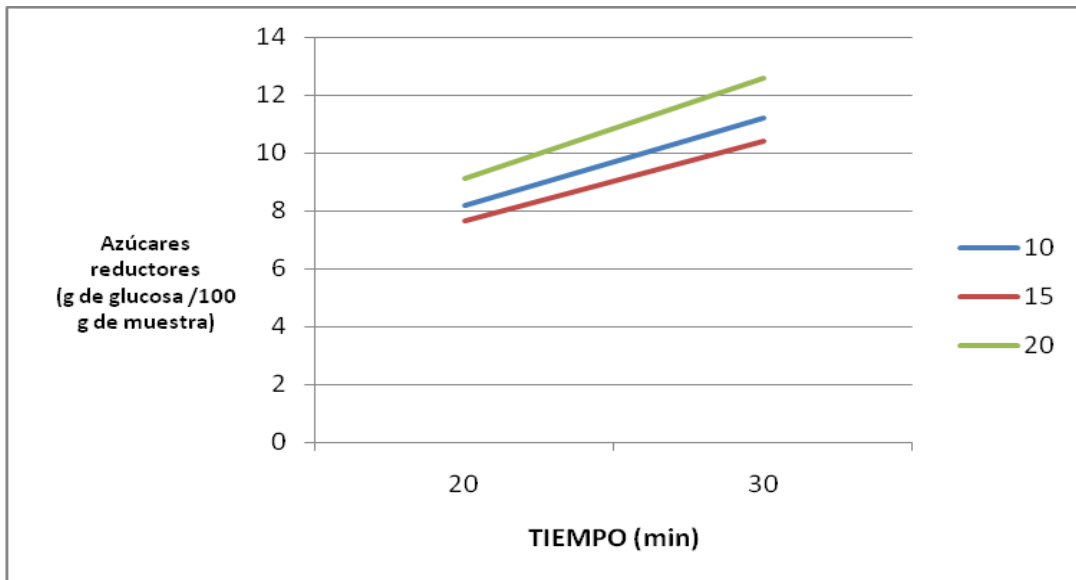


Figura 10. Variación del contenido de azúcares reductores respecto a los factores A (sólidos solubles) y C (tiempo de tratamiento térmico) (interacción A en C) para 100 °C.

Fuente: Elaboración propia.

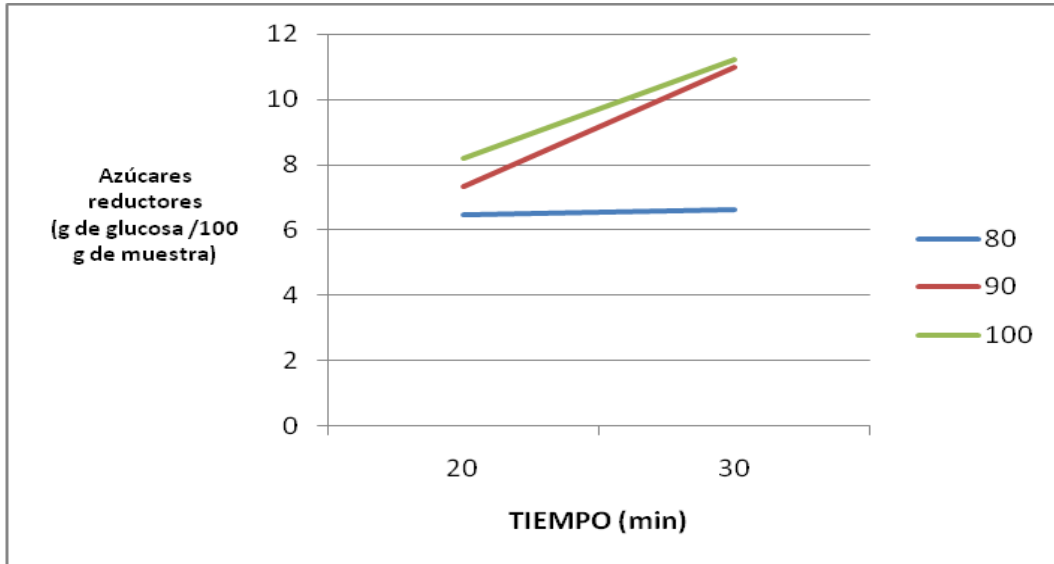


Figura 11. Variación del contenido de azúcares reductores respecto a los factores B (temperaturas de tratamiento) y C (tiempo de tratamiento térmico) (interacciones B en C) para 10 °Bx.

Fuente: Elaboración propia.

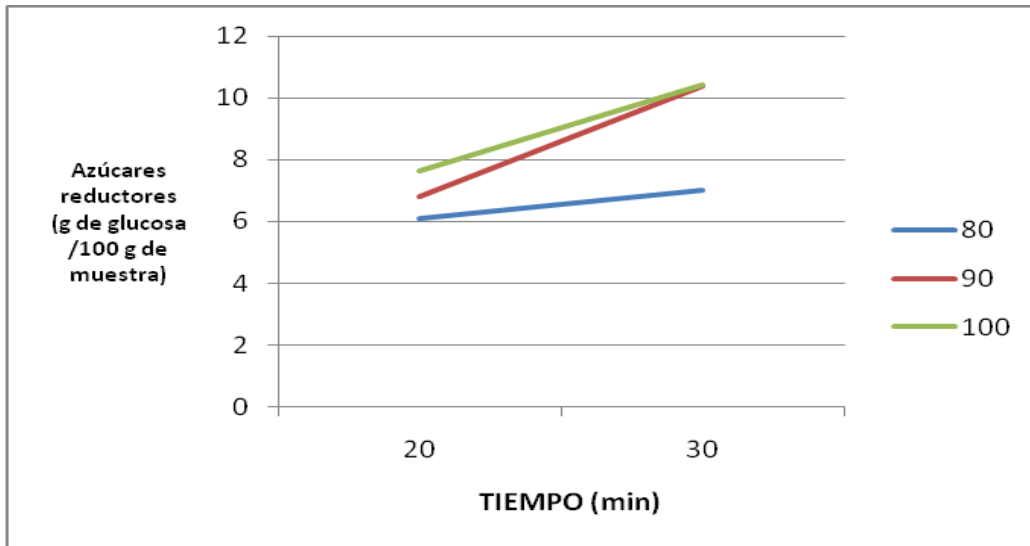


Figura 12. Variación del contenido de azúcares reductores, respecto a los factores B (temperaturas de tratamiento ) y C (tiempo de tratamiento térmico) (interacciones B en C) para 15 °Bx.

Fuente: Elaboración propia.

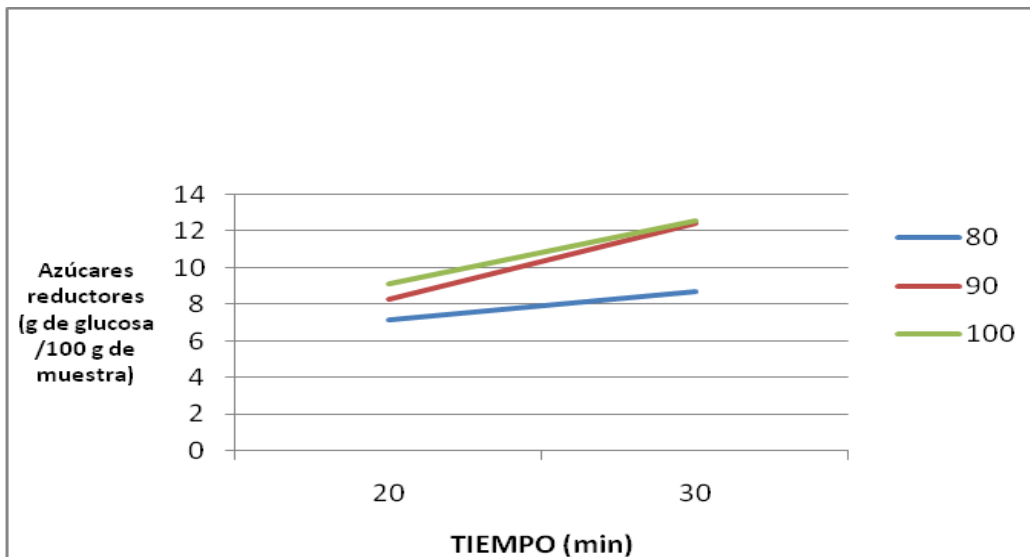


Figura 13. Variación del contenido de azúcares reductores respecto a los factores B (temperaturas de tratamiento ) y C (tiempo de tratamiento térmico) (interacciones B en C) para 20 °Bx.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4 Determinación del control Microbiológico.

Los resultados de los análisis microbiológicos (Tabla 15) tanto para microorganismos aerobios, anaerobios, como para hongos y levaduras, no presentan un incremento significativo de crecimiento, hasta los 90 días de almacenamiento, lo que permite ajustarse a la norma.

Tabla 15

*Recuento de microorganismos en los tratamientos I y II*

Tratamiento	Tratamiento I: 15 °Bx , 80 °C , 20 min						Tratamiento II: 10 °Bx, 80 °C , 20 min					
	0	10	20	30	49	90	0	10	20	30	49	90
<b>Días almacenamiento</b>												
<b>Recuento en placa de aerobios mesófilos (UFC/g)</b>	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
<b>Numeración de <i>Clostridium perfringens</i> (UFC/g)</b>	< 10	--	--	--	< 10	< 10	< 10	--	--	--	< 10	< 10
<b>Recuento de Enterobacterias (UFC/g)</b>	< 10	--	--	--	< 10	< 10	< 10	--	--	--	< 10	< 10
<b>Enumeración de <i>Staphylococcus aureus</i> Coagulasa Positiva (NMP/)</b>	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
<b>Mohos (UFC/g)</b>	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
<b>Levaduras (UFC/g)</b>	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
<b>Detección de Salmonella (En 25 g)</b>	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

\* Análisis con tres repeticiones.

\*\* Significa “ausencia”.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5. **Determinación de la evaluación sensorial, la aceptación organoléptica del puré de yacón.**

En el Anexo 6, se presentan las calificaciones obtenidas de la evaluación sensorial que se realizó a los tratamientos óptimos, provenientes del análisis de tratamiento térmico, I (15°Bx, 80°C, 20 min) y II (10°Bx, 80°C, 20 min).

Las muestras se sometieron, a una evaluación sensorial de preferencias, con el fin de priorizar uno de los tratamientos. Se trabajó la prueba de preferencia pareada, con la tabla de significación para pruebas de dos muestras (Anzaldúa, 1994), en la columna de prueba de dos colas con un nivel de significancia del 5 %. El análisis estadístico se realizó mediante las tablas binomiales de dos colas, tabulándose las razones de preferencias.

El análisis sensorial se efectuó de la siguiente manera: se escogió dos números para codificar las muestras, de la tabla de números aleatorios. Se presentó las muestras en bandejas de aproximadamente 50 g ; se trabajó con 50 jueces, de los cuales 25 probaron primero la muestra N° 6152 (tratamiento I) y, luego, la N° 3828 (tratamiento II); los otros 25 jueces, en orden inverso. Las fichas de evaluación y de los datos obtenidos se presentan en los Anexos 6.1 y 6.2, respectivamente.

El resultado permite apreciar que 35 jueces escogieron la muestra N° 6152, y 15 jueces, la muestra N° 3828. Se cotejaron los resultados en la tabla de significancia para pruebas de dos colas (Anexo 6.3), con un número de 50 juicios y se observó que el número mínimo de juicios coincidentes, necesarios para establecer la diferencia o preferencia significativa, es de 33 pruebas, para un nivel de significancia del 5 %; y de 35 pruebas, para un nivel de

significancia del 1%. Por lo tanto, se puede inferir que la preferencia de los jueces, es por el tratamiento N° 6152, con un nivel de significancia del 5%.

En síntesis, de acuerdo al análisis antes mencionado, el tratamiento óptimo para preservar las características fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas del puré de yacón es el que tiene los parámetros de 15 °Bx, de concentración de sólidos solubles, con una temperatura de tratamiento térmico de 80 °C, por un tiempo de tratamiento térmico de 20 minutos.

#### **4.6. Determinación de los parámetros de control en almacenamiento del puré de yacón.**

El tratamiento que resultó como óptimo, después de la evaluación sensorial de preferencia, fue almacenado a temperatura ambiente entre 18 a 20 °C, por un período de 90 días.

En la Tabla 16, se muestra los resultados fisicoquímicos, realizados al puré de yacón a los 10 días de producción, muestra que fue sometida al almacenamiento. En las Tablas 17 y 18, se presentan los resultados del tratamiento analizado, durante el período de almacenamiento, referidos al comportamiento de las variables que se han controlado.

En la Figura 14, se presentan las curvas de la variación del contenido de azúcares reductores en el tratamiento, durante el periodo de almacenamiento de 90 días, notándose un ligero aumento, de 6,08 a 6,62 g de glucosa /100g de muestra.

Tabla 16

*Composición química del puré yacón expresada en porcentaje por 100 g de muestra*

PARÁMETRO	CONTENIDO	
	% base húmeda	% base seca
Humedad	81,94	-----
Proteínas	0,65	3,57
Grasas	0,06	0,33
Cenizas	0,35	1,91
Carbohidratos	17,01	94,19
Sólidos Totales	18,06	100,00
Fibra	2,95	16,31
Azúcares Totales	9,90	54,81
Azúcares Reductores	6,08	33,66
Fructooligodacaridos	2,07	11,47
Sólidos solubles °Bx	15,00	-----
pH	3,80	----
Acidez (mg de ác. cítrico/100 g muestra)	0,09	----

\* Promedio de tres repeticiones.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17

*Análisis fisicoquímicos del puré de yacón en conserva, frascos de 400 g durante tres meses de almacenamiento a temperatura ambiente (18°C, 85% HR, base húmeda)*

CONTROLES	Tratamiento I (15°Bx, 80 °C, 20 min)			
	10	30	60	90
pH	3,80	3,80	3,82	3,85
Sólidos solubles (°Bx )	15,00	15,00	14,98	14,96
Acidez titulable (g de ácido cítrico/100 g de muestra)	0,09	0,09	0,10	0,12
Azúcares reductores (g de glucosa / 100 g muestra)	6,08	6,25	6,37	6,62
Fructooligosacáridos	2,07	2,23	2,35	2,59

\* Análisis con tres repeticiones.

Fuente: Elaboración propia.



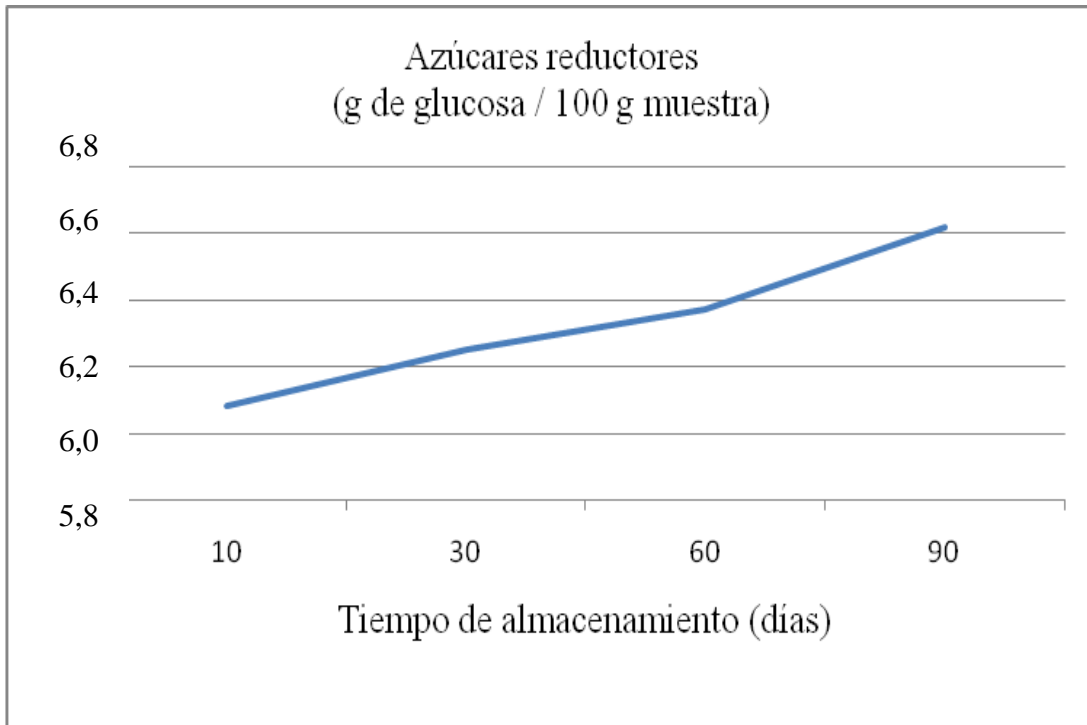
Tabla 18

*Análisis fisicoquímicos del puré de yacón en conserva, frascos de 400 g durante tres meses de almacenamiento a temperatura ambiente (18°C, 85% HR, base seca)*

CONTROLES	Tratamiento I (15°Bx, 80 °C, 20 min)			
	10	30	60	90
pH	3,80	3,80	3,82	3,85
Sólidos solubles (°Bx )	15,00	15,00	14,98	14,96
Acidez Titulable (g de ácido cítrico/100 g de muestra)	0,09	0,09	0,10	0,12
Azúcares reductores (g de glucosa / 100 g muestra)	33,6622	34,6034	35,2678	36,6519
Fructooligosacaridos	11,4728	12,3669	12,9981	14,3131

\* Análisis con tres repeticiones.

Fuente: Elaboración propia.



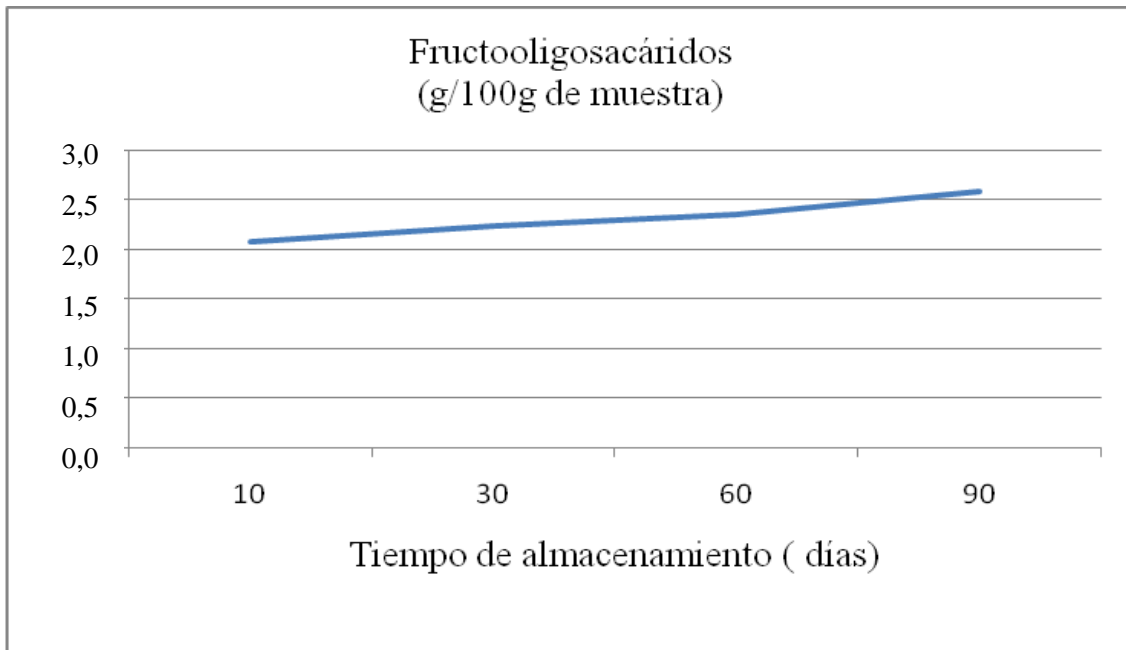
*Figura 14.* Variación del contenido de azúcares reductores durante el almacenamiento de la muestra óptima.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 15, podemos observar que hay una variación mínima del contenido de los fructooligosacáridos, de 2,07 a 2,59 g/100g de muestra. Como se puede apreciar este incremento es del 8,15 %.

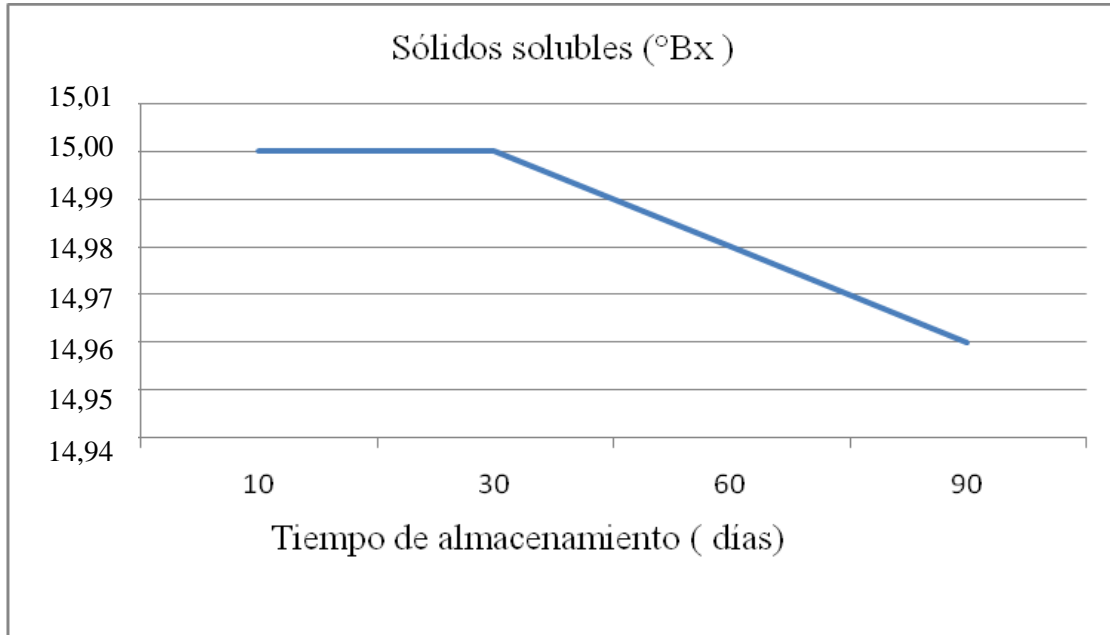
El comportamiento de los sólidos solubles, expresados en °Bx, se muestra en la Figura 16, en la cual se puede observar, estabilidad del contenido de los mismos hasta los 30 días de almacenamiento y, a partir de ese periodo, se presenta un ligero descenso, hasta el valor de 14,96 , que representa un 0,26 %.

En la Figura 17, se muestra la concentración de hidrogeniones pH, en la que se observa un incremento del 1,29 %. En la Figura 18, se presenta el comportamiento de la acidez titulable, observando que se mantiene casi estable, con un ligero incremento de 0,09 a 0,12 g de ácido cítrico/100 g de muestra.



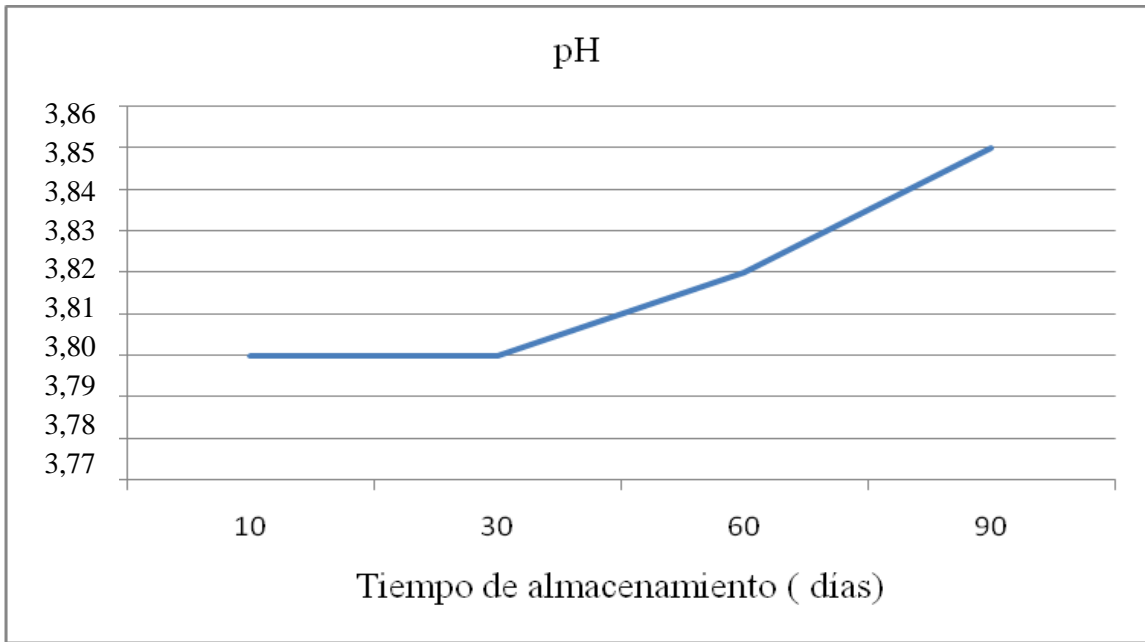
*Figura 15.* Variación del contenido de fructooligosacáridos durante el almacenamiento de la muestra óptima.

Fuente: Elaboración propia.



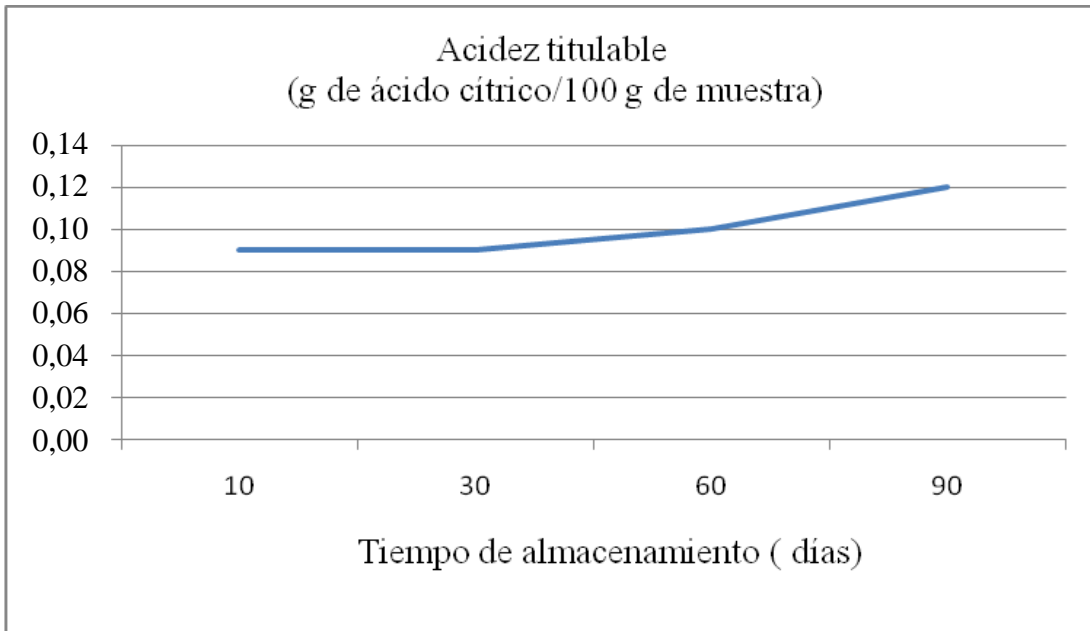
*Figura 16.* Variación del contenido de sólidos solubles durante el almacenamiento de la muestra óptima.

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 17.* Variación del contenido de la concentración de hidrogeniones pH durante el almacenamiento de la muestra óptima.

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 18.* Variación del contenido de la acidez titulable durante el almacenamiento de la muestra óptima.

Fuente: Elaboración propia.

## CAPITULO V      CONCLUSIONES

Se han realizado los análisis bromatológicos del yacón fresco, cuyos valores fueron similares a los encontrados por Chirinos (1999), Chaquilla (1997), y Juárez (2015).

De acuerdo a los análisis bromatológicos, se obtuvo el valor alto de pH igual a 6,3; por lo que fue necesaria la estandarización del pH a 3,8 en el puré de yacón. Este valor, permite establecer rangos de temperaturas iguales o menores a 100 °C, para el tratamiento térmico.

El valor más adecuado de la acidez en el puré de yacón y el de mayor aceptabilidad, fue determinado por un panel de evaluación sensorial que escogió la muestra con pH de 3,8.

El flujo de operaciones unitarias más adecuado para elaborar puré de yacón, es el siguiente: Selección, lavado, desinfectado de la materia prima, pelado, blanqueado, cocido, pulpeado, refinado, concentrado, envasado, tratamiento térmico, enfriado y almacenado.

Los valores de azúcares reductores encontrados, han servido como parámetros para evaluar el mejor tratamiento térmico, debido a que un menor resultado, indica una menor hidrólisis de los fructooligosacáridos y una menor presencia de azúcares simples.

Los tratamientos que dieron mejores resultados en cuanto al menor valor de azúcares reductores, fueron: a) 10°Bx, 80 °C, 20 min y b) 15°Bx, 80 °C, 20 min , con valores de 6,47; 6,08 g de glucosa / 100 g de muestra, respetivamente.

Se obtuvieron valores en el control microbiológico, que están dentro de los parámetros indicados por la norma técnica; esto nos remite a la esterilidad comercial. Lo que nos

garantiza que el tratamiento térmico ha sido el adecuado y que el producto tiene un tiempo de vida útil, por lo menos de tres meses, periodo de almacenamiento realizado.

La muestra, de acuerdo al análisis sensorial, que presentó mejores características en cuanto a sabor, color, textura y aspecto general, fue aquella procesada con los siguientes parámetros: 80°C de temperatura de procesamiento; 20 minutos de tiempo de tratamiento térmico y 15 °Bx de concentración de sólidos solubles.

El comportamiento de los parámetros analizados, durante el almacenamiento, mostró ligeras variaciones que se pueden considerar como un comportamiento estable, que no afecta a las características organolépticas.

El contenido de los fructooligosacáridos, en el almacenamiento, presenta variaciones mínimas, teniendo valores, en promedio de 12,79 g/100 g de muestra. Nos indica un aporte adecuado de este componente, en relación al requerimiento de fibra diaria, recomendado por la Organización Mundial de Salud.

Finalmente, los parámetros obtenidos de procesamiento tecnológico y las condiciones de elaboración del yacón, son los más adecuados, pues permiten obtener el puré del mismo, como producto de calidad, corroborado con los análisis bromatológicos del puré, las características organolépticas, el análisis estadístico y la evaluación sensorial. De esta forma se conserva sus características físicoquímicas, durante su procesamiento y almacenaje, dándole un tiempo prolongado de vida útil, adecuado para el consumo humano.

## **RECOMENDACIONES**

Promover la producción del yacón, entre lo pequeños y medianos productores, en aquellas zonas donde puede llevar a cabo una transformación del mismo, en puré. Implica que sectores públicos relacionados con la agroindustria alienten este tipo de procesamiento tecnológico, a partir de un producto natural valioso para el consumo humano.

El sector público, relacionado con el mejoramiento del consumo de alimentos, puede alentar el consumo del puré del yacón, conociendo las bondades de este producto a favor de la salud de la población. Para lograr este objetivo se requiere un flujo de inversiones que contribuya a fomentar el consumo de este producto, sobre todo en las poblaciones mas vulnerables.

Las universidades que están apoyando el desarrollo de sus regiones, pueden impulsar proyectos de investigación relacionados con la diversificación en el uso de este producto, la industrialización y comercialización del mismo. Los resultados de estos estudios deberán servir al programa de mejoramiento y calidad de productos alimenticios a favor de la población.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Academia del Área de Plantas Piloto de Alimentos (2011). *Introducción a la tecnología de alimentos*. México: LIMUSA.
- Aguilar, E. (2007). *Estudio de los flavonoides aislados de las hojas de *Smallanthus sonchifolius* (yacón) y determinación de su actividad antioxidante e inmunológica*. Tesis de Posgrado. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM).
- Alfaro, G., Vera, B., Illanez, W. y Borda, R. (1999). *Desarrollo de nuevos productos: papalisa en hojuelas y K'isa de Yacón*. Chochabamba Bolivia. Consulta: 29 de agosto del 2001. Disponible en : [www.prodar.org/exposiciones](http://www.prodar.org/exposiciones).
- Angulo, H. (2001). El Yacón. *Revista Agroindustrias*. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, pp. 1-4.
- Anzaldúa, A. (1994). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. Zaragoza, España: Editorial Acribia.
- A.O.A.C. (1990). *Official Methods of analysis*. Association of Analytical Chemist. USA: Editorial Boart.
- APYEDO (2002). *El Yacón y sus bondades medicinales*. Oxapampa. Consulta: 18 de noviembre del 2016. Disponible en:  
<http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/R2006082301.pdf>.
- Arango, O., Cuarán, G. y Fajardo, J. (2008). Extracción, cristalización y caracterización de inulina a partir de yacón (*Smallanthus sonchifolius*, poepp. & endl.) para su utilización en la industria alimentaria y farmacéutica. *Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias*, Universidad del Cauca, Colombia. 6 (2).

- Arbizu, C. (2004). *El Yacón. Entrevista sobre cultivos andinos, en el Centro Internacional de la Papa*. Consulta: 15 de mayo 2004. Disponible en: <http://www.perunatural.net>.
- Arce, L. (2011). Obtención de extracto clarificado (concentrado de Fructooligosacaridos) de la raíz de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). Tesis de posgrado. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, UNALM.
- Arizmendi, M. (2016). *Elaboración De Polímeros Naturales Injertados Con Compuestos Antioxidantes Y Evaluación De Sus Propiedades Funcionales*. Tesis de doctorado. Facultad de Química. México: Universidad Autónoma Del Estado de México.
- Armendáriz, J. (2016). *Preelaboración y conservación de los alimentos*. Madrid: Paraninfo.
- Asociación de Productores de Yacón Ecológico y Derivados. *Yacón Alimentación sana, Yacón ¿solución para la diabetes?* Boletín de Alimentación. Consulta: 3 de octubre 2016. Disponible en: [www.info.alimentación-sana.com.ar](http://www.info.alimentación-sana.com.ar).
- Bergeret, G. (1963). *Conservas Vegetales, Frutas y Hortalizas*. Barcelona: Salvar.
- Bunger, A. & Moyano, P. (1998). Frutas y Hortalizas mínimamente procesadas. Alimentos. Universidad de Chile. *Revista de la Sociedad Chilena de Tecnología de Alimentos*. 23 (1).
- Cancino, K. (2003). *Influencia del zumo concentrado en la deshidratación osmótica del yacón*. Tesis de posgrado, Lima: UNALM.
- Caps, A. (2014). *Tecnología de los alimentos de origen vegetal* (Vol. 1). Madrid: Sintesis,S.A.
- Carpenter, R, Lyon, D. y Hasdell, T. (2002). *Análisis sensorial en el desarrollo y control de la calidad de alimentos*. Zaragoza: Acribia.

- Carvalho, S., Toledo, I., Araujo, F. y Pereira, G. (2004). Fructanos en raíces tuberosas de yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poep & Endl) expuestas al sol y almacenadas bajo condiciones ambientales. *Agrociencia* 20 (1): 17-23.
- Centro Internacional de la Papa, (CIP). *El Yacón es un pariente lejano del girasol*, Fecha de consulta: 12 de octubre 2016. disponible en: [www.cipotato.org](http://www.cipotato.org).
- Chacon-Villalobos, A. (2006). Perspectivas agroindustriales actuales de los oligofructosacáridos (FOS). *Agronomía Mesoamericana*. Universidad de Costa Rica. 17(2): pp. 265-286.
- Chaquilla, G. (1997). *Obtención de jarabe a partir de Yacón (Polymnia sonchifolia)*, Tesis de pregrado. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Chavarry, R. (2007). *Influencia de las condiciones de almacenaje del yacón fresco (Smallanthus sochifolia) en sus compuestos*. Tesis de posgrado. Lima: UNALM.
- Cheftel, J.C. & Cheftel H. (1976) *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*, Zaragoza: Acribia Vol 1 y 2.
- Chirinos, R. (1999). *Obtención y caracterización de los oligofructanos a partir de la raíz del Yacón (Smallanthus sonchifolia Poepp.& eeENdl.)*. Tesis de posgrado. Lima: UNALM.
- Colan, O. y Picón, M. (2002). *Proyecto de factibilidad para la producción y comercialización del yacón*. Tesis de pregrado. Facultad de Ingeniería Industrial. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Collazos, C. (1993). *La composición de Alimentos de Mayor Consumo en el Perú*. Sexta edición. Lima: Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Nutrición.

- Cuba, P. (2009). *Estudio de la actividad frutano exohidrolasa (FEH) en las raíces tuberosas del Yacón (Smallanthus sonchifolius)*. Tesis para Título en biología Lima: UNALM.
- Desrosier, N.W. (1984). *Elementos de la tecnología de alimentos*. México: CECOSA.
- Ducar, P. (1971). *Conservación de Frutas y Hortalizas*. Zaragoza: Acribia.
- Ducworth, R. (1968). *Frutas y Verduras*. Zaragoza: Acribia.
- Elias, C., García, M. y Morales, E. (2014). *Manual del tratamiento Térmico de los Alimentos*. Lima: Fondo Editorial UNALM.
- Fernandini, V. (2001, 21, Octubre). *¿Conoce el Yacón? Es un cultivo rentable*, Artículo del El Comercio.
- García, P. (2000). *Producción de jarabe de fructosa del yacon por fermentación con una cepa nativa (Bacillus sp)*. Tesis de posgrado. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Lima: UNMSM.
- González-García, G.A., González-Córdova, A.F., Vallejo-Córdova, B., Álvarez-Parrilla, E. y García, H.S. (2014). *Los Alimentos Funcionales: un reto para la industria de alimentos*. México: AGT Editor, S.A.
- Hart, F. & Fisher, H. (1971). *Análisis Moderno de los Alimentos*. Zaragoza: Acribia.
- Hermann, M. Heller, J. (1997). *Andeanroots Aand tubers: Ahipa, anacocha, maca, Yacón*.  
Consulta: 30 de octubre 2016. Disponible en: [www.cipotato.org](http://www.cipotato.org).
- Holdsworth, S.D. (1988). *Conservación de frutas y hortalizas*. Zaragoza: Acribia.
- Instituto Nacional de Calidad (1977). *Determinación de Sólidos Totales*. Norma Técnica Peruana NTP- 203.071. Lima: INACAL

- Instituto Nacional de Calidad (1999). *Determinación de Azúcares Totales*. Norma Técnica Peruana NTP- 209.173, revisada el 2014. Lima: INACAL
- Instituto Nacional de Calidad (1999). *Determinación de Azúcares reductores*. Norma Técnica Peruana NTP- 209.171 revisada el 2014. Lima: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad (1977). *Determinación de Acidez Titulable*. Norma Técnica Peruana NTP- 203.070. Lima: INACAL.
- International Commission on Microbiological Specifications for Foods, ICMSF (2000). *Microbiología de los Alimentos*. 2da ed. Vol. 1. Zaragoza: Acribia.
- James, J. (2013). *Microbiología Moderna de los Alimentos*. Zaragoza: Acribia.
- Jeanet, R., Croguennec, T., Schuck, P. y Brulé, G. (2006). *Ciencia de los Alimentos*. Zaragoza: Acribia.
- Jiménez, M. & Sammán, N. (2014). Caracterización química y cuantificación de fructooligosacáridos, compuestos fenólicos y actividad antirradical de tubérculos y raíces andinos cultivados en el noroeste de Argentina. Instituto Superior de Investigaciones Biológicas (INSIBIO), CONICET-UNT, e Instituto de Química Biológica. “Dr. Bernabe Bloj”, Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia, San Miguel de Tucuman. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición. Vol. 64 No 2.
- Juárez, S. (2015). *Influencia del blanqueado y secado de yacón (Smilax tuberosa Poep. & Endl) en el contenido de azúcares y fructooligosacáridos*. Tesis para Título en Industrias Alimentarias. Lima: UNALM.
- León J. (1964). Plantas alimenticias Andinas. *Boletín Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Zona Andina*. N° 6. Lima.

- León, M.H. (1983). *Caracteres agronómicos de 5 cultivares de Yacón (Polymnia sonchifolia) bajo condiciones de la campiña de Cajamarca*. Tesis para Título. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Loncín, M. y Carballo, J. (1965). *Técnica de la ingeniería alimentaria*. Madrid: Dossat S.A.
- Málaga, R. (2013). *Efecto del procesamiento de puré de aguaymanto (Phisalis peruviana L.) sobre la vitamina C, compuestos*. Tesis para Título. Lima: UNALM.
- Man, D. (2004). *Caducidad de los alimentos*. Zaragoza: Acribia.
- Manrique, I. & Hermann, M. (2003). *El Potencial del Yacon en la salud y la nutrición*. Centro Internacional de la Papa. Cochabamba: XI Congreso Internacional de Cultivos Andinos.
- Mansilla, R. (2001). *Caracterización genética molecular de Smallanthus sonchifolius mediante marcadores RAPDs'*. Tesis de posgrado. Facultad de Ciencias. Lima: UNALM.
- Mejía, R. (2015). *Impregnación al vacío de fructooligosacaridos del yacón (Smallanthus sonchifolius poep & Endl)*. Tesis para Título. Lima: UNALM.
- Mindani, C. (2008). *Influencia de las condiciones de proceso en el secado por liofilización del yacón (Smallanthus sonchifolius)*. Tesis de posgrado. Lima: UNALM.
- Ministerio de Agricultura, (1990). *Estadísticas de Producción*. Anuario Estadístico de Producción Agrícola. Oficina de Estadística. Lima: MINAG.
- MINSA/DIGESA, (2003). *Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano*. Lima. Consulta: 23 de noviembre 2016. Disponible en:  
[http://www.digesa.sld.pe/norma\\_consulta/RM%20615-2003MINSA.pdf](http://www.digesa.sld.pe/norma_consulta/RM%20615-2003MINSA.pdf).

- Muñoz, A., Ramos-Escudero, F., Alvarado-Ortiz, C. y Castañeda, B. (2007). Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. *Revista. Sociedad Química del Perú*. 73 (3), pp. 142-149.
- Nieto, C. (1991). Estudios agronómicos y bromatológicos en Jicama (*Polymnia sonchifolia*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*.
- Nina, V. (1996). El cultivo del Llacón. *Instituto Nacional de Investigación Agraria*, Lima: Serie folleto, pp. 35-96.
- Noratto, G. (1999). *Producción de Inulinasa (2,1-b.d- fructan fructanohidrolasa) a partir de cepas Nativas aisladas de Yacón y de Kluyveromyces marxianus*. NRRL y -828, Tesis de posgrado. Lima: UNALM.
- Osborne, D. y Voogt, P. (1978). *Análisis de los Nutrientes de los Alimentos*. España: Editorial Acribia.
- Palacios, C. (2006). *Efecto de la nutrición marginal en el crecimiento y desarrollo del yacón (Smallanthus sonchifolius) bajo condiciones de hidroponía*. Tesis para Título. Lima: UNALM.
- Pedreschi, R. (2002). *Fermentación de fructooligosacaridos del yacón por L.acidophilus, L. brevis, L. gasseri, L plantarun, y B. bifidum*. Tesis para Título, Facultad de Industrial Alimentarias, Lima: UNALM.
- Panadés, G. Falco, S. Rodríguez, I. Márquez, E. Ravelo, E. y Pedroso, H. (2007). Conservación de puré de tomate procesado asépticamente. La Habana: Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. *Rev. Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol.17, N° 3, pp del 1-6

- Pinto, L. & Rosales, Y. (2007). *Comparación de dos métodos tecnológicos para la obtención de miel de yacón utilizando un concentrador a presión a vacío y una marmita a presión atmosférica*. Tesis para Título, Facultad de Química e Ingeniería Química. Lima: UNMSM.
- Ramos, R. (2007). *Estudio químico-bromatológico de algunas variedades de yacón, de la Provincia de Sandia Puno*. Tesis para Título. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Lima: UNMSM.
- Rea, J. (1995). *Recursos genéticos del yacón (Smallanthus sonchifolius)*. La Paz: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos.
- Robinson, D. (1991). *Bioquímica y Valor Nutritivo de los Alimentos*. Zaragoza: Editorial Acribia.
- Rojas, E. (2015). *Optimización de la incorporación de aloe vera en yacón (Smallanthus sonchifolius Poepp. & Enl) mediante impregnación al vacío*. Tesis de posgrado . Lima: UNALM.
- Sánchez, H. (2010). *Evaluación de la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y actividad antimutagénica de los extractos de camu camu (Myrciaria dubia) y yacón (Smallanthus sonchifolius)*. Tesis de posgrado. Lima: UNALM.
- Schmidt, H. & Pennachiotti, I. (1982). *Las enzimas en los alimentos*. Santiago de Chile: Fundación Chile
- Seminario, J., Valderrama, M. y Maquera, I. (2003). *El Yacón, Fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio*. Lima: Centro Internacional de la Papa. Universidad Nacional de Cajamarca y COSUDE.



- Tapia, M. (1997). *Cultivos andinos sub explotados y su aporte a la alimentación*. Conferencia, Santiago de Chile: FAO.
- Tupayachi, G. (2015). *Relación entre harina de yacón o aceite de copaiba dietaria y la performance e integridad intestinal del ser humano*. Tesis posgrado. Lima: UNALM.
- Tscheuschner, H-D. (2001). *Fundamentos de la tecnología de los Alimentos*. Zaragoza: Acribia.
- UNALAM. (2000). El Yacón en pro de un cultivo milenario. *CIP Boletín Oficial Informativo*, La Molina, año XXXII, (21).
- UNALM, (2004), *Yacón*, Programa de Investigación y Proyección Social en Raíces. Consulta: 27 de noviembre 2016. Disponible en: [www.lamolina.edu.pe](http://www.lamolina.edu.pe).
- Ureña, M., D'Arrigo, M. y Girón, O. (1999). *Evaluación Sensorial de los Alimentos*. Primera edición. Lima: UNALM.
- Vásquez, Y. (2009). *Influencias de las condiciones del proceso en la calidad de zumo de yacón (Smallanthus sonchifolius)*. Tesis para Título. Lima: UNALM.
- Vega, R. (2009). *Evaluación del contenido de fructooligosacáridos y la actividad fructanoexohidrolasa (EC.3.2.1.80) durante el crecimiento de cinco entradas de yacón (Smallanthus sonchifolius)*. Tesis de pregrado. UNALM, Lima, Perú.
- Ynouye, C. (2005). *Determinación del contenido de carbohidratos de reserva, la actividad enzimática de la polifenoloxidasa y la concentración de polifenoles en raíces reservantes del yacón*. Tesis para título. Facultad de Ciencias. Lima: UNALM.

## **ANEXOS**

Anexo 1. Matriz de consistencia: el puré de yacón (*smallanthus sonchifolius*), como alimento

alternativo de calidad

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variabes	Indicadores	Metodología
<p>Problema general:</p> <p>¿Se puede obtener, puré de yacón como producto nuevo utilizando un proceso tecnológico adecuado?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Desarrollar un producto nuevo, el puré de yacón, con características físico-químicas, organolépticas y microbiológicas aceptables dentro de las normas técnicas.</p>	<p>Si los parámetros de procesamiento tecnológico y las condiciones de elaboración del puré de yacón son adecuados, entonces se obtendrá el puré del mismo, conservando sus características físico-químicas, organolépticas y microbiológicas durante su tiempo de vida útil.</p>	<p>Variable Independiente:</p> <p>Parámetros de procesamiento para la elaboración del puré de yacón.</p>	<p>a) Análisis de azúcares reductores b) Análisis organoléptico c) Recuento de microorganismos</p>	<p>Investigación descriptiva, experimental, análisis fisicoquímico organoléptico (aplicación de encuestas, degustación )</p>
<p>Problemas Específicos:</p> <p>*¿Cuáles son los resultados de los análisis bromatológicos del yacón en estado fresco?</p> <p>*¿Cuál es el grado de acidez óptima del puré de yacón.</p> <p>*¿Cuáles son los parámetros de procesamiento tecnológico del puré de yacón?</p> <p>*¿Cuál es el resultado del control microbiológico del puré de yacón?</p> <p>*¿Cuál es el resultado de la evaluación sensorial, la aceptación organoléptica, del puré de yacón?</p> <p>*¿Cuáles son los parámetros de control en almacenamiento del puré de yacón?</p>	<p>Objetivos Específicos:</p> <p>*Realizar los análisis bromatológicos del yacón en estado fresco.</p> <p>*Determinar el grado de acidez óptima del puré de yacón.</p> <p>*Determinar los parámetros de procesamiento tecnológico del puré de yacón.</p> <p>*Determinar el control microbiológico del puré de yacón</p> <p>*Determinar la evaluación sensorial, la aceptación organoléptica, del puré de yacón.</p> <p>*Determinar de los parámetros de control en almacenamiento del puré de yacón.</p>		<p>Variable Dependiente:</p> <p>Puré de yacón con características físico-químicas, organolépticas y microbiológicas, durante su tiempo de vida útil, adecuadas.</p>	<p>a) Análisis bromatológico de la materia prima y puré de yacón % humedad % cenizas % grasas % fibra % carbohidratos % proteínas Acidez titulable pH Bx Azúcares totales b)Análisis en almacenamiento Azúcares reductores Azúcares totales Acidez Titulable pH Fructooligosacaridos</p>	

## Anexo 2. Validación de instrumentos.

La validez de los instrumentos, en este estudio tiene que ver con las evidencias que provienen de los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales; este criterio es parte de la metodología de la A.O.A.C. y del ICMSF. El manejo de los componentes metodológicos, contenidos en los análisis fisicoquímicos, microbiológicos, ha sido utilizado para medir los aspectos tecnológicos, expresados en los procesos con los que se ha trabajado el producto final. Asimismo, se ha trabajado con 10 panelistas entrenados, respecto a la evaluación sensorial. Por último, para la aceptación del producto, se ha trabajado con panelistas no entrenados, con 50 personas, y se han utilizado metodologías estándares.

## Anexo 3. Confiabilidad de instrumentos

Para lograr la confiabilidad de los instrumentos, se ha utilizar procedimientos y fórmulas que producen coeficientes que dieron consistencia a los resultados; estos se obtuvieron por triplicado, de cada una de las muestras provenientes de los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y organolépticos. Se ha trabajado con programas estadísticos, y se constado la confiabilidad de los mismos, logrando que los resultados sean consistentes y coherentes. La confiabilidad de los instrumentos utilizados en este estudio, han variado de acuerdo con el número de ítems que incluye el instrumento de medición que se ha utilizado.

Anexo 4. Análisis organoléptico para la determinación de la acidez óptima

Anexo 4.1 Ficha de evaluación para la determinación de la acidez de mayor aceptación

FICHA DE EVALUACIÓN DE PURÉ DE YACÓN											
Nombre Del Juez _____	Fecha _____										
Muestras evaluadas _____	Prueba N° _____										
Código _____											
Clasifique la muestra utilizando la escala que se presenta, dibujando el símbolo ] sobre la línea según la intensidad de acidez que percibe											
<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">ESCALA DE INTESIDAD DE PRESENCIA DE ACIDEZ</th></tr></thead><tbody><tr><td>498</td><td>_____</td></tr><tr><td>525</td><td>_____</td></tr><tr><td>185</td><td>_____</td></tr><tr><td>Mínima acidez</td><td>Máxima acidez</td></tr></tbody></table>		ESCALA DE INTESIDAD DE PRESENCIA DE ACIDEZ		498	_____	525	_____	185	_____	Mínima acidez	Máxima acidez
ESCALA DE INTESIDAD DE PRESENCIA DE ACIDEZ											
498	_____										
525	_____										
185	_____										
Mínima acidez	Máxima acidez										
Comentarios :											
_____											
_____											
Muchas gracias											

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4.2 Prueba de Tukey para la determinación del mejor tratamiento (acidez)

PRUEBA DE TUKEY

Tratamientos	498	525	185
Cálculo de medias de los tratamientos	3,46	8,48	2,65

Tratamientos	525	498	185
Ordenamiento de medias de mayor a menor	8,48	3,46	2,65

Valor RES de la tabla stunderizados: # Tratamientos: 3 y GL err. :18

$$RES = 3,61$$

$$\epsilon = 0,1207$$

$$DMS = \epsilon (RES) = 0,4357$$

$$525 - 498 \rightarrow 8,48 - 3,46 = 5,02 > 0,4357$$

$$525 - 185 \rightarrow 8,48 - 2,65 = 5,83 > 0,4357$$

$$498 - 185 \rightarrow 3,46 - 2,65 = 0,81 > 0,4357 \text{ menor diferencia que las anteriores}$$

Se acepta el valor de la muestra 185.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5. Análisis estadístico del tratamiento térmico

Prueba de Tukey para determinar el mejor tratamiento térmico.

AB(80)C(20) Ho:  $\mu_{111} = \mu_{211}$  ....  
H1:  $\mu_{111} \neq \mu_{211}$

Niveles	10	15	20
Yi11	6,465	6,082	7,160

GLE = 18 y p=3

AES(T) 3,609

CME 0,004

R 2

ALS(T) 0,1518451

Comparaciones	Promedio	ALS(T)	conclusión	significación
			se rechaza	
10 vs 15	0,383	0,152	Ho	*
			se rechaza	
10 vs 20	0,695	0,152	Ho	*
			se rechaza	
15 vs 20	1,078	0,152	Ho	*

AB(80)C(30) Ho:  $\mu_{111} = \mu_{211}$  ....  
H1:  $\mu_{111} \neq \mu_{211}$

Niveles	10	15	20
Yi12	6,615	7,020	8,715

GLE = 18 y p=3

AES(T) 3,609

CME 0,004

r 2

ALS(T) 0,152

Comparaciones	Promedio	ALS(T)	conclusión	significación
			se rechaza	
10 vs 15	0.405	0.152	Ho	*
			se rechaza	
10 vs 20	2.1	0.152	Ho	*
			se rechaza	
15 vs 20	1.695	0.152	Ho	*

AB(90)C(20)

Ho:  $\mu_{111} = \mu_{211}$  ....  
 H1:  $\mu_{111} \neq \mu_{211}$

Niveles	10	15	20
Yi21	7,335	6,820	8,270

GLE = 18 y p=3

AES(T)	3,609
CME	0,004
r	2
ALS(T)	0,152

Comparaciones	Promedio	ALS(T)	conclusión	significación
10 vs 15	0,515	0,152	se rechaza Ho	*
10 vs 20	0,935	0,152	se rechaza Ho	*
15 vs 20	1,450	0,152	se rechaza Ho	*

AB(90)C(30)

Ho:  $\mu_{111} = \mu_{211}$  ....  
 H1:  $\mu_{111} \neq \mu_{211}$

Niveles	10	15	20
Yi22	10,965	10,400	12,460

GLE = 18 y p=3

AES(T)	3,609
CME	0,004
r	2
ALS(T)	0,152

Comparaciones	Promedio	ALS(T)	conclusión	significación
10 vs 15	0,565	0,152	se rechaza Ho	*
10 vs 20	1,495	0,152	se rechaza Ho	*
15 vs 20	2,060	0,152	se rechaza Ho	*



AB(100)C(20)

Ho:  $\mu_{111} = \mu_{211}$

....

H1:  $\mu_{111} \neq \mu_{211}$

Niveles	10	15	20
Yi31	8,200	7,635	9,125

GLE = 18 y p=3

AES(T) 3,609

CME 0,004

r 2

ALS(T) 0,152

Comparaciones	Promedio	ALS(T)	conclusión	significación
10 vs 15	0,565	0,152	se rechaza Ho	*
10 vs 20	0,925	0,152	se rechaza Ho	*
15 vs 20	1,490	0,152	se rechaza Ho	*

AB(100)C(30)

Ho:  $\mu_{111} = \mu_{211}$

....

H1:  $\mu_{111} \neq \mu_{211}$

Niveles	10	15	20
Yi32	11,210	10,425	12,570

GLE = 18 y p=3

AES(T) 3,609

CME 0,004

r 2

ALS(T) 0,152

Comparaciones	Promedio	ALS(T)	conclusión	significación
10 vs 15	0,785	0,152	se rechaza Ho	*
10 vs 20	1,360	0,152	se rechaza Ho	*
15 vs 20	2,145	0,152	se rechaza Ho	*

BA(10)C(20)

Ho:  $\mu_{111} = \mu_{121}$  ....  
 H1:  $\mu_{111} \neq \mu_{121}$

Niveles	80	90	100
Y1j1	6,465	7,335	8,200

GLE = 18 y p=3

AES(T)	3,609
CME	0,004
r	2
ALS(T)	0,152

Comparaciones	Promedio	ALS(T)	conclusión	significación
80 vs 90	0,870	0,152	se rechaza Ho	*
80 vs 100	1,735	0,152	se rechaza Ho	*
90 vs 100	0,865	0,152	se rechaza Ho	*

BA(10)C(30)

Ho:  $\mu_{111} = \mu_{121}$  ....  
 H1:  $\mu_{111} \neq \mu_{121}$

Niveles	80	90	100
Y1j2	6,615	10,965	11,210

GLE = 18 y p=3

AES(T)	3,609
CME	0,004
r	2
ALS(T)	0,152

Comparaciones	Promedio	ALS(T)	conclusión	significación
80 vs 90	4,350	0,152	se rechaza Ho	*
80 vs 100	4,595	0,152	se rechaza Ho	*
90 vs 100	0,245	0,152	se rechaza Ho	*

BA(15)C(20)

Ho:  $\mu_{111} = \mu_{121}$ 

....

H1:  $\mu_{111} \neq \mu_{121}$ 

Niveles	80	90	100
Y2j1	6,082	6,820	7,635

GLE = 18 y p=3

AES(T) 3,609

CME 0,004

r 2

ALS(T) 0,152

Comparaciones	Promedio	ALS(T)	conclusión	significación
80 vs 90	0,738	0,152	se rechaza Ho	*
80 vs 100	1,553	0,152	se rechaza Ho	*
90 vs 100	0,815	0,152	se rechaza Ho	*

BA(15)C(30)

Ho:  $\mu_{111} = \mu_{121}$ 

....

H1:  $\mu_{111} \neq \mu_{121}$ 

Niveles	80	90	100
Y2j2	7,020	10,400	10,425

GLE = 18 y p=3

AES(T) 3,609

CME 0,004

r 2

ALS(T) 0,152

Comparaciones	Promedio	ALS(T)	conclusión	significación
80 vs 90	3,380	0,152	se rechaza Ho	*
80 vs 100	3,405	0,152	se rechaza Ho	*
90 vs 100	0,025	0,152	se rechaza Ho	ns

BA(20)C(20)

Ho:  $\mu_{111} = \mu_{121}$  ....  
 H1:  $\mu_{111} \neq \mu_{121}$

Niveles	80	90	100
Y3j1	7,160	8,270	9,125

GLE = 18 y p=3

AES(T)	3,609
CME	0,004
r	2
ALS(T)	0,152

Comparaciones	Promedio	ALS(T)	conclusión	significación
80 vs 90	1,110	0,152	se rechaza Ho	*
80 vs 100	1,965	0,152	se rechaza Ho	*
90 vs 100	0,855	0,152	se rechaza Ho	*

BA(20)C(30)

Ho:  $\mu_{111} = \mu_{121}$  ....  
 H1:  $\mu_{111} \neq \mu_{121}$

Niveles	80	90	100
Y3j2	8,715	12,460	12,570

GLE = 18 y p=3

AES(T)	3,609
CME	0,004
r	2
ALS(T)	0,152

Comparaciones	Promedio	ALS(T)	conclusión	significación
80 vs 90	3,745	0,152	se rechaza Ho	*
80 vs 100	3,855	0,152	se rechaza Ho	*
90 vs 100	0,110	0,152	se rechaza Ho	n.s

Anexo 6. Análisis sensorial para la determinación de la preferencia de los tratamientos

Anexo 6.1 Ficha de evaluación de preferencia pareada (para determinar que tratamiento es el más aceptado)

Nombre _____ Fecha _____
Producto : Puré de yacón
Pruebe por favor las dos muestras de puré de yacón que tiene ante usted. Primero pruebe la muestra N° 3828 y después la 6152.
DIGA USTED CUAL DE LAS DOS PREFIERE
PREFIERO LA MUESTRA _____
Comentarios: _____
_____
Muchas gracias

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6.2 Resultados de la evaluación sensorial de preferencia pareada

JUEZ	MUESTRAS	
	3828	6152
1		X
2	X	
3	X	
4		X
5	X	
6	X	
7		X
8	X	
9	X	
10	X	
11	X	
12	X	
13	X	
14	X	
15		X
16	X	
17		X
18	X	
19	X	
20		X
21	X	
22	X	
23		X
24	X	
25	X	
26	X	
27	X	
28		X
29	X	
30	X	
31		X

Continuación.....

Resultados de la evaluación sensorial de preferencia pareada

JUEZ	MUESTRAS	
	3828	6152
32	X	
33	X	
34		X
35	X	
36	X	
37	X	
38		X
39	X	
40	X	
41	X	
42		X
43	X	
44		X
45	X	
46	X	
47		X
48	X	
49		X
50	X	
TOTAL	35	15

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6.3 Tabla de significancia para pruebas de dos colas

Número de juicios	Pruebas bilaterales* Nivel de probabilidad			Pruebas unilaterales** Nivel de probabilidad		
	5%	1%	0.1%	5%	1%	0.1%
5	-	-	-	5	-	-
6	-	-	-	6	-	-
7	7	-	-	7	7	-
8	8	8	-	7	8	-
9	8	9	-	8	9	-
10	9	10	-	9	10	10
11	10	11	11	9	10	11
12	10	11	12	10	11	12
13	11	12	13	10	12	13
14	12	13	14	11	12	13
15	12	13	14	12	13	14
16	13	14	15	12	14	15
17	13	15	16	13	14	16
18	14	15	17	13	15	16
19	15	16	17	14	15	17
20	15	17	18	15	16	18
21	16	17	19	15	17	18
22	17	18	19	16	17	19
23	17	19	20	16	18	20
24	18	19	21	17	19	20
25	18	20	21	18	19	21
26	19	20	22	18	20	22
27	20	21	23	19	20	22
28	20	22	23	19	21	23
29	21	22	24	20	22	24
30	21	23	25	20	22	24
31	22	24	25	21	23	25
32	23	24	26	22	24	26
33	23	25	27	22	24	26
34	24	25	27	23	25	27
35	24	26	28	23	25	27
36	25	27	29	24	26	28
37	25	27	29	24	27	29
38	26	28	30	25	27	29
39	27	28	31	26	28	30
40	27	29	31	26	28	31
41	28	30	32	27	29	31
42	28	30	32	27	29	32
43	29	31	33	28	30	32
44	29	31	34	28	31	33
45	30	32	34	29	31	34
46	31	33	35	30	32	34
47	31	33	36	30	32	35
48	32	34	36	31	33	36
49	32	34	37	31	34	36
50	33	35	37	32	34	37
60	39	41	44	37	40	43
70	44	47	50	43	46	49
80	50	52	56	48	51	55

\* Número mínimo de juicios coincidentes necesario para establecer diferencia significativa  
\*\* Número mínimo de respuestas correctas necesario para establecer diferencia significativa

Fuente: Roessier y col. citado por Anzaldúa, (1994).



## ANEXO 7. Métodos de análisis fisicoquímicos

### 7.1 ANÁLISIS DE LA HUMEDAD Y MATERIA SECA

#### Método de secado con calor seco

La determinación de secado en estufa se basa en la pérdida de peso de la muestra por vaporación del agua. Para esto se requiere que la muestra sea térmicamente estable y que no contenga una cantidad significativa de compuestos volátiles. Se somete la muestra al secado en condiciones normalizadas de presión y temperatura, hasta peso constante.

#### Materiales:

- Placas petri
- Estufa regulado a 102 – 103 °C
- Balanza de precisión 0,001g
- Espátula para pesar

#### Metodología:

Pesar una placa petri vacía, agregarle 5g de producto, colocarlo en una estufa a temperatura regulada (102 – 103 °C), hasta obtener un peso constante. Este procedimiento se debe hacer por triplicado, y para cada tratamiento.

Por la diferencia de peso se obtiene la humedad de la muestra y luego se lleva a porcentaje.

Determinar el porcentaje de:

$$\% \text{ Humedad} = W_2 / W_1 \times 100$$

$$\% \text{ Materia seca} = 100\% - \% \text{ Humedad}$$

$$\% \text{ Materia seca} = W_3 / W_1 \times 100$$

Donde:  $W_2$  = pérdida de peso (g)

$W_1$  = peso de la muestra (g)

$W_3$  = peso de la muestra seca (g)

## 7.2 DETERMINACIÓN DE CENIZAS

El método más generalizado para esta determinación, se basa en el proceso de calcinación de la materia orgánica por calentamiento a temperaturas elevadas, hasta llegar a un peso constante.

Cuando los alimentos y productos alimenticios se calientan a temperaturas elevadas 500 a 600°C, el agua y otros componentes volátiles se evaporan y los constituyentes orgánicos son incinerados en presencia de oxígeno del aire dando como dióxido de carbono y óxido de nitrógeno y así eliminados conjuntamente con el hidrógeno del agua.

Los componentes azufrados y fosforados son convertidos en sus respectivos óxidos y si es que los elementos alcalinos no están presentes en suficiente cantidad se perderán por volatilización.

Los constituyentes minerales permanecerán en los residuos con óxidos, sulfatos, fosfatos, silicatos y cloratos, dependiendo de las condiciones en que se realizó la incineración.

Los minerales trazas ligados a sistemas biológicos activos por incineración son convertidos en componentes inorgánicos.

Los residuos inorgánicos de la ceniza están constituidos por K, Na, Ca, Mg, los cuales están presente en grandes cantidades, así como también en pequeñas cantidades como del Al, Fe, Cu, Mn y Zn; y otros elementos presentes en trazas como el As, I, Fe y otros.

El residuo se corresponde con el contenido de minerales, el residuo de la calcinación soluble en ácidos equivale aproximadamente al contenido en arena, arcilla.

Materiales y métodos:

- Crisoles de platino o de cuarzo para mufla.
- Mufla regulada a 500 – 550 °C.
- Balanza de precisión 0,001
- Bagueta de vidrio
- Papel filtro libre de ceniza

Metodología:

Pesar un crisol vacío, agregarle 5g de producto seco (muestras de prueba de humedad), colocarlos en una mufla a temperatura regulada (500 – 550 °C), hasta obtener un peso constante. Este procedimiento se debe efectuarse dos veces como mínimo.

Por la diferencia de peso se obtiene la ceniza de la muestra y luego se lleva a porcentaje.

Cálculos:

$$\%Czs_{MF} = ((T + Czs) - T / MF) \times 100$$

$$\% \text{Materia Orgánica}_{MF} = \% MS - \% Czs$$

Donde:

T = peso del crisol

MF = materia fresca

Czs = cenizas

### 7.3 DETERMINACIÓN DE MATERIA GRASA

Los lípidos se encuentran ampliamente distribuidos en animales y vegetales, formando parte fundamental de membranas celulares.

En los alimentos principalmente se encuentran en forma de moléculas de triglicéridos (3 ácidos grasos esterificados a una molécula de glicerol), y presentan diferente composición dependiendo de su fuente de obtención. Son un grupo complejo de moléculas que no necesariamente presentan similitud en cuanto a su estructura química.

La característica principal es su insolubilidad en el agua y su alta solubilidad en disolventes no polares, tales como el éter etílico, hexano, benceno, cloroformo y derivados líquidos del petróleo. En el sistema proximal de análisis, las grasas o lípidos se miden como la fracción del alimento que es soluble en un disolvente orgánico.

Materiales:

2 Matraz de extracción (matraz de bola de 250 ml con cuello esmerilado)

1 Probeta de 100 ml

1 Campana desecadora

2 Dedales de celulosa para la extracción

1 Pinza para crisol

350 ml de hexano

1 par guantes desechables

Papel filtro a peso constante

1 Aparato de extracción Soxhlet

1 Estufa de secado (ajustar a 150 °C)

Balanza analítica

Campana de extracción

Metodología:

Preparación de la muestra

Una cantidad previamente homogeneizada, medida o pesada del alimento se somete a una hidrólisis ácida con HCL concentrado, para separar la materia grasa de los hidratos de carbono o proteínas, la que luego es absorbida por la celite.

Pesar en un matraz erlenmeyer de 250 ml entre 2 a 5 gramos de muestra, previamente homogeneizada, adicionar 10 ml de agua y 10 ml de ácido clorhídrico más algunas perlas de ebullición.

Procedimiento:

1. Preparar los matraces de extracción con anticipación, ponerlos a peso constante (pesarlos y colocarlos en la campana de vacío).
2. Pesar en un trozo de papel filtro a peso constante de 3 a 5 g de la muestra seca y molida, enrollar el papel con la muestra y colocarlo en un dedal. Colocar el dedal en una unidad de extracción.
3. Agregar a cada matraz 150 ml de hexano y conectarlo al extractor.
4. Llevar a ebullición y ajustar el calentamiento de tal manera que se obtengan alrededor de 10 reflujos por hora. Permitir la extracción de grasas durante 8 horas como mínimo.
5. Pasado el tiempo de extracción, tras el último reflujo, retirar el dedal con la muestra de la unidad de extracción (llevarlo a la campana de extracción).

6. Evaporar el hexano del matraz por destilación.
7. Completar la evaporación colocando el matraz en la estufa durante media hora para eliminar el hexano completamente.
8. Enfriar el matraz en un desecador y pesar.

$$\text{Extracto etéreo (\%)} = \frac{\text{Peso de matraz con grasa (g)} - \text{Peso del matraz limpio (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100$$

#### 7.4 DETERMINACIÓN DE FIBRA CRUDA

La determinación gravimétrica de la fibra cruda se fundamenta en la pérdida de peso (por eliminación de los carbohidratos solubles por hidrólisis a compuestos simples) que se obtiene después de la incineración del residuo orgánico que queda luego de la digestión con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio en condiciones específicas.

Materiales:

- Balanza analítica, sensibilidad 0,1 mg
- Estufa a  $103 \pm 2$  °C
- Mufla
- Matraz Kitasato con equipo de filtración
- Embudo de porcelana en lugar del embudo de fibra porosa o de Buchner
- Bomba de vacío manual
- Papel filtro Whatman # 41 sin ceniza

-Desecador con deshidratante adecuado (silicagel con indicador u otro)

- Crisoles de porcelana o de sílica

- Espátula de metal

- Matraz Erlenmeyer

- Probetas

Reactivos:

- 200 ml. Solución de ácido sulfúrico 0,255 N (1,25 g de  $H_2SO_4$  / 100 ml), la concentración debe ser chequeada por titulación.

- 200 ml. Solución de hidróxido de sodio 0,313 N (1,25 g de NaOH), la concentración debe ser chequeada por titulación.

- Etanol al 95%.

- Agua destilada

Metodología:

1<sup>ra</sup> Digestión:

Pesar 1 g de muestra en un vaso de 600 ml, hervir durante 30 minutos con 200 ml de  $H_2SO_4$  al 1,25 %.

Luego de 30 minutos de hervido, filtrar y lavar con agua destilada caliente hasta neutralizar la acidez.

2<sup>da</sup> Digestión:

Añadir 200 ml de NaOH 1,25 % y hervido por 30 minutos más (cuidar durante todo este tiempo). Filtrar al vacío con papel filtro sin ceniza, lavando con agua destilada caliente.

Transferir el papel de filtro a una cápsula de cerámica porosa

Luego poner a la estufa por 2 horas y pesar, este peso se llamará (P<sub>1</sub>).

A continuación se coloca la cápsula a la mufla para eliminar la materia orgánica y obtener las cenizas y se pesa nuevamente (P<sub>2</sub>).

La cantidad de muestra que se use depende de la naturaleza de ella; por ejemplo para hortalizas, verduras y frutas 0,1 g, para alimentos concentrados y harinas 0,5 a 1,0 g

Cálculos:

$$\% \text{ fibra cruda} = \frac{P_1 - P_2}{\text{muestra (g)}} \times 100$$

## 7.5 DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS

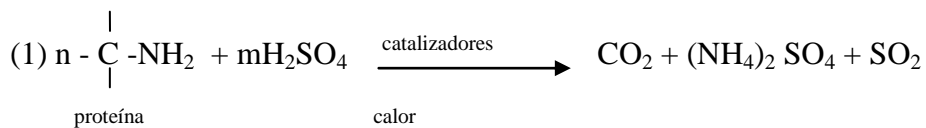
El nitrógeno total se obtiene por destrucción de la materia orgánica debido a la acción del ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en caliente, que se oxida para formar el H<sub>2</sub>O y el CO<sub>2</sub> (bióxido de carbono), el ácido sulfúrico se transforma en SO<sub>2</sub> el cual reduce el material nitrogenado a sulfato de amonio (SO<sub>4</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>).

El sulfato de amonio más hidróxido de sodio (NaOH) libera el amoníaco. La mezcla que contiene el amoníaco se destila y se recibe en una disolución de ácido bórico más indicadores de pH (rojo de metilo y verde de bromocresol).

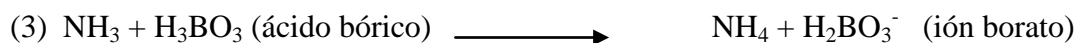
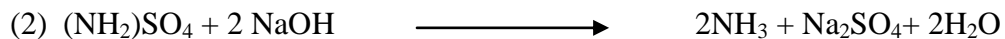
El borato de amonio formado se titula con ácido clorhídrico, de normalidad conocida, para cuantificar la cantidad de nitrógeno obtenido.



## DIGESTIÓN

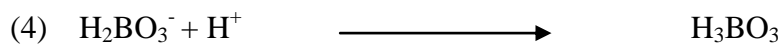


## NEUTRALIZACIÓN Y DESTILACIÓN



## TITULACIÓN

El anión borato (proporcional a la cantidad de nitrógeno) es titulado con HCl estandarizado:



## Materiales y métodos

1 Matraz de digestión Kjeldahl con capacidad de 125 ml

1 Matraz de Erlenmeyer de 10 ml

1 Matraz volumétrico de 100 ml

2 Pinzas (nueces)

1 Soporte universal

1 Pipeta de 5 ml

1 Pipeta de 10 ml

1 Frasco gotero de 25 ml

1 Piceta grande con agua destilada

1 Bureta

1 Par de guantes de asbesto

1 Pinzas largas

1 Embudo de cristal chico o mediano

Equipos:

- Cocina de digestión
- Equipo digestor Kjeldahl
- Equipo destilador Kjeldahl

Reactivos:

- Verde de bromocresol al 0,1 % diluido en alcohol al 95 %
- Rojo de metilo al 0,1 % diluido en alcohol al 95 %
- Ácido bórico al 2 %
- Ácido clorhídrico 0,01N (solución valorada).
- Hidróxido de sodio al 30 %
- Ácido sulfúrico concentrado
- Mezcla catalizadora para la digestión: (2,5 g de dióxido de selenio + 100 g de sulfato de potasio + 20 g de sulfato de cobre pentahidratado) ( sulfato de cobre + sulfato de potasio)

Método o procedimiento:

1) Pesar 1,0 g de muestra, colocar la muestra en el balón de digestión, agregar el catalizador, limpiar el cuello del balón con agua destilada. Agregar 8,3 ml de ácido sulfúrico concentrado, colocar el balón en la cocinilla de digestión. Cuando termina la digestión el color es verde cristalino.

2) Colocar la muestra digerida en el equipo de destilación y agregar 16 ml de hidróxido de sodio concentrado, inmediatamente conectar al equipo de destilación, recibir el destilado en un erlenmeyer con 16 ml de ácido bórico más indicadores de pH.

3) La destilación termina cuando ya no pasa más amoniaco y hay un viraje del indicador. Luego se procede a la titulación con ácido clorhídrico valorado. Anotar el gasto.

Cálculos y resultados

Cantidad de N =  $\frac{(\text{ml de HCl})(\text{normalidad del HCl})(\text{miliequivalente del nitrógeno})(100)}{(\text{gramos de muestra})}$   
en la muestra

Proteína Bruta = (cantidad de N en la muestra) (factor de conversión)

Factor de conversión de algunos productos, vegetales: 6,25

## 7.6 DETERMINACIÓN DE pH Y ACIDEZ TITULABLE

De la acidez titulable:

El método consiste en determinar la acidez por medio de una titulación ácido base con una solución de álcali estandarizado, expresando los resultados de la acidez titulable como el equivalente en masa del ácido predominante en el alimento (cítrico, málico, tartárico, láctico, etc.).

De la determinación del pH:

El término pH puede definirse así:

$$\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]}$$

Un pH 7 representa la neutralidad; un valor inferior a 7 indica solución ácida, y superior a 7, solución alcalina. La escala pH es logarítmica, en una solución de pH 6 hay 10 veces más hidrogeniones que en cuyo pH es 7; y un pH 5 significa que esa relación es de 100 a 1 respecto a la solución de pH 7.

Materiales y métodos

Balanza analítica, sensibilidad 0,1 mg

pH-metro

Espátula de metal

Papel indicador de pH

Papel filtro

Probetas, vasos, pipetas, buretas, fiola y baguetas

Termómetro

Reactivos:

Solución de hidróxido de sodio 0,1 N

Agua destilada

Solución fenolftaleína

1. Determinación con el pH-metro:

Tomar aproximadamente 10 g de muestra, introducir los electrodos en la solución, leer directamente el pH en el equipo.

2. Determinación de acidez titulable total:

Pesar 10 g de la muestra en un erlenmeyer agregar 25 ml de agua destilada.

Agregar de 2 a 3 gotas del indicador fenolftaleína.

En la bureta colocar el hidróxido de sodio 0,1 N

Titular con la solución anterior hasta obtener un color rosado pálido que persista por lo menos 30 segundos.

Los resultados se puede expresar de la siguiente manera:

$$\% \text{ acidez} = \frac{\text{ml (NaOH)} \times 0,1 \text{ N} \times \text{miliequivalente del ácido predominante}}{\text{Peso (gr) o volumen (ml) de la muestra en la alícuota titulada}} \times 100$$

Usar: Miliequivalente ácido cítrico = 0,064

## 7.7 PRUEBA DE LA PEROXIDASA

Reactivos:

- a) Disolución al 0,5 % de guayacol, grado ACS o UPS en etanol del 50 %
- b) Disolución de peróxido d hidrogeno al 0,08 %, 2,8 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> del 30 % por litro.

Consérvese en la nevera en frasco de color topacio, renuévese cada semana.

Método:

Pésese una muestra representativa de 100 a 200 g y tritúrese en el homogenizador, junto con 3 ml de agua por gramo de hortaliza, durante un minuto a una velocidad alta o moderada.

Fíltrese a través de un filtro de leche de algodón.

Añádanse 2 ml del filtrado a 20 ml de agua destilada, en un tubo de ensayo.

Prepárese un blanco añadiendo 2 ml del filtrado a 22 ml de agua destilada en otro tubo de ensayo, agítese y utilícese como control para la comparación del color (a este tubo no se le añade ni guayacol ni peróxido de hidrogeno).

Añádase 1 ml de la solución de guayacol al 0,5 % al primero de los tubos de ensayo, no agitar.

Añádase al mismo tubo 1 ml de peróxido de hidrogeno al 0,08 % también sin agitación.

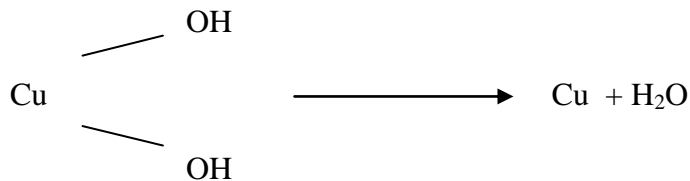
Mézclese ahora todo el contenido invirtiendo el tubo y obsérvese si aparece alguna coloración distinta de la que ofrezca el otro tubo de suficiente intensidad como para mostrar un contraste claro con aquél.

Si tal sucede, el resultado de la prueba es positivo e indica un escaldado inadecuado. Si no aparece un color distinto en 3,5 minutos considérese el resultado de la prueba negativo y el producto como adecuadamente escaldado. Si se desarrolla un color distinto pero tarda más de 3,5 min en aparecer la prueba debe considerarse como de resultado negativo

## 7.8 DETERMINACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES

Muchos azúcares contienen grupos libres o potencialmente libres aldehídos y cetonas que en medio alcalino tienen la capacidad de reducir a ciertos metales tales como cobre, bismuto, fierro, plata, etc. Cuando una solución alcalina de hidróxido de cobre se calienta se convierte en óxido cúprico insoluble de color negro (Reacción I), pero cuando está presente un agente reducción (algunos azúcares) el hidróxido de cobre es reducido a óxido cuproso (cambio en el estado de oxidación del cobre desde la 2+ a 1+) queda un precipitado insoluble de color o amarillo oscuro (Reacción II).

Reacción I: en ausencia de agente reductor

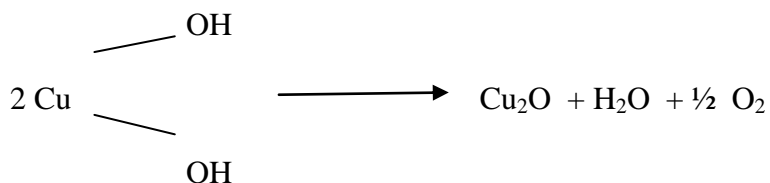


Hidróxido de cobre (azul)

óxido cuproso (rojo o amarillo)

Reacción II: En presencia de un agente reductor (algunos azúcares)

Otros agentes reductores como los fenoles, aminofenoles hidracinos pueden reducir al hidróxido de cobre. En análisis de alimentos el rango de confianza es bastante bueno porque se le usa mucho en la determinación de azúcares reductores.



Hidróxido de cobre (azul)

Oxido Cuproso (rojo o amarillo)

Materiales y Métodos:

Solución de Fehling A: disolver 69,278 g de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) en agua y llevar a un litro.

Solución de Fehling B: disolver 100 g de hidróxido de sodio y 346 g de tartrato de sodio y potasio y llevar a un litro.

Dicromato de potasio  $\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$ , 0,2 N

Sulfato ferroso amoniacal, 0,2 N

Difenil amina sulfato de bario

Papel filtro Whatman N° 40 y N° 1

Erlenmeyer de 125 ml y 300 ml

Embudos

Pipetas volumétricas, 20 ml y 10 ml

Bureta

Preparación de la muestra:

- a) Tomar 20 ml de la muestra (jugos, néctares o similares) ó 15 g en el caso de tubérculos y raíces (previamente molidos) ó 3 g en caso de melazas.
- b) Colocar la muestra en una fiola de 100 ml, enrazar con agua, mezclar y verter a un vaso de 250 ml.
- c) Agregar de 0,5 a 1,0 g de subacetato de plomo y después agitar y filtrar (al vacío o no) utilizando papel Whatman N°1 (lavar el vaso con ácido clorhídrico) y después con agua destilada.
- d) Agregar al filtrado 0,5 g a 1,0 g de carbonato de sodio, agitar y filtrar nuevamente. Repetir el filtrado las veces que sea necesario hasta que el filtrado sea cristalino, quedando la muestra lista para el análisis.

Procedimiento:

- a) Tomar una alícuota de 20 ml en un erlenmeyer de 300 ml (si se sospecha que la muestra contiene altos niveles de azúcares reductores, se puede tomar alícuotas de 1,5, 10 ml y completar con agua destilada a 20 ml).
- b) Agregar 20 ml de solución Fehling A y 20 ml de solución Fehling B. calentar y hervir por 3 minutos (enfriar).



- c) Filtrar con papel Whatman N°40, tomando cuidado para que el precipitado de óxido cuproso  $\text{Cu}_2\text{O}$  (rojo) quede en el erlenmeyer.
- d) Lavar el precipitado que ha quedado en el erlenmeyer con agua destilada en caliente (2 ó 3 veces) y seguir filtrando.
- e) Colocar el embudo sobre el erlenmeyer que contiene el precipitado y adicionar 20 ml de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , 0,2 N (de 5 ml en 5 ml), con el objeto de disolver el precipitado que haya quedado en el filtro. Agitar hasta disolución completa del óxido cuproso.
- f) Lavar el resto del dicromato que queda en el filtro con agua destilada caliente.
- g) Titular el exceso de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  con sulfato ferroso amoniacal, 0,2N, usando como indicador difenilamina (sulfanato) de bario. La titulación termina con la aparición de un color verde cristalino.

Cálculos:

El gasto de sulfato ferroso será equivalente a la cantidad de dicromato en exceso, por tanto, si se lo restamos de 20 ml (cantidad de dicromato adicionada) obtendremos el gasto real que sirvió para oxidar el cobre ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ).

Cada ml de dicromato de potasio 0,2 N gastado equivale a 12,7 mg de Cu

Mililitros de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , 0,2 N, gastado  $\times 12,7 = \text{mg de Cu} \times \text{ml de muestra}$

Hallar la cantidad de miligramos de cobre para 100 ml de muestra y mediante la tabla de KERTEZ, encontrar la cantidad de azúcares reductores correspondientes.