

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA  
DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y LA PRESIÓN EN LA CONCENTRACIÓN  
DEL JARABE DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) SOBRE SU COLOR,  
VISCOSIDAD Y CONTENIDO DE AZÚCARES REDUCTORES.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**AUTORES:**

Br. PAULA ISABEL PORTOCARRERO TRIGOSO

Br. JENITH PUERTA VILLACREZ

**ASESOR:**

Ms. C. ARMSTRONG BARNARD FERNÁNDEZ JERÍ

**CO-ASESOR:**

Ing.. WILSON MANUEL CASTRO SILUPU

**CHACHAPOYAS - PERÚ**

**2012**

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**EFECTO DE LA TEMPERATURA Y LA PRESIÓN EN LA CONCENTRACIÓN  
DEL JARABE DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) SOBRE SU COLOR,  
VISCOSIDAD Y CONTENIDO DE AZÚCARES REDUCTORES**

**Tesis para obtener el Título Profesional de:  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**AUTORES:**

**Br. PAULA ISABEL PORTOCARRERO TRIGOSO**

**Br. JENITH PUERTA VILLACREZ**

**ASESOR:**

**Ms.C. ARMSTRONG BARNARD FERNÁNDEZ JERÍ**

**CO-ASESOR:**

**Ing. WILSON MANUEL CASTRO SILUPU**

**CHACHAPOYAS – PERÚ**

**2012**

## **DEDICATORIA**

Con mucho cariño a mis padres: Eliseo Puerta Muñoz y Enith Villacrez Reyna por su apoyo incondicional, a mis hermanos Jame Genrry, Denis; y en especial a Bradley por quien ruego a Dios que lo tenga en su gloria.

### **JENITH**

A mis queridos padres: **Alfonso** y **María Jesús**, por su apoyo incondicional, por darme las fuerzas necesarias para seguir adelante y lograr todas mis metas.

A mis hermanos: **Jennifer**, **Kelly**, **Amstel** y **Marco**, por ser mi motivación y el impulso que necesito para culminar una etapa en mi vida.

A mi Abuelito **Eduardo Miguel**, por sus sabios consejos y por siempre incentivar me a seguir adelante.

### **PAULA ISABEL**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por ser quien guía nuestros pasos en cada momento de nuestra vida y por habernos dado la oportunidad de realizar y culminar este proyecto.

A nuestros padres por brindarnos su apoyo incondicional y por su confianza depositada en nosotros.

Al Ing. Armstrong Fernández Jeri y al Ing. Wilson Castro Silupu, por guiarnos y brindarnos sus conocimientos y experiencias, durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A todo el personal docente y técnico de los diferentes laboratorios de UNTRM-A, por su apoyo y paciencia durante la ejecución de la presente investigación.

A nuestros amigos y a todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron con la culminación de la presente tesis.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

---

VICENTE MARINO CASTAÑEDA CHÁVEZ Ph.D.,Dr. Hab.

**RECTOR**

---

Mg. ROBERTO NERVI CHACÓN

**VICERRECTOR ACADÉMICO (e)**

---

Dr. MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLÓN

**DECANO (e) DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS**

## VISTO BUENO DEL ASESOR

El docente de la UNTRM – A que suscribe, hace constar que ha asesorado el proyecto y la realización de la tesis titulada EFECTO DE LA TEMPERATURA Y LA PRESIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DEL JARABE DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) SOBRE SU COLOR, VISCOSIDAD Y CONTENIDO DE AZÚCARES REDUCTORES, presentado por los bachilleres Paula Isabel, Portocarrero Trigoso, y Jenith Puerta Villacrez, egresados de la facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias UNTRM – A dando el visto bueno a la presente tesis.

Se expide la presente, a solicitud de los interesados, para los fines que se estimen convenientes.

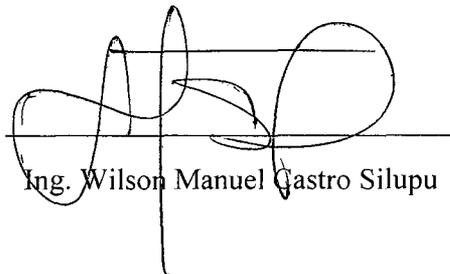


Ms.C. Armstrong Barnard Fernández Jerí

### VISTO BUENO DEL CO-ASESOR

El docente de la UNTRM – A que suscribe, hace constar que ha co-asesorado el proyecto y la realización de la tesis titulada EFECTO DE LA TEMPERATURA Y LA PRESIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DEL JARABE DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) SOBRE SU COLOR, VISCOSIDAD Y CONTENIDO DE AZÚCARES REDUCTORES, presentado por los bachilleres Paula Isabel, Portocarrero Trigoño, y Jenith Puerta Villacrez, egresados de la facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias UNTRM – A dando el visto bueno a la presente tesis.

Se expide la presente, a solicitud de los interesados, para los fines que se estimen convenientes.



Ing. Wilson Manuel Castro Silupu

**JURADO EVALUADOR**



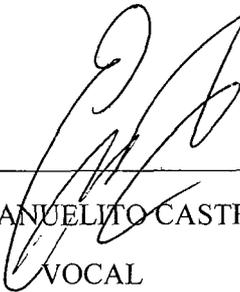
---

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN  
PRESIDENTE



---

Ing. ERICK ALDO AUQUÍÑIVIN SILVA  
SECRETARIO



---

Ing. EFRAÍN MANUELITO CASTRO ALAYO  
VOCAL

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD	iii
VISTO BUENO DEL ASESOR	iv
VISTO BUENO DEL CO – ASESOR	v
JURADO EVALUADOR	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
I. INTRODUCCIÓN -----	01
1.1. Generalidades del yacón ( <i>Smallanthus sonchifolius</i> ) -----	02
1.1.1. Distribución -----	02
1.1.2. Descripción botánica -----	02
1.1.3. Taxonomía -----	04
1.1.4. Descripción del tubérculo -----	04
1.1.5. Composición química -----	05
1.1.6. Productos derivados -----	05

1.2. Jarabe de yacón -----	07
1.2.1. Composición química del jarabe de yacón -----	07
1.2.2. Contenido calórico del jarabe de yacón -----	08
1.2.3. Usos, formas de consumo y propiedades del jarabe de yacón ----	08
1.2.4. Características que se evalúan en el jarabe de yacón -----	09
1.3. Efecto del proceso en las características del jarabe de yacón -----	12
II. MATERIAL Y MÉTODOS -----	13
2.1. Lugar de ejecución -----	13
2.2. Materia prima -----	13
2.3. Métodos -----	13
2.3.1. Metodología de la concentración de jarabe a presión atmosférica y de vacío -----	13
2.3.2. Obtención de jarabe de yacón a diferentes niveles de temperaturas y presión -----	15
2.3.2.1. Producción de jarabe de yacón -----	16
2.3.3. Evaluación de las características fisicoquímicas del jarabe de yacón -----	19
2.3.3.1. Determinación de azúcares reductores -----	19
2.3.3.2. Determinación de fructooligosacáridos -----	19
2.3.3.3. Determinación de color -----	19
2.3.3.4. Determinación de viscosidad -----	20
2.3.3.5. Determinación de la densidad -----	20
2.3.4. Análisis estadístico -----	20

III. RESULTADOS -----	23
3.1. Características fisicoquímicas del yacón -----	23
3.2. Características fisicoquímicas del jarabe de yacón concentrado a presión de vacío y presión atmosférica -----	24
3.2.1. Contenido de azúcares reductores en el jarabe de yacón -----	24
3.2.2. Contenido de fructooligosacáridos en el jarabe de yacón -----	26
3.2.3. Determinación del color en el jarabe de yacón -----	28
3.2.4. Determinación de la viscosidad en el jarabe de yacón concentrados a presión atmosférica y de vacío-----	30
3.2.5. Determinación de la densidad en el jarabe de yacón -----	31
3.2.6. Comportamiento reológico del jarabe de yacón -----	33
IV. DISCUSIÓN -----	37
V. CONCLUSIONES -----	41
VI. RECOMENDACIONES -----	42
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	43
ANEXOS -----	48

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valor calórico del jarabe de yacón en comparación a productos similares que existen en el mercado -----	8
Tabla 2. Contenido de oligofruktosa en algunos alimentos -----	11
Tabla 3. Métodos para determinar las características fisicoquímicas del yacón --	15
Tabla 4. Métodos para determinar las características fisicoquímicas del extracto de yacón -----	15
Tabla 5. Clave de los diferentes tratamientos -----	22
Tabla 6. Características fisicoquímicas del yacón -----	23
Tabla 7. Características fisicoquímicas del extracto de yacón -----	23
Tabla 8. Características fisicoquímicas del jarabe de yacón -----	24

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Metodología para la concentración del jarabe de yacón -----	14
Figura 2. Flujo de operaciones para la elaboración de jarabe de yacón-----	18
Figura 3. Superficie de respuesta estimada de azúcares reductores -----	26
Figura 4. Superficie de respuesta estimada de fructooligosacáridos -----	28
Figura 5. Superficie de respuesta estimada de color-----	29
Figura 6. Viscosidad del jarabe de yacón concentrado a presión atmosférica en función de la temperatura -----	30
Figura 7. Viscosidad del jarabe de yacón concentrado a presión de vacío en función de la temperatura-----	31
Figura 8. Superficie de respuesta estimada de la densidad-----	32
Figura 9. Viscosidad (cP) del T1 (°Brix = 68) en función de la velocidad de deformación (rpm) -----	33
Figura 10. Viscosidad (cP) del T2 (°Brix = 70) en función de la velocidad de deformación (rpm) -----	34
Figura 11. Viscosidad (cP) del T3 (°Brix = 69) en función de la velocidad de deformación (rpm) -----	34
Figura 12. Viscosidad (cP) del T4 (°Brix = 69) en función de la velocidad de deformación (rpm) -----	35
Figura 13. Viscosidad (cP) del T5 (°Brix = 70) en función de la velocidad de deformación (rpm) -----	36
Figura 14. Viscosidad (cP) del T6 (°Brix = 69) en función de la velocidad de deformación (rpm) -----	36

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1.1. Contenido de azúcares reductores (g/100g) de jarabe de yacón según tratamientos -----	48
Tabla 1.2. Fructooligosacáridos en g de FOS/100g de jarabe de yacón según tratamientos -----	48
Tabla 1.3. Color en UI del jarabe según tratamientos -----	49
Tabla 1.4. Viscosidad a 5 °C del jarabe según tratamientos -----	49
Tabla 1.5. Viscosidad a 10 °C del jarabe según tratamientos -----	50
Tabla 1.6. Viscosidad a 15 °C del jarabe según tratamientos -----	50
Tabla 1.7. Viscosidad a 20 °C del jarabe según tratamientos -----	51
Tabla 1.9. Viscosidad a 40 °C del jarabe según tratamientos -----	51
Tabla 1.10. Densidad en g / mL del jarabe según tratamientos-----	52
<b>ANEXO 2</b>	
Tabla 2.1. Análisis de la varianza para contenido de azúcares reductores -----	53
Tabla 2.2. Contraste múltiple de rangos para contenido de azúcares reductores según presión de concentración -----	53
Tabla 2.3. Análisis de la varianza para contenido de azúcares reductores según temperatura -----	54
Tabla 2.4. Contraste múltiple de rangos para contenido de azúcares reductores según temperatura de concentración -----	54

Tabla 2.5. Análisis de la varianza para contenido de fructooligosacáridos -----	55
Tabla 2.6. Contraste múltiple de rangos para fructooligosacáridos según presión de concentración -----	55
Tabla 2.7. Análisis de la varianza para contenido de fructooligosacáridos según presión -----	56
Tabla 2.8. Contraste múltiple de rangos para contenido de fructooligosacáridos según presión de concentración -----	56
Tabla 2.9. Análisis de la varianza para contenido de fructooligosacáridos según temperatura -----	57
Tabla 2.10. Contraste múltiple de rangos para contenido de fructooligosacáridos según temperatura de concentración -----	57
Tabla 2.11. Análisis de la varianza para el color -----	58
Tabla 2.12. Contraste múltiple de rangos para el color según presión de concentración -----	58
Tabla 2.13. Análisis de la varianza para la viscosidad a 5°C -----	59
Tabla 2.14. Contraste múltiple de rangos para la viscosidad a 5°C según presión de concentración -----	59
Tabla 2.15. Análisis de la varianza para la viscosidad a 10°C -----	60
Tabla 2.16. Contraste múltiple de rangos para la viscosidad a 10°C según presión de concentración -----	60
Tabla 2.17. Análisis de la varianza para la viscosidad a 15°C. -----	61
Tabla 2.18. Contraste múltiple de rangos para la viscosidad a 15°C según presión de concentración -----	61

Tabla 2.19. Análisis de la varianza para la viscosidad a 20°C -----	62
Tabla 2.20. Contraste múltiple de rangos para la viscosidad a 20°C según presión de concentración -----	62
Tabla 2.23. Análisis de la varianza para la viscosidad a 40°C -----	63
Tabla 2.24. Contraste múltiple de rangos para la viscosidad a 40°C según presión de concentración -----	63
Tabla 2.25. Análisis de la Varianza para la densidad -----	64
Tabla 2.26. Contraste múltiple de rangos para la densidad según presión de concentración -----	64
 <b>ANEXO 3: Determinación de las características fisicoquímicas en yacón</b>	
Anexo 3.1. Determinación de la humedad -----	65
Anexo 3.2. Determinación de proteínas -----	65
Anexo 3.3. Determinación de cenizas -----	66
Anexo 3.4. Determinación de grasa -----	67
Anexo 3.5. Determinación de fibra -----	68
 <b>ANEXO 4: Determinación de las características evaluadas en el extracto de yacón</b>	
Anexo 4.1. Determinación de azúcares reductores -----	70
Anexo 4.2. Determinación de fructooligosacáridos -----	71
Anexo 4.3. Determinación de la densidad -----	73
Anexo 4.4. Determinación de sólidos solubles totales (°Brix)-----	73

## **ANEXO 5: Determinación de las características evaluadas en el jarabe de yacón**

Anexo 5.1. Determinación de azúcares reductores -----	74
Anexo 5.2. Determinación de fructooligosacáridos -----	75
Anexo 5.3. Determinación del color -----	77
Tabla 5.1. Color-Método ICUMSA -----	77
Anexo 5.4. Determinación de la viscosidad -----	78
Anexo 5.5. Determinación de la densidad -----	78

## **ANEXO 6**

Anexo 6.1. Balance de materia para la obtención de jarabe de yacón -----	80
--	----

## **ANEXO 7**

Fotografía 1. Yacón -----	81
Fotografía 2. Pelado del yacón-----	81
Fotografía 3. Picado de yacón en rodajas -----	82
Fotografía 4. Escaldado de rodajas de yacón-----	82
Fotografía 5. Obtención del extracto de yacón-----	83
Fotografía 6. Concentración del extracto de yacón en rotavapor -----	83
Fotografía 7. Muestras de jarabe de yacón obtenidos a presión atmosférica -----	84
Fotografía 8. Muestras de jarabe de yacón obtenidos a presión de vacío-----	84
Fotografía 9. Analizador del color-----	85
Fotografía 10. Viscosímetro-----	85
Fotografía 11. Análisis de fructooligosacáridos-----	86

Fotografía12. Pesado de la fiola en una balanza digital para determinar la

densidad----- 86

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de evaluar el efecto de la temperatura y presión en las propiedades fisicoquímicas del jarabe de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” proveniente de la localidad de Shipasbamba - Región Amazonas. La metodología experimental consistió en la recolección de los tubérculos de yacón, obtención del extracto y su concentración a diferentes presiones (atmosférica 67,62 kPa y vacío 17,62 kPa) y temperaturas (80°C, 85°C y 90°C). El diseño experimental empleado fue del tipo factorial 2A x 3B y tres repeticiones, con dieciocho unidades experimentales, bajo un diseño completamente al azar (DCA). El análisis estadístico fue con un nivel de significancia de 5%, y las medias se compararon utilizando el método de Fisher. Los resultados, muestran que la menor cantidad de azúcares reductores alcanzado por el jarabe concentrado a presión atmosférica fue de 14,5 g/100g y 19,2 g/100g a presión de vacío, y 80°C. El menor valor de color que alcanzó el jarabe a presión atmosférico y de vacío fue de 12 282, 4 UI a 80°C y 15 167, 2 UI a 90°C, respectivamente. Los tratamientos (T1 y T4), presentaron mayor estabilidad en cuanto al análisis de su viscosidad a diferentes temperaturas. También se evaluó el contenido de fructooligosacáridos, obteniendo mayor cantidad en el jarabe concentrado a presión de vacío que fue de 42,4g/100g; y la densidad obteniendo un promedio de 1,354 g/mL a presión atmosférica y 1.356 g/mL a presión de vacío, siendo estadísticamente no significativa entre los tratamientos, coincidiendo con otros estudios realizados.

Palabras claves: *Smallanthus sonchifolius*, azúcares reductores, fructooligosacáridos.

## ABSTRACT

This research's work was made with the purpose to evaluate the effect to temperature and strain in the physical-chemical properties of the *Smallanthus sonchifolius* "yacón" syrup belonging to Shipasbamba town, Amazonas Region. The experimental methodology tried in the gathering of yacón tubers, getting of extract and concentration of itself to different strains (atmospheric 67,62kPa and empty 17,62kPa) and temperatures (80 °C, 85 °C and 90 °C). The experimental design employed was the factorial kind 2A × 2B and three repetitions, with eighteen experimental units, based in a design completely at random (DCA). The statistical analysis was with a level of meaning of 5%, and the means were compared using the Fisher method. The results show the less quantity of compact sugars obtained by the syrup concentrated to atmospheric pressure strain was of 14, 5 g/100g and 19, 2 g/100g to empty strain, and 80 °C. The less value of color obtained by the syrup to atmospheric pressure and of empty were 12282,4 UI to 80 °C and 15167,2 UI to 90 °C, respectively. The treatments (T1 and T4), showed a greater stability in base to the analysis of its stickiness to different temperatures. Also we evaluated the contents of fructooligosaccharides, getting the bigger quantity in the concentrated syrup to empty strain was of 42,4 g/100g; and the density obtaining an average of 1,354 g/mL to atmospheric pressure and 1.356 g/mL to empty pressure is statistically being no significant among the treatments coinciding with other studies.

Key words: *Smallanthus sonchifolius*, sugar reducers, fructooligosaccharides.

## I. INTRODUCCIÓN

El yacón es una planta de varias regiones de América, crece en las alturas de los valles interandinos; aunque su cultivo se ha extendido a varios lugares del mundo en altitudes menores. Tradicionalmente se lo encuentra cultivado como planta de borde o dentro de los huertos familiares (Alvares *et al*, 2008). Además de ser rústico y tener altos rendimientos (30 TM/ha en promedio), está ampliamente distribuido y puede adaptarse fácilmente a ecologías de costa, valles interandinos y selva alta, hasta los 3 200 msnm (Valderrama, 2005). Inicialmente fue clasificado por Poeppig & Endlicher como *Polymnia sonchifolia*. Sin embargo en 1978 H. Robinson reestablece y lo incorpora al género *Smallanthus*, consagrando su nombre botánico como *Smallanthus sonchifolius*, especie de la familia Asteraceae (Alvares *et al*, 2008).

Según Seminario *et al*, (2003) en el Perú el cultivo de yacón se da en el área alto andina de 18 departamentos. Su principal nicho de producción se encuentra en: Amazonas (Utcubamba, Bongará, Chachapoyas); Ancash (Huaraz, Caraz, Yungay); Apurímac; (Andahuaylas, Abancay); Arequipa (Arequipa); Cajamarca (Cajamarca, Contumazá, San Marcos, San Ignacio y Jaén); Cerro de Pasco (Oxapampa); Cusco (Urubamba, Cusco, Colca, Paucartambo, La Convención); Huánuco (Huánuco); La Libertad (Otuzco, Santiago de Chuco, Sánchez Carrión); Lima (Pachacamac y Yauyos); Piura (Ayabaca y Huancabamba) y Puno (Sandia y Carabaya). De todos estos nichos de producción, los que más destacan son Cajamarca, Puno, Cerro de Pasco, Huánuco, Ancash y Junín.

En los últimos años el cultivo de yacón ha dejado de ser marginado para convertirse en una excelente alternativa generando ingresos económicos a los agricultores; esto debido en gran parte a la divulgación de los beneficios nutricionales de los azúcares dietéticos presentes en grandes cantidades en este tubérculo. Estos azúcares, son también conocidos como fructooligosacáridos, oligofructanos u oligofruktosas. Dichos azúcares son cadenas cortas de fructosas, muy solubles en agua, tienen un ligero sabor dulce (poseen entre el 30 y 65% del poder edulcorante de la sacarosa) pero proporcionan tan sólo una cuarta parte del poder calórico de los carbohidratos comunes, por lo que son utilizados como edulcorantes, fibra dietéticos y prebióticos

(Torres, 2004). Por estas razones, se espera que en los próximos años, la industria absorba mayor cantidad de producto fresco: los tubérculo para elaborar miel, jarabe, hojuelas, harina, etc. y las hojas para la elaboración de filtrantes. Este uso no tradicional del yacón ha incrementado notablemente su importancia como cultivo comercial.

## **1.1. Generalidades del yacón (*Smallanthus sonchifolius*)**

### **1.1.1. Distribución**

El habitat natural del yacón es la zona de los Andes comprendida entre los 800 y 2800 msnm, en latitudes tropicales (0-24° S) y regímenes de temperatura característicos de climas templados y subtropicales. Sin embargo, debido a su gran capacidad adaptativa y aparente insensibilidad al fotoperiodo, se cultiva también en muchas otras partes del mundo: Brasil, China, Corea, Estados Unidos, Italia, Japón, Nueva Zelanda, República Checa, Rusia y Taiwán. La prolongada duración del cultivo, superior a 180 días, y su susceptibilidad a heladas, que destruyen las partes aéreas de la planta, limitan su distribución latitudinal y altitudinal (Manrique *et al*, 2005).

En la Región Amazonas actualmente se cultiva 345 ha/año, con un rendimiento de 15 365,89 kg/ha y una producción total de 3 225 TM/año; teniendo como provincias de mayor producción Utcubamba, Bongará y Chachapoyas (Dirección General de Información Agraria – Amazonas, 2011).

### **1.1.2. Descripción botánica**

Es una planta perenne que puede llegar a medir entre 1 a 2,5 m de altura, con pocas o muchas ramas que se pueden encontrar desde la base del tallo o sólo en la parte superior; presenta tallos cilíndricos, algo huecos como cañas y con pilosidad verde o pigmentado de púrpura, su número varía de 4 a 12 según el cultivar.

Presenta hojas grandes, enteras, su borde es por lo general dentado; la lámina tiene forma triangular con la base hastada de 33 cm de largo por 22 cm de ancho (como la punta de una flecha), truncada o acorazonada.

También presentan pilosidad en su superficie. Cada tallo produce de 13 a 16 pares de hojas antes de la floración y, conforme la planta se acerca a la cosecha, las hojas reducen su número y tamaño. Contienen compuestos con propiedades benéficas a la salud humana (Zardini, 1991).

La planta de yacón presenta una inflorescencia que se llama capítulo, el cual está compuesto por dos tipos de flores: las femeninas o liguladas que se ubican alrededor del capítulo, cuya parte más vistosa y coloreada de amarillo intenso o anaranjado pálido es la lígula; presentan pistilo y estambres normales pero genéticamente están incapacitadas para producir semilla viable, y si producen dan lugar a plantas débiles y están en número de 12 a 16 y las masculinas o tubulares que están muy juntas, en mayor número y ocupan el centro del capítulo. Cada flor masculina está formada por un manojito de estambres, producen semillas (tipo aquenio) en poca cantidad y con bajo poder germinativo del 15–25 % (Grau y Rea, 1997).

El fruto es un aquenio, que procede de un ovario ínfero, con más de un carpelo. El pericarpio es delgado y seco a la madurez, externamente presenta estrías longitudinales, que forman surcos paralelos. La semilla se encuentra unida al pericarpio, sólo por el funículo. El aquenio es piramidal con ángulos no muy bien definidos y redondeados, de ápice truncado y base ensanchada. En promedio mide unos 3,7 mm de largo y 2,2 mm de ancho. Cien semillas pesan entre 0,6 a 1,2 gramos (Seminario *et al*, 2003).

### 1.1.3. Taxonomía

Según el Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, su ubicación taxonómica es:

Reino	: Vegetal
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Asterales
Familia	: Asteraceae
Género	: <i>Smallanthus</i>
Especie	: <i>Sonchifolius</i>
Nombre científico	: <i>Smallanthus sonchifolius</i> (Poepp & Endl) H. Robinson

### 1.1.4. Descripción del tubérculo

La forma y el tamaño del tubérculo se parece mucho a ciertos cultivares de camote, a tal punto que la similitud de las dos especies puede generar fácilmente confusiones a primera vista. La forma varía entre esférico a obovado y muy alargados, a menudo con formas contorsionadas que dificultan mucho el pelado e incrementan el costo del procesamiento. La superficie puede ser lisa, con hendiduras longitudinales y constricciones transversales.

Algunos cultivares de yacón tienen tendencia a formar un mayor número de tubérculos lisos y simétricos que otros. Los tubérculos tienen una cáscara bastante delgada y muy adherida a la pulpa. Esta puede tener una tonalidad cremosa, amarilla o anaranjada, a veces con jaspes morados. Los tejidos internos del yacón son muy blandos debido a que acumulan una cantidad bastante alta de agua (alrededor de 90% del peso fresco de los tubérculos), característica que las predispone a sufrir rajaduras o a romperse fácilmente durante la cosecha, el embalaje y el transporte.

El peso del tubérculo es altamente variable, dentro de una misma planta puede diferir entre 50 y 1 000 g, aunque por lo general varía entre 200 y 500 g (Polreich, 2003).

Normalmente una planta produce entre 2 y 3 kg, pero es probable que su rendimiento supere los 5 kg si se aplican prácticas culturales apropiadas, como el uso de fertilizantes, riego adecuado, control de plagas y enfermedades, entre otras. En varios ensayos experimentales se ha conseguido, con cierta frecuencia, rendimientos superiores a los 10 kg por planta (Amaya, 2000).

#### **1.1.5. Composición química**

Entre el 85 al 90% del peso fresco del yacón es agua. A diferencia de la mayoría de los tubérculos comestibles, el yacón no almacena almidón, sino que acumula sus carbohidratos en forma de fructooligosacáridos (FOS) y azúcares libres (sacarosa, fructuosa, y glucosa). La composición relativa de los diferentes azúcares varía significativamente debido a diferentes factores como el cultivar, la época de siembra y cosecha, tiempo y temperatura en poscosecha, entre otros (Seminario *et al*, 2003). Considerando la siguiente composición nutricional en 100 g de tubérculo fresco: FOS 6 a 12 g; proteínas 0,4 a 2,0 g; grasa 0,1 a 0,3 g y fibra 0,3 a 1,7 g (Pinto y Rosales, 2007).

El mineral más abundante es el potasio, en promedio 230 mg/100 g de materia fresca comestible. En mucho menor cantidad se encuentran el calcio, fósforo, magnesio, sodio y hierro (Manrique *et al*, 2005).

#### **1.1.6. Productos derivados**

Existe poca diversidad en las formas actuales de consumo de yacón. Las formas tradicionales es el consumo de forma cruda o como fruta fresca. Recientemente se ha empezado a difundir su consumo en las juguerías de los mercados. También se está difundiendo su consumo en forma de puré.

Hay un interés reciente por diversificar e inventar nuevas formas del consumo de yacón. En la gastronomía novoandina existen ya algunos platos y postres que usan el yacón como ingrediente principal. Simultáneamente, en varias instituciones del país se están desarrollando diferentes productos procesados sobre la base de yacón, como:

**Pasas de yacón:** son resultado de un proceso de deshidratación de los tubérculos al medio ambiente. Las pasas tienen un agradable sabor dulce que pueden consumirse directamente como golosina o usarse en repostería.

**Hojuelas de yacón:** son rodajas de yacón deshidratado en un horno a temperatura controlada. El procedimiento para su elaboración consiste en cortar transversalmente rodajas redondas y extenderlas sobre mallas tipo bandeja, las cuales son colocadas luego dentro de un horno o estufa hasta completar el secado. Las hojuelas pueden ser orientadas hacia el mercado de consumo de bocaditos o snacks.

**Jarabe de yacón de alta fructosa:** se obtiene por la hidrólisis completa de los fructooligosacáridos hasta convertirlos en fructosa y glucosa. La hidrólisis de los FOS puede ser ácida o enzimática. La hidrólisis ácida es más sencilla de manejar, pero genera contaminantes difíciles de eliminar. La tecnología para la hidrólisis enzimática es más sofisticada y costosa de implementar, pero genera menos residuos. El jarabe se emplea como edulcorante en el mercado de las bebidas refrescantes, habiendo sustituido casi totalmente a la sacarosa o azúcar de mesa.

**Té de yacón:** se obtiene mediante el secado de hojas de yacón realizado al medio ambiente siempre y cuando la humedad relativa sea baja, o en hornos secadores, la temperatura adecuada para secar eficientemente las hojas de yacón es de 60°C. El contenido de humedad de las hojas secas debe ser de alrededor de 5% (Seminario *et al*, 2003).

## 1.2. Jarabe de yacón

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

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

Según Manrique *et al*, (2005) menciona que el jarabe de yacón tiene un sabor muy particular y aunque es un producto dulce y bastante agradable, resulta difícil hacer una comparación de sabor con otro producto de características similares. Los resultados preliminares de los paneles de degustación realizados con amas de casa demuestran que la aceptación del jarabe es muy alta. El jarabe de yacón se caracteriza de la siguiente manera:

- Concentración de sólidos solubles totales, igual a  $73 \pm 1^\circ\text{Brix}$
- Densidad, igual a 1,350 g/mL
- pH, entre 4,2 y 5,8

### 1.2.1. Composición química del jarabe de yacón

El jarabe de yacón está compuesto principalmente de carbohidratos (65 a 70%) y agua (alrededor de 25%). Las proteínas representan entre el 1 y 2% del peso fresco, las grasas menos del 0,1% y el potasio el único mineral que se encuentra en cantidades importantes representa alrededor del 1%. Debido a que los FOS son reconocidos como un tipo de fibra soluble (Coussement, 1999), se puede considerar que el porcentaje de fibra es tan alto como el valor final que alcancen los FOS en el jarabe.

Diferentes factores pueden modificar fácilmente la concentración de carbohidratos en la materia prima, por ello la composición relativa de los FOS y de los azúcares simples puede variar mucho en el jarabe de yacón (Manrique *et al*, 2005).

### 1.2.2. Contenido calórico del jarabe de yacón

En términos generales, se considera que el aporte calórico de los carbohidratos en los alimentos es de 4 kcal/g. Sin embargo, los FOS por ser un tipo particular de carbohidratos tienen tan sólo entre 1 y 1,5 kcal/g (Roberfroid, 1999). El problema es que muchos laboratorios no tienen implementado un método específico para cuantificar FOS y distinguirlos del resto de carbohidratos. Esto conlleva a sobreestimaciones en el valor calórico real del jarabe de yacón (Manrique *et al*, 2005).

Tabla 1. Valor calórico del jarabe de yacón en comparación a productos similares que existen en el mercado.

Producto	Grados Brix	Kcal/100g de producto
Jarabe de yacón	73	164-265
Jarabe de maple	66	252
Miel de abejas	82	304

Fuente: Manrique *et al*, 2005.

### 1.2.3. Usos, formas de consumo y propiedades del jarabe de yacón

El jarabe de yacón puede usarse como edulcorante para endulzar diferentes tipos de alimentos como ensaladas de frutas, jugos, bebidas calientes, postres, entre otros. Por tener similitud en cuanto a sabor y consistencia con ciertos edulcorantes que existen en el mercado, como la miel de abejas, la miel de caña (chancaca) y la miel de maple.

Si bien se han realizado pocos estudios científicos sobre las propiedades del yacón, existe abundante literatura científica detallada sobre los efectos de los FOS en la salud (Andersson *et al*, 1999). En base a esas publicaciones podemos enumerar una lista de las potenciales propiedades y atributos del jarabe de yacón:

- a. Debido a su reducida contribución calórica al organismo humano (hasta 40 a 50% menos calorías que la miel de abejas), el consumo de

jarabe de yacón puede ser recomendado a personas que desean bajar de peso y a personas con problemas de sobrepeso y obesidad.

- b. El alto contenido de FOS en el jarabe de yacón asegura una mejor salud del tracto gastrointestinal. Los FOS tienen un efecto bifidogénico, es decir estimulan la proliferación de las bifidobacterias, grupo de bacterias benéficas del colón que han sido asociadas con varios procesos fisiológicos que redundan en una mejor salud del organismo.
- c. Las bacterias formadoras de caries dentales son incapaces de metabolizar los FOS, por ello el consumo de jarabe de yacón en comparación a la mayoría de edulcorantes ayuda a reducir el riesgo de formación de caries en los dientes.
- d. Fisiológicamente los FOS tienen un comportamiento de fibra soluble y además son capaces de generar una respuesta laxante en el organismo, por lo tanto el jarabe de yacón podría ayudar a prevenir y aliviar problemas de estreñimiento.
- e. Algunos estudios científicos han demostrado que el consumo de FOS no eleva el nivel de glucosa en sangre, incluso en personas con diabetes tipo 2 (Alles *et al*, 1999). Sin embargo, debido a que el jarabe contiene también azúcares que elevan fácilmente el nivel de glucosa en sangre, si bien es cierto en proporciones menores a los FOS, es necesario hacer estudios clínicos para determinar las dosis de consumo para personas con diabetes (Manrique *et al*, 2005).

#### **1.2.4. Características que se evalúa en el jarabe de yacón**

##### **1.2.4.1. Densidad**

Es la relación existente entre la masa de un objeto y su volumen, siendo, por tanto, sus unidades  $\text{Kg/m}^3$  o  $\text{g/cm}^3$ . Dado el efecto que la temperatura tiene sobre el volumen, la densidad se ve también afectada por ésta. Sin embargo, en muchas ocasiones para minimizar el efecto de la temperatura se trabaja con la densidad relativa o peso específico, que corresponde a la densidad del producto en relación con la del agua, medidas ambas a la misma

temperatura. En este caso, se trata pues de un parámetro dimensional (Chiralt *et al*, 2007).

#### **1.2.4.2. Viscosidad**

La viscosidad es la propiedad del fluido que define la resistencia al movimiento existente entre las capas internas del fluido.

La viscosidad de un líquido depende fuertemente de la temperatura. Teniendo en cuenta que la temperatura cambia apreciablemente durante muchas operaciones del proceso, es importante obtener valores apropiados de viscosidad dentro del intervalo de temperaturas existentes durante el procesado del producto (Singh y Heldman, 1998).

#### **1.2.4.3. Color**

El color puede definirse como el resultado de la interacción entre tres elementos diferentes: un foco de luz, el objeto iluminado y el observador. Sin embargo, esta percepción del color está afectada por muchos factores y no sólo varía de un observador a otro, sino que varía aún para el mismo observador, en función del entorno, el tipo de luz, factores subjetivos, etc. Por otro lado, es imposible describir el color de tal manera que sea comprensible para otros observadores sin poder asignarle valores numéricos que lo caractericen. Para ello se tiende a la medición totalmente objetiva, que puede lograrse a través de un espectrofotómetro de luz visible, midiendo ya sea la luz transmitida en muestras transparentes o la luz reflejada en muestras opacas (CIE, 1931).

#### **1.2.4.4. Fructooligosacáridos**

Los FOS son azúcares de reserva, donde la característica principal en su estructura química es que están constituidos por una molécula de glucosa ligada a un número variable entre 2 a 10 de moléculas de fructosa. Los enlaces que mantienen unidas las moléculas de fructosa resisten la hidrólisis de las enzimas digestivas humanas y por ello los FOS alcanzan el colon, última porción del intestino grueso, sin sufrir ninguna modificación

química. Esta es la razón por la que los FOS tienen una baja contribución calórica en el organismo humano (25 a 35% de las calorías que poseen la mayoría de carbohidratos), por lo que son utilizados como edulcorantes, fibra dietética y prebióticos (Torres, 2004).

Los fructooligosacáridos, están presentes en diferentes alimentos que se consumen como la lechuga, el ajo, el trigo, las alcachofas o la cebolla. Sin embargo, para la obtención industrial de este producto, se han identificado como la fuente más importante el tubérculo de yacón, la achicoria (*Cichorium intybus*) y el topinambur (*Helianthus tuberosus*), estas últimas también asteraceas (Seminario *et al*, 2003).

Tabla 2. Contenido de oligofruktosa en algunos alimentos

Fuente	Contenido de Oligofruktosa
Yacón	3 a 19 %
Achicoria	5 a 10 %
Cebolla	2 a 6 %
Ajo	3 a 6 %
Lechuga	2 a 5 %
Trigo	1 a 4 %

Fuente: Torres, 2004.

#### 1.2.4.5. Azúcares reductores

Los azúcares que contienen el grupo hemiacetal se llaman azúcares reductores, porque son capaces de reducir diversos agentes oxidantes (Miller, 2003).

Los azúcares reductores están constituidos por el conjunto de los azúcares con función cetónica o aldehídica determinados por su acción reductora sobre la reacción cupro-alcalina (Madrid, 1991).

En el yacón los azúcares reductores se encuentran como fructosa 5 a 15% y glucosa menos del 5%, la variación de estos azúcares se debe a la hidrólisis de FOS, puede llegar a tener enorme importancia para la comercialización del yacón. Aparentemente, la conversión de FOS en azúcares simples tiene lugar inmediatamente después de la cosecha.

### **1.3. Efecto del proceso en las características del jarabe de yacón**

Durante el proceso de concentración de alimentos a diferentes temperaturas, tienen lugar cambios que influyen en la calidad del producto final, color (pardeamiento enzimático y no enzimático), olor, flavor, textura, valor nutricional y vida útil. La rigurosidad de estos cambios depende de la composición del alimento y la temperatura (Chaves y Avanza, 2006).

En cuanto al contenido de azúcares, las altas temperaturas aceleran considerablemente todos los cambios que suceden a los monosacáridos en condiciones tanto ácidas como alcalinas; pero a pH neutro, catalizan las reacciones de caramelización y de oscurecimiento no enzimática. El calentamiento de los azúcares también favorece algunos mecanismos que implican la polimerización y la epimerización de los monosacáridos (Ahuja, 2011).

Los fructooligosacáridos no son afectados al ser sometidos a altas temperaturas, porque son azúcares que comienzan a despolimerizarse (proceso de conversión en azúcares simples) a temperaturas superiores a 120° C (L'homme *et al*, 2003).

El cambio de color se ve influenciado por el pardeamiento enzimático, con la acción de la polifenoloxidasa (PPO) que cataliza la oxidación de compuestos fenólicos para producir pigmentos pardos marrones sobre la superficie de frutas y vegetales durante su procesamiento (Severini *et al*, 2003) y el pardeamiento no enzimático que ocurre a través de diferentes mecanismos, principalmente por reacciones de tipo Maillard entre grupos carbonilos de aminoácidos libres o aminas y azúcares reductores (Chaves y Avanza, 2006).

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en la provincia de Chachapoyas; específicamente en los laboratorios de Ingeniería, Tecnología y Bioquímica de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

### 2.2. Materia prima

Como materia prima de investigación se utilizó “yacón” (*Smallanthus sonchifolius*), obtenido de la localidad de Shipasbamba, Región Amazonas. Para la selección se tomó en cuenta la edad fisiológica de la planta, que pertenezcan a una sola parcela y que sean de la misma cosecha.

### 2.3. Métodos

#### 2.3.1. Metodología de la concentración de jarabe a presión atmosférica y de vacío

##### **Etapa I:**

En esta etapa se determinó las características fisicoquímicas del yacón (% humedad, índice de acidez, sólidos solubles totales, proteínas, fibra, grasa y cenizas) y se obtuvo el extracto de yacón.

##### **Etapa II:**

Se realizó la concentración del extracto de yacón a presión de vacío (17,62 kPa) y presión atmosférica (67,62 kPa) a tres temperaturas: 80°C, 85°C y 90°C.

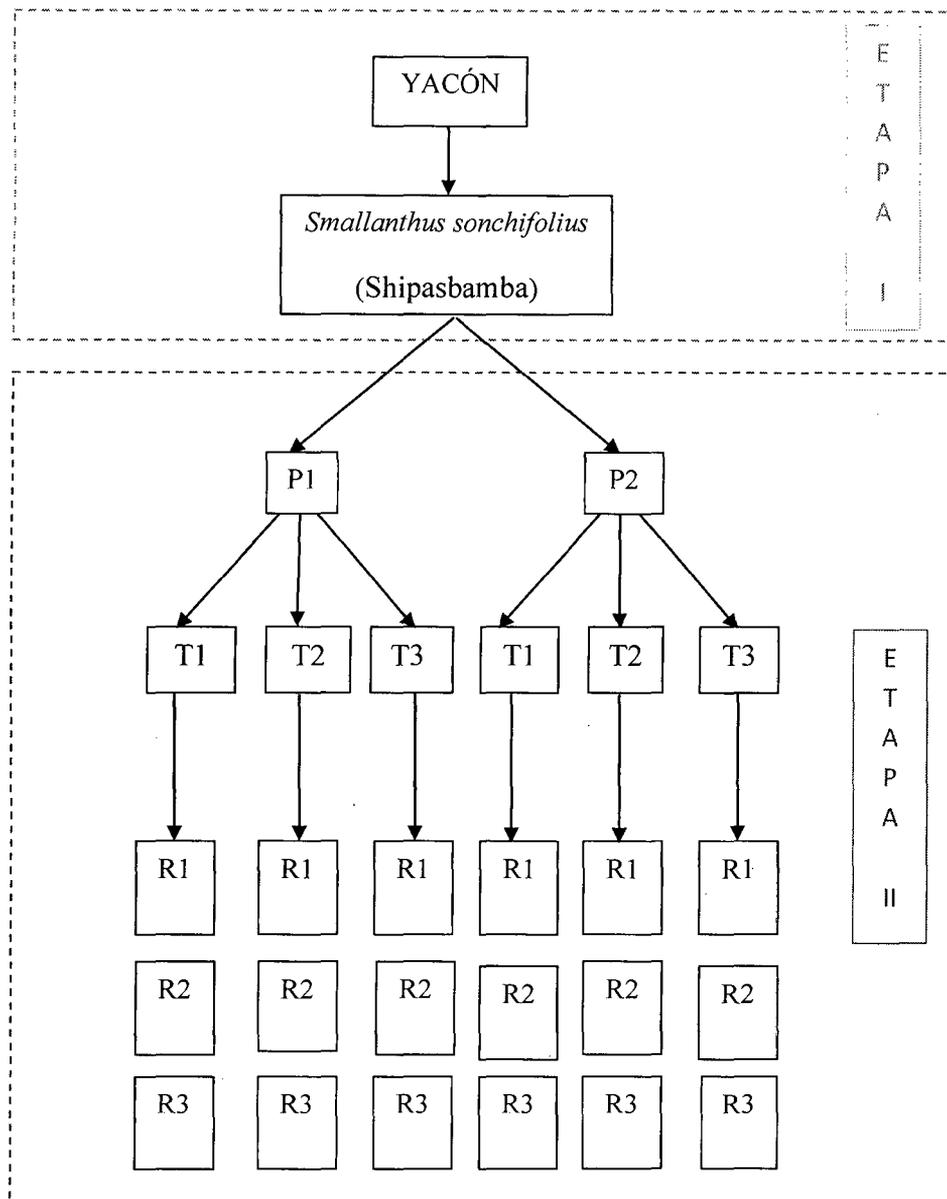


Figura 1. Metodología para la concentración del jarabe de yacón.

**Leyenda:**

**Px:** Presión en la concentración del jarabe de yacón (Vacío y Atmosférica)

**Tx:** Temperatura de concentración del jarabe de yacón (80°C, 85°C, 90°C)

**Rx:** Repetición de los tratamientos

### 2.3.2. Obtención de jarabe de yacón a diferentes niveles de temperatura y presión

Se realizó evaluaciones al yacón y extracto, teniendo en cuenta los siguientes métodos descritos en el Anexo 3 y 4.

Tabla 3. Métodos para determinar las características fisicoquímicas del yacón.

<b>Características</b>	<b>Método analítico</b>
Porcentaje de humedad	Analizador automático de humedad
Proteína	Método de Kjeldahl
Ceniza	Calcinación directa
Grasa	Extracción continua Soxhlet con éter etílico
Fibra	Hidrólisis ácida y básica

Fuente: Manual de prácticas “Análisis de productos agroindustriales”.

Tabla 4. Métodos para determinar las características fisicoquímicas del extracto de yacón.

<b>Características</b>	<b>Método analítico</b>
Azúcares reductores	Lane y Eynon. (manual de química analítica)
Fructooligosacáridos	Colorimétrico (Nielsen, 1998)
Densidad	Hidrometría (manual de prácticas “Análisis de productos agroindustriales)
Sólidos solubles totales (°Brix)	Refractometría (manual de prácticas “Análisis de productos agroindustriales)

Fuente: Elaboración propia

### **2.3.2.1. Producción de jarabe de yacón**

La metodología para la elaboración de jarabe de yacón, se muestra en la Figura 2, cuyas principales etapas se describen a continuación.

#### **a) Clasificación y selección**

Para clasificar y seleccionar los tubérculos se tuvo en cuenta tamaño, forma y apariencia general.

#### **b) Lavado y desinfección**

El lavado se realizó con abundante agua, frotando los tubérculos unos con otros y empleando un abrasivo suave (cepillo o escobilla) que facilitó la remoción de la tierra adherida a la superficie de los tubérculos.

Se desinfectó los tubérculos lavados sumergiéndolos durante cinco minutos en una solución de 200 ppm de hipoclorito de sodio, con el objetivo de disminuir la carga microbiana que permanece adherida a la superficie de las mismas.

#### **c) Pelado**

Los tubérculos se pelaron manualmente utilizando pelador doméstico y cuchillos.

#### **d) Pesado**

Se pesó los tubérculos pelados con la finalidad de determinar el rendimiento del producto final.

#### **e) Troceado**

Con ayuda de un cuchillo los tubérculos se cortaron en pequeños trozos, para facilitar la extracción del jugo.

#### **f) Escaldado**

Se sumergieron los tubérculos en agua hirviendo por 2 a 3 minutos a 80 - 90°C.

**g) Extracción del jugo**

Se realizó utilizando un extractor eléctrico, que trituro los trozos de yacón y permitió una separación inmediata del jugo y del bagazo.

**h) Filtrado**

El jugo se filtró en una malla fina (tocuyo) para eliminar pequeños residuos de bagazo antes que ingrese al evaporador (Rotavapor).

**i) Tratamiento térmico**

El jugo se sometió a una temperatura superior de 80°C con el fin de desactivar las enzimas polifenoloxidasas (la mayoría de enzimas pierden irreversiblemente su actividad a partir de esta temperatura).

**j) Refrigeración**

El jugo se guardó en refrigeración hasta su concentración.

**k) Evaporación y concentrado a presión de vacío**

Se procedió a concentrar el jugo en el Rotavapor a una presión de 17,62 kPa y a temperaturas de 80°C, 85°C y 90°C.

**l) Evaporación y concentrado a presión atmosférica**

Se procedió a concentrar el jugo a presión atmosférica de 67,62 kPa y a temperaturas de 80°C, 85°C y 90°C.

**m) Envasado**

El jarabe de yacón fue envasado en envases de vidrio y almacenados a temperatura de 5°C hasta realizar sus evaluaciones.

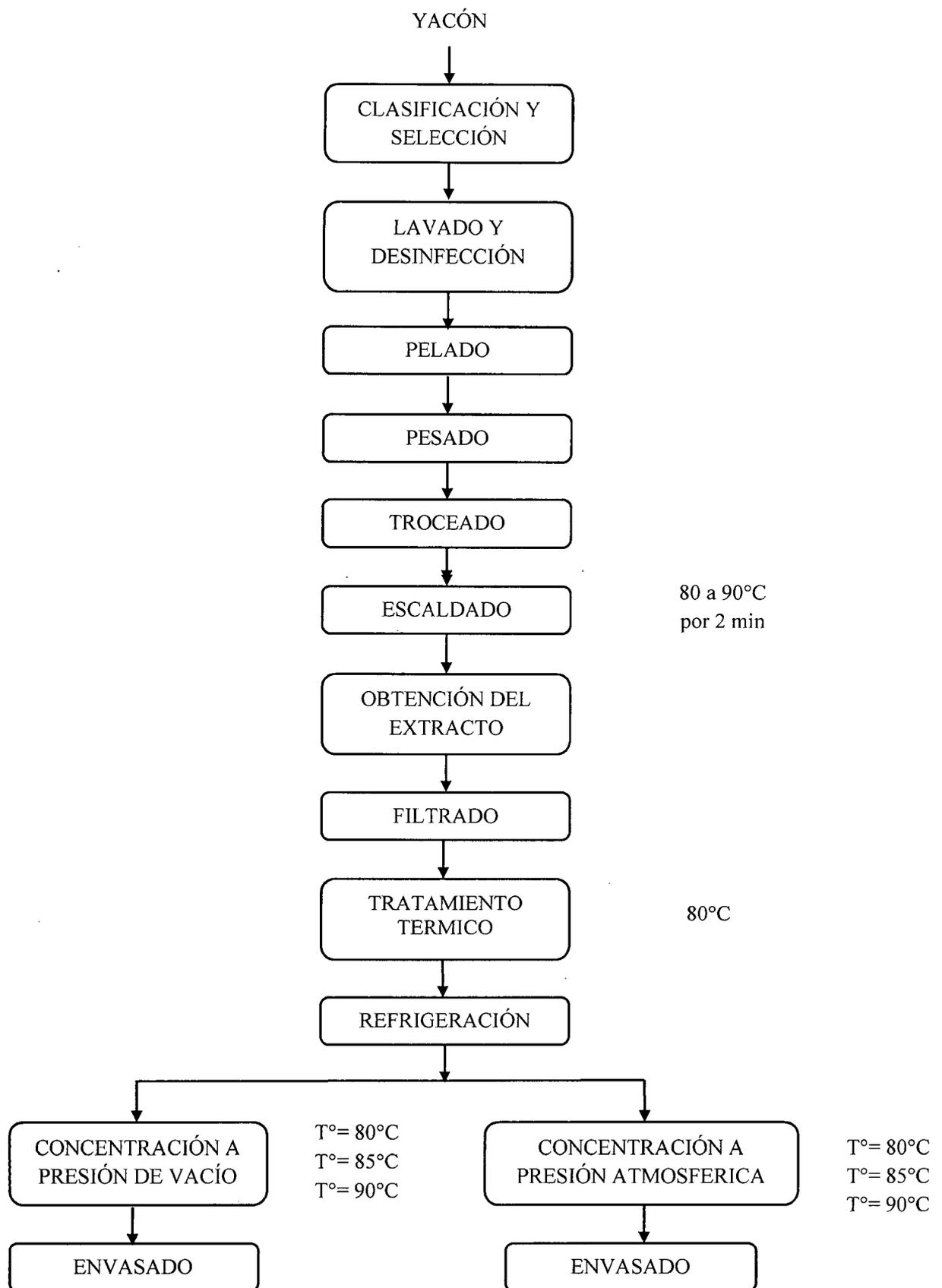


Figura 2. Flujo de operaciones para la elaboración de jarabe de yacón.

### **2.3.3. Evaluación de las características fisicoquímicas del jarabe de yacón**

#### **2.3.3.1. Determinación de azúcares reductores**

Para la determinación de azúcares reductores del jarabe de yacón se empleó el método de Lane y Eynon, el cual se basa en hacer reaccionar sulfato cúprico con azúcar reductor en medio alcalino, formándose óxido cuproso (un precipitado rojo ladrillo). Este método utiliza azul de metileno como indicador, el cual es decolorado una vez que todo el cobre ha sido reducido, lo que indica el fin de la titulación, mostrado en el Anexo 5.1.

#### **2.3.3.2. Determinación de fructooligosacáridos**

Se realizó utilizando el método colorimétrico para microdeterminación de carbohidratos totales.

El contenido total de carbohidratos de medios líquidos, extractos, alimentos líquidos puede ser determinado como azúcares simples, oligosacáridos, polisacáridos y sus derivados; dando un color naranja muy estable cuando reaccionan con fenol y en presencia de ácido sulfúrico concentrado.

Azúcar simple + Fenol + Ácido sulfúrico → Color amarillo naranja

La intensidad del color naranja es proporcional a la cantidad total de carbohidratos presentes. Esta absorbancia puede ser medida a 485 nm y la concentración total de carbohidratos de las soluciones problema puede ser medida con respecto a la curva estándar preparado, mostrado en el Anexo 5.2.

#### **2.3.3.3. Determinación de color**

Se realizó utilizando el método del colorímetro color ICUMSA basado en que la densidad óptica de una solución filtrada de azúcar y mieles es proporcional a la cantidad de materia coloreada

presente, que al ser relacionada permite determinar cuantitativamente el color, mostrado en el Anexo 5.3.

#### **2.3.3.4. Determinación de viscosidad**

Para la determinación de la viscosidad del jarabe de yacón se utilizó un viscosímetro rotatorio (Brookfield RVDVE230). Las muestras fueron colocadas en vasos de precipitación de 400 mL para realizar las lecturas, se tuvo en cuenta diferentes temperaturas (5, 10, 15, 20, 40°C), para los cuales se usaron spindles N° 3,4 y 5 y a una velocidad de rotación de 50 rpm, mostrado en el Anexo 5.4.

#### **2.3.3.5. Determinación de la densidad**

La densidad se determinó siguiendo el método del Picnómetro. El picnómetro es un instrumento sencillo utilizado para determinar con precisión la densidad de líquidos. Su característica principal es la de mantener un volumen fijo al colocar diferentes líquidos en su interior. Esto nos sirve para comparar las densidades de dos líquidos pesando el picnómetro con cada líquido por separado y comparando sus masas. Es usual comparar la densidad de un líquido respecto a la densidad del agua pura a una temperatura determinada, por lo que al dividir la masa de un líquido dentro del picnómetro, respecto de la masa correspondiente de agua, obtendremos la densidad relativa del líquido respecto a la del agua a la temperatura de medición (18°C), mostrado en el Anexo 5.5.

#### **2.3.4. Análisis estadístico**

Para evaluar estadísticamente el contenido de azúcares reductores, fructooligosacáridos, color, viscosidad y densidad del jarabe de yacón, se empleó un experimento factorial 2A X 3B con tres repeticiones bajo un diseño completamente al azar (DCA). Se hizo uso del Software Statgraphics PlusV.3.5 (Statistical Graphics System).

**Factores:**

**A.** Presión

$a_1$ : Presión de vacío (17,62 kPa)

$a_2$ : Presión atmosférica (67,62 kPa)

**B.** Temperatura

$b_1$ :  $T^\circ = 90^\circ\text{C}$

$b_2$ :  $T^\circ = 85^\circ\text{C}$

$b_3$ :  $T^\circ = 80^\circ\text{C}$

El modelo estadístico de este diseño es:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$i = 1, 2$  (Nivel del factor A)

$j = 1, 2, 3$  (Nivel del factor B)

$k = 1, 2, 3$  (Repeticiones)

**Donde:**

$Y_{ijk}$ : Color, viscosidad y contenido de azúcares reductores en el jarabe de yacón experimentado en la  $i$ -ésima presión y en la  $j$ -ésima temperatura, evaluado en el  $k$ -ésimo repetición.

$\mu$ : Efecto de la media general.

$A_i$ : Efecto de la  $i$ -ésima presión.

$B_j$ : Efecto de la  $j$ -ésima temperatura.

$(AB)_{ij}$ : Efecto de la  $i$ -ésima presión y la  $j$ -ésima temperatura

$(\epsilon)_{ijk}$ : Error experimental

Nivel de significancia ( $\alpha$ ) : 5% = 0,05  
Nivel de confianza ( $1-\alpha$ ) : 95% = 0,95

### Descripción de los tratamientos

Tabla 5. Clave de los diferentes tratamientos

CLAVE	TRATAMIENTOS
T1	67,62 kPa presión atmosférica; 80°C de temperatura
T2	67,62 kPa presión atmosférica; 85°C de temperatura
T3	67,62 kPa presión atmosférica; 90°C de temperatura
T4	17,62 kPa presión vacío; 80°C de temperatura
T5	17,62 kPa presión vacío; 85°C de temperatura
T6	17,62 kPa presión vacío; 90°C de temperatura

Fuente: Elaboración propia

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Características fisicoquímicas del yacón

Las características evaluadas se muestran en la Tabla 6, reportando que el yacón presenta un mayor porcentaje de humedad y un menor porcentaje de grasa.

Tabla 6. Características fisicoquímicas del yacón

<b>Características</b>	<b>Yacón</b>
Porcentaje de humedad	85,84 %
Proteína	0,38%
Ceniza	0,371%
Grasa	0,2%
Fibra	0,3%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7. Se muestran las características fisicoquímicas del extracto de yacón, apreciando que presentó mayor cantidad de fructooligosacáridos en comparación con los azúcares reductores.

Tabla 7. Características fisicoquímicas del extracto de yacón

<b>Características</b>	<b>Extracto</b>
Azúcares reductores	7,68 (g/100)
Fructooligosacáridos	8,2447(g/100)
Densidad	1,041 (g/mL)
Sólidos solubles totales (°Brix)	11

Fuente: Elaboración propia

### 3.2. Características fisicoquímicas del jarabe de yacón concentrado a presión de vacío y presión atmosférica

En la Tabla 8. Se presentan los promedios obtenidos del jarabe de yacón concentrado a presión atmosférica y de vacío, con temperaturas de 80, 85, 90°C.

Tabla 8. Características fisicoquímicas del jarabe de yacón

Variable respuesta	Presión atmosférica (67.62 kPa)	Presión de vacío (17.62 kPa)
Azúcares reductores (g/100 g jarabe)	18,456	21,938
Fructooligosacáridos (g/100 g jarabe)	38,979	42,423
Color (UI)	15327,133	15958,755
Densidad (g/mL)	1,354	1,356
Viscosidad del jarabe (cP) a temperatura ambiente	1148,556	1568,221

Fuente: Elaboración propia

#### 3.2.1. Contenido de azúcares reductores en el jarabe de yacón

##### Análisis de varianza

De la Tabla 2.1 (Anexo), el contenido de azúcares reductores fue afectada de forma significativa por la temperatura de concentración, mientras que la presión de concentración no indicó significancia sobre éste, con un nivel de confianza del 95%.

##### Comparación múltiple de rangos según presión

En el método Fisher (LSD) para el contenido de azúcares reductores, en la Tabla 2.2 (Anexo), se aplicó un procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras, reportando que no hay diferencias estadísticamente

significativas entre ningún par de medias a un nivel de confianza del 95%.

#### **Análisis simple para contenido de azúcares reductores a temperatura de concentración**

En el método del test F, para el contenido de azúcares reductores, en la Tabla 2.3 (Anexo), indicó una diferencia estadísticamente significativa puesto que el P-valor es inferior a 0,05 para un nivel de confianza del 95%.

#### **Comparación múltiple de rangos según temperatura**

En el método Fisher (LSD) para el contenido de azúcares reductores, en la Tabla 2.4 (Anexo), se aplicó un procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras, reportando que si hay diferencias estadísticamente significativas entre par de medias a un nivel de confianza del 95%.

#### **Superficie de respuesta**

Coefficiente de regresión para el contenido de azúcares reductores

- Ecuación del modelo ajustado:

$$AR = -52,5068 - 0,009884222 \times A + 0,877867 \times B$$

Donde:

*AR*: Azúcares reductores (g/100g)

*A*: Presión (kPa)

*B*: Temperatura (°C)

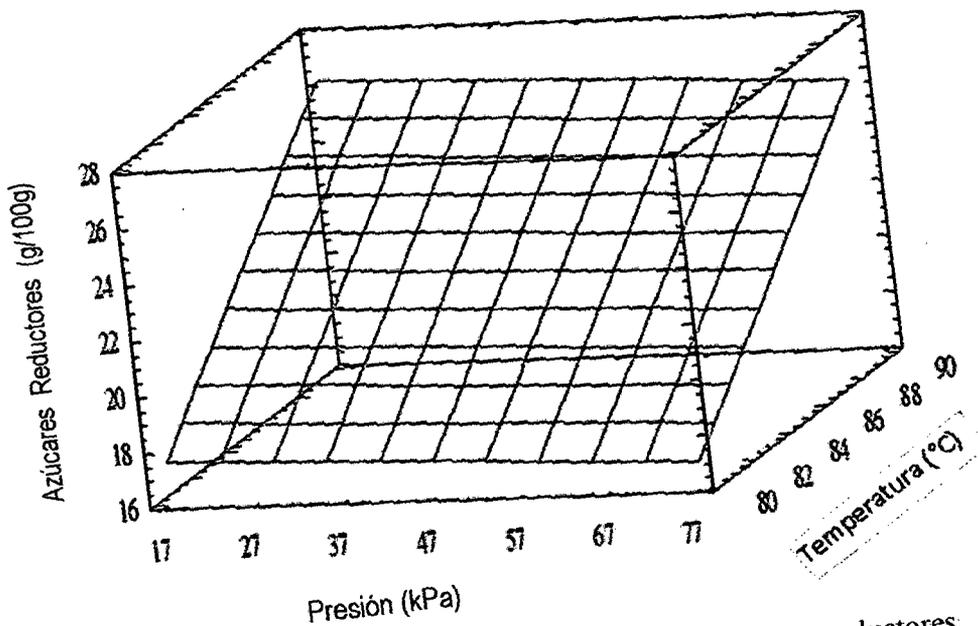


Figura 3. Superficie de respuesta estimada de azúcares reductores  
 Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

### 3.2.2. Contenido de fructooligosacáridos en el jarabe de yacón

#### Análisis de varianza

De la Tabla 2.5 (Anexo), el contenido de fructooligosacáridos de las muestras fue afectado tanto por la temperatura y presión de concentración con 0,05% de significancia.

#### Comparación múltiple de rangos

En el método Fisher (LSD) para contenido de fructooligosacáridos de las muestras, en la Tabla 2.6 (Anexo), el promedio de jarabe de yacón a presión atmosférica fue de 38,9681 (g/100g), el cual presentó significancia con el contenido de fructooligosacáridos a presión de vacío que fue de 42,4226 (g/100g), esto al 95% de confianza.

### **Análisis simple para contenido de fructooligosacáridos según presión de concentración**

En el método del test F, para el contenido de fructooligosacáridos, en la Tabla 2.7 (Anexo), indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa puesto que el P-valor es superior a 0,05, para un nivel de confianza del 95 %.

### **Comparación múltiple de rangos según presión**

En el método Fisher (LSD) para el contenido de fructooligosacáridos, en la Tabla 2.8 (Anexo), se aplicó un procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras, reportando que no hay diferencias estadísticamente significativas entre par de medias a un nivel de confianza del 95%.

### **Análisis simple para contenido de fructooligosacáridos según temperatura de concentración**

En el método del test F, para el contenido de fructooligosacáridos, en la Tabla 2.9 (Anexo), indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa puesto que el P-valor es superior a 0,05 para un nivel de confianza del 95 %.

### **Comparación múltiple de rangos según temperatura**

En el método Fisher (LSD) para el contenido de fructooligosacáridos, en la Tabla 2.10 (Anexo), se observa diferencias estadísticamente significativas entre par de medias a un nivel de confianza del 95%.

### **Superficie de respuesta**

Coefficiente de regresión para el contenido de fructooligosacáridos

– Ecuación del modelo ajustado:

$$FOS = -1,1126 - 0,0690889 \times A + 0,5265 \times B$$

Donde:

*FOS*: Fructooligosacáridos (g/100g)

*A*: Presión (kPa)

*B*: Temperatura (°C)

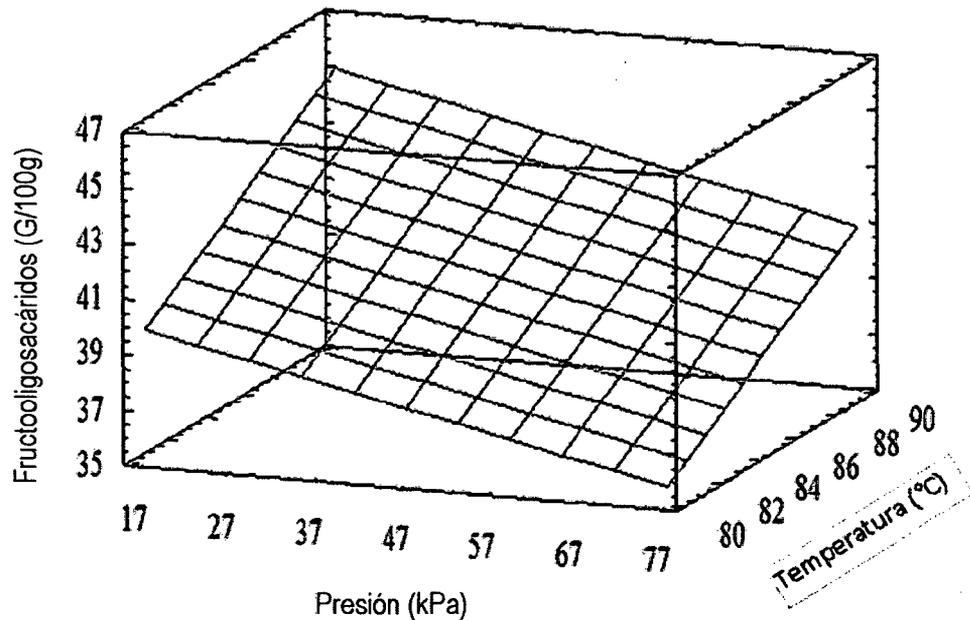


Figura 4. Superficie de respuesta estimada de fructooligosacáridos

Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

### 3.2.3. Determinación del color en el jarabe de yacón

#### Análisis de varianza

De la Tabla 2.11 (Anexo), al 0,05 de significancia, el color no fue afectado por la temperatura y presión de concentración.

#### Comparación múltiple de rangos

El método Fisher (LSD) aplicado para determinar el color, en la Tabla 2.12 (Anexo), reportó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ningún par de medias a un nivel de confianza del 95%.

### Superficie de respuesta

Coefficiente de regresión para color

- Ecuación del modelo ajustado:

$$C = 3832,69 - 12,6329 \times A + 145,278 \times B$$

Donde:

C: Color (UI)

A: Presión (kPa)

B: Temperatura (°C)

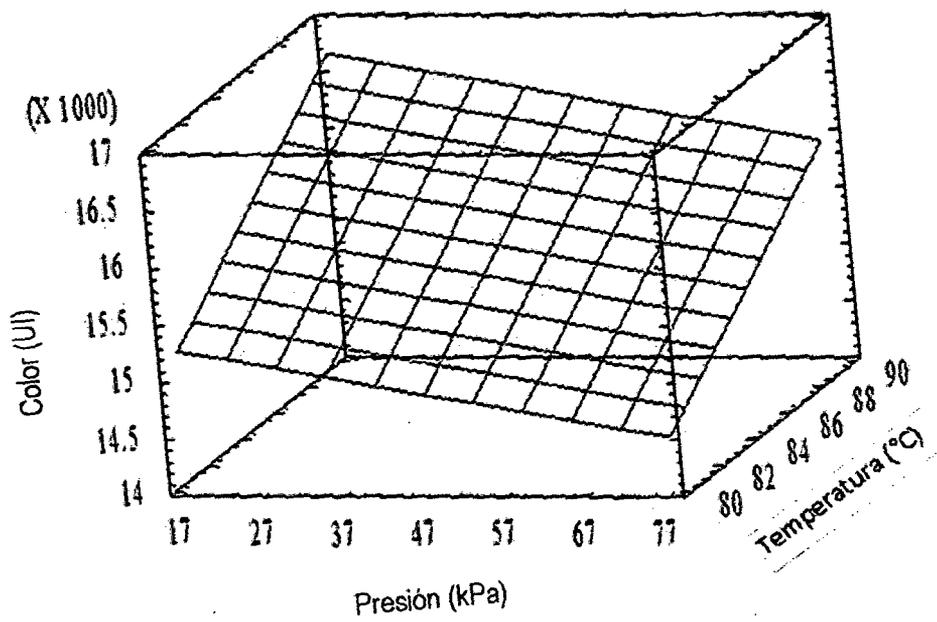


Figura 5. Superficie de respuesta estimada de color

Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

### 3.2.4. Determinación de la viscosidad en el jarabe de yacón concentrados a presión atmosférica y de vacío.

- Viscosidad determinada a diferentes temperaturas (5°C, 10°C, 15°C, 20°C y 40°C).

#### Análisis de varianza

De las Tablas 2.13, 2.15, 2.17, 2.19 y 2.21 (Anexo), la determinación de la viscosidad no fue afectada significativamente por la temperatura y presión de concentración con un nivel de confianza del 95%.

#### Comparación múltiple de rangos

En el método Fisher (LSD) para determinar la viscosidad, en las Tablas 2.14, 2.16, 2.18, 2.20 y 2.22 (Anexo), se aplicó un procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras, reportando que no hay diferencias estadísticamente significativas entre ningún par de medias con una confianza del 95%.

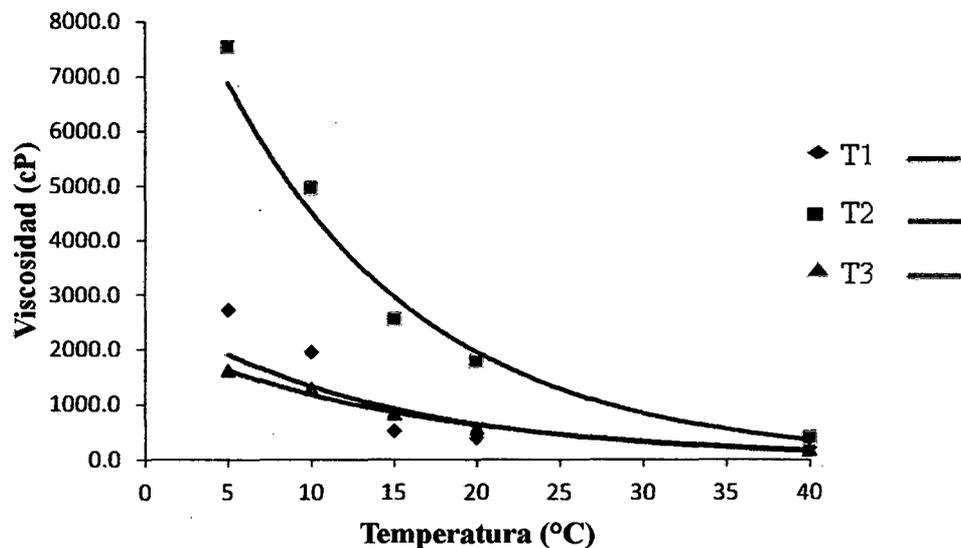


Figura 6. Viscosidad del jarabe de yacón concentrado a presión atmosférica en función a la temperatura.

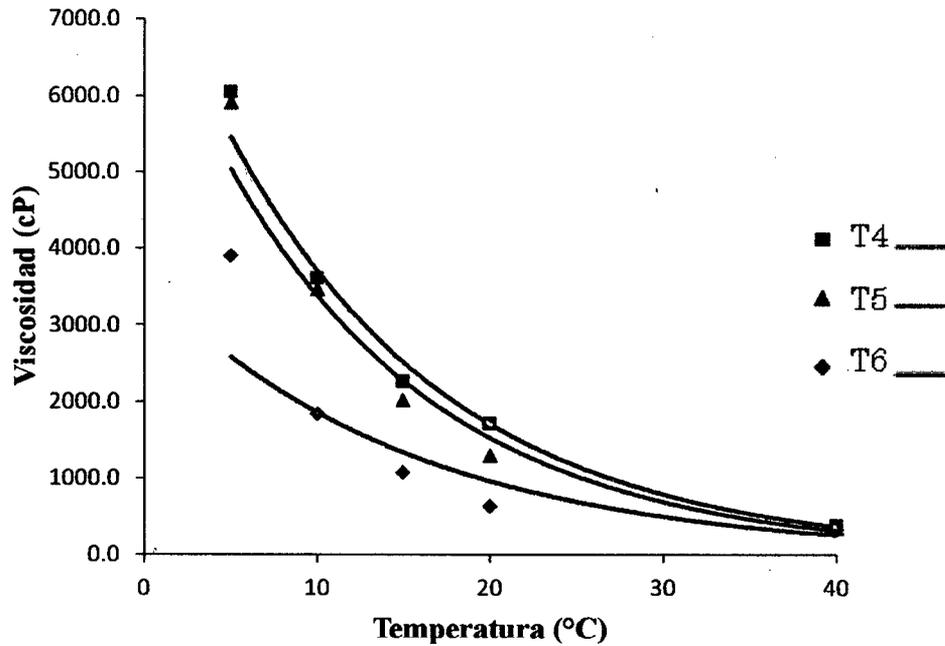


Figura 7. Viscosidad del jarabe de yacón concentrado a presión de vacío en función de la temperatura

### 3.2.5. Determinación de la densidad del jarabe de yacón

#### Análisis de varianza

De la Tabla 2.25 (Anexo), los reportes de densidad no fueron afectados significativamente por la temperatura y presión de concentración con un nivel de confianza del 95%.

#### Comparación múltiple de rangos

En el método Fisher (LSD) para determinar la densidad, en la Tabla 2.26 (Anexos), se aplicó un procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras, presentando una diferencia estadísticamente no significativa entre ningún par de medias a un nivel de confianza del 95%.

### Superficie de respuesta

Coefficiente de regresión para la densidad.

– Ecuación del modelo ajustado:

$$D = 1,97182 - 0,000923111 \times A - 0,00653333 \times B$$

Donde:

*D*: Densidad

*A*: Presión (kPa)

*B*: Temperatura (°C)

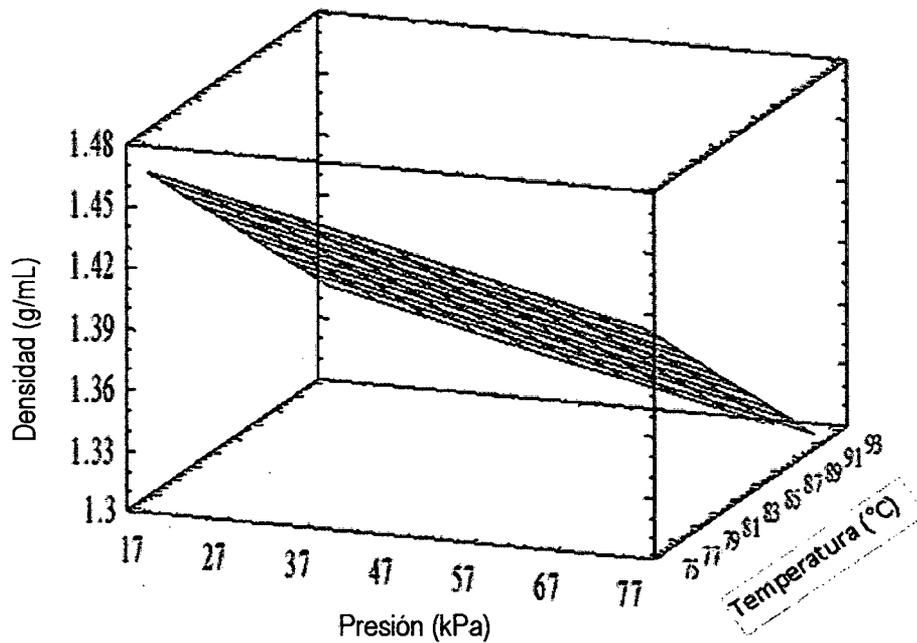


Figura 8. Superficie de respuesta estimada de la densidad

Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

### 3.2.6. Comportamiento reológico del jarabe de yacón

#### Comportamiento reológico del T1, T2, T3 concentrados a presión atmosférica

En las Figuras 9 y 10 se observa el comportamiento reológico que presentaron los tratamientos, tratándose de un fluido dilatante a velocidades menores de 60 y pseudoplástico a velocidades mayores, y en la Figura 11, el T3 se comporta como un fluido dilatante.

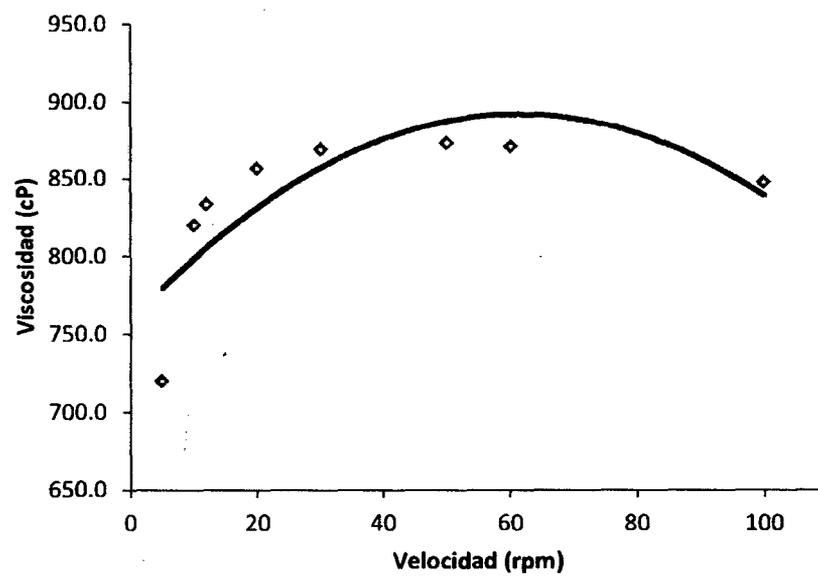


Figura 9. Viscosidad (cP) del T1 ( $^{\circ}$ Brix = 68) en función de la velocidad de deformación (rpm).

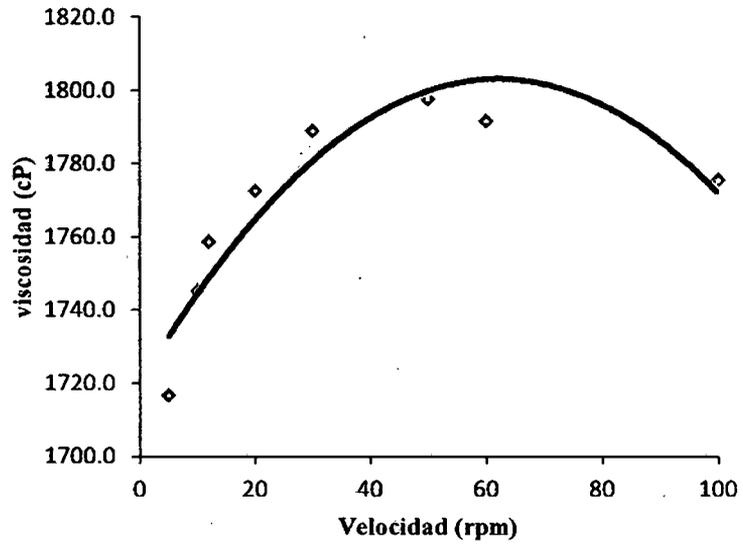


Figura 10. Viscosidad (cP) del T2 (°Brix = 70) en función de la velocidad de deformación (rpm).

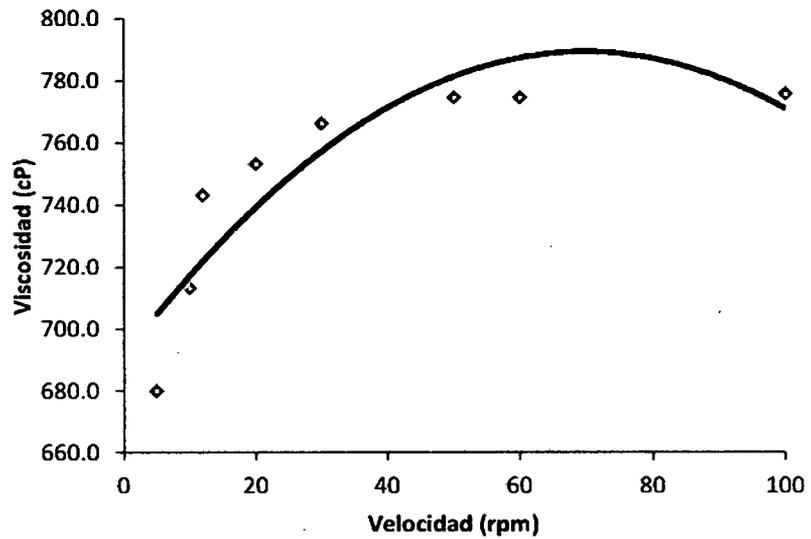


Figura 11. Viscosidad (cP) del T3 (°Brix = 69) en función de la velocidad de deformación (rpm).

### Comportamiento reológico del T4, T5, T6 concentrados a presión de vacío

En las Figuras 12 y 14, los tratamientos tienen un comportamiento reológico de un fluido dilatante. En la Figura 13, el T5 tiene un mayor comportamiento de un fluido pseudoplástico a velocidades mayores a 40 rpm.

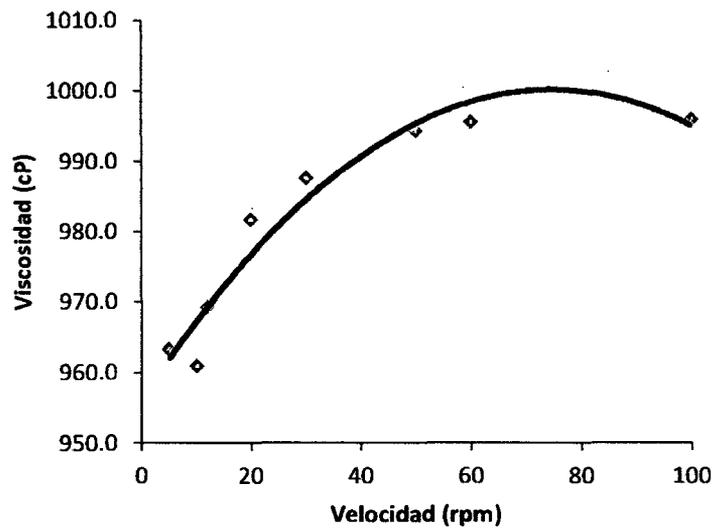


Figura 12. Viscosidad (cP) del T4 (°Brix = 69) en función de la velocidad de deformación (rpm).

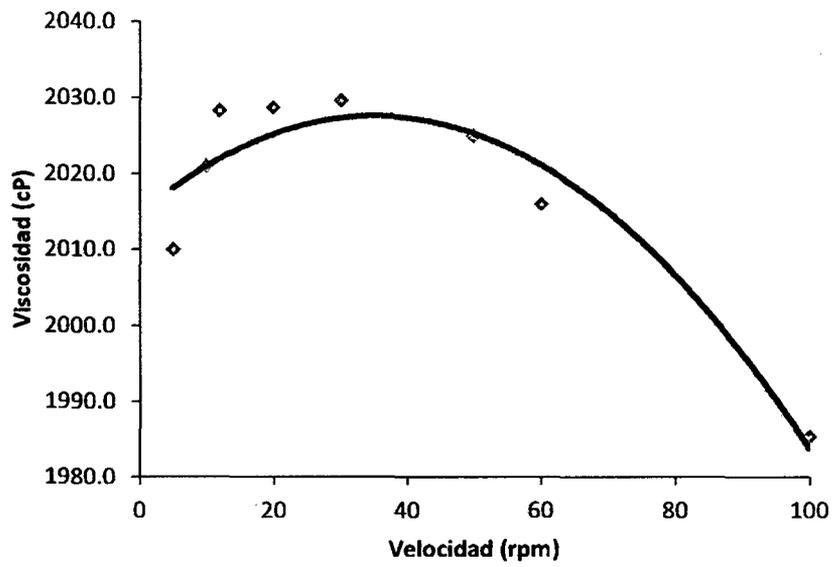


Figura 13. Viscosidad (cP) del T5 (°Brix = 70) en función de la velocidad de deformación (rpm).

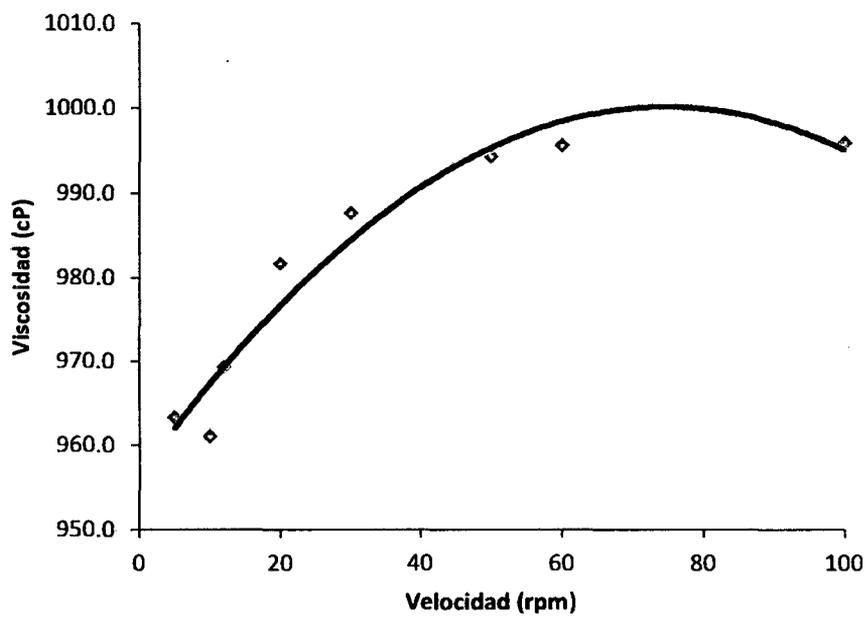


Figura 14. Viscosidad (cP) de T6 (°Brix = 69) en función de la velocidad de deformación (rpm).

#### IV. DISCUSIÓN

Las características fisicoquímicas del yacón que hemos determinado se muestran en la Tabla 6, y fueron cercanos a los obtenidos por Pinto *et al* (2007). Según Maldonado *et al* (2008), el yacón tiene: porcentaje de humedad 94,68; porcentaje de cenizas 0,230; porcentaje de grasas 0,028; porcentaje de proteínas 0,237; resultados también cercanos a los obtenidos en la presente investigación. Además, Muñoz *et al* (2006), considera que las características agronómicas, el tipo de suelo, las condiciones climáticas, ecológicas, el uso o no de fertilizantes y las técnicas aplicadas de cultivo influyen en la producción y en el contenido de nutrientes presentes en el yacón, esto justifica las diferencias en cuanto a cantidad de nutrientes presentes en las muestras.

Según Manrique *et al* (2004), el yacón contiene de 6 – 12 (g/100g) de fructooligosacáridos y 1,5 – 4 (g/100g) de azúcares reductores. En el presente trabajo el contenido de fructooligosacáridos fue 8,245 (g/100g) y azúcares reductores 7,8 (g/100g). En base a lo estudiado por Vilhena *et al* (2003), sobre fructanos en tuberosas de yacón a diferentes edades fisiológicas, y los resultados obtenidos en la presente investigación se considera que el yacón se encontró en el séptimo mes de cultivo.

En la presente investigación los resultados obtenidos sobre el contenido de azúcares reductores aumentan con la temperatura de concentración como se muestra en la Figura 3. Se puede inferir que cuando la sacarosa de una solución se expone a altas temperaturas se hidrolizan formando los azúcares reductores generando un incremento (Honig, 1972), es por ello que el contenido de azúcares reductores fue afectada de forma significativa por la temperatura de concentración más no por la presión como se indica la Tabla 2.1 de Anexos.

El análisis estadístico de los datos experimentales se realizó por medio de un ANOVA, como se observa en la Tabla 2.1 de Anexos; de acuerdo con los valores arrojados ( $P < 0,05$ ) el factor presión, no posee influencia estadística en la variable respuesta, debido a que el valor de P es superior a 0,05; por otro lado, se admite que el factor temperatura, sí tiene una variación significativa en la variable respuesta, es decir, en el contenido de azúcares reductores.

En cuanto al contenido de fructooligosacáridos L'homme *et al* (2003), mencionan que la calidad del jarabe de yacón obtenido por un proceso de ebullición no es inferior a la calidad de otros jarabes obtenidos en equipos más modernos ya que la ebullición del extracto no tiene efecto en la estructura química de los FOS, esto debido a que son azúcares que comienzan a despolimerizarse (proceso de conversión en azúcares simples) a temperaturas superiores a 140°C. Esto no concuerda con lo reportado por Sánchez (1979) quien observó que la solubilidad de los carbohidratos poliméricos tiene una relación directa con la temperatura y con la longitud de la cadena, por lo que a mayor temperatura se obtiene una mayor cantidad de fructooligosacáridos, demostrando de esta manera que a 90°C y una presión de vacío, se obtiene mayor cantidad de fructooligosacáridos, según se muestra en la Tabla 1.2 de Anexos.

El contenido de FOS en promedio fluctuó entre 56,55 y 61,57 g/100g de materia seca, que son valores cercanos con el contenido de FOS reportado por Pinto y Rosales (2007), en miel de yacón que fue de 34,55 y 41,77 g/100g de materia seca, siendo necesario recalcar que el método (colorimétrico) empleado en la presente investigación, no fue el más adecuado por lo que se obtuvo valores aproximados.

Según el Manual de técnicas analíticas; método ICUMSA, determina el color de azúcares y mieles, a través de la absorción y desvío de la luz por una solución azucarada. Cuanto mayor es la absorción - desvío, mayor será la coloración del azúcar y mayor el número que indica su color. De acuerdo a lo mencionado anteriormente, las respuestas del color del jarabe de yacón obtenidas a temperaturas de 80, 85 y 90°C a presión atmosférica y de vacío fueron: 12 282,31 UI; 17 258,235 UI; 16 440,994 UI y 15 167,246 UI; 16 288,716 UI y 16 420,303 UI respectivamente, notándose que existen variaciones entre tratamientos, esto pudo deberse a la influencia de las condiciones de procesamiento, específicamente a reacciones de pardeamiento enzimático y no enzimático (Grigelmo *et al*, 1999), lo cual es recalcado por Takenaka *et al* (2003), al mencionar que en comparación a otras raíces y tubérculos, los tubérculos de yacón tienen una alta cantidad de polifenoles, alrededor de 200 mg/100g de materia fresca comestible. Según Belitz y Grosch (1997), el pardeamiento no enzimático se ve influenciado por la reacción de Maillard, que se lleva a cabo en presencia de azúcares reductores (cetosa o aldosa) y un grupo amino libre.

En la Tabla 2.12 de Anexos, sobre el color se observa el método utilizado para identificar las diferencias significativas de Fisher (LSD), en donde la presión de concentración, no presenta diferencias significativas en las medias obtenidas experimentalmente entre 17,62 kPa (presión de vacío) y 67,62 kPa (presión atmosférica). Se muestra además, que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ningún par de medias a un nivel de confianza del 95,0%.

En las Figuras 6 y 7, se observa que el jarabe de yacón en los diferentes tratamientos mostró viscosidades mayores a temperaturas menores. El comportamiento se debe a lo que mencionan Alvarado y Aguilera (2001), que si la temperatura se incrementa, la viscosidad disminuye. Esto se explica, porque la viscosidad de un fluido depende de las fuerzas intermoleculares que restringen el movimiento; estas fuerzas dependen de los espacios intermoleculares que determinan el volumen libre. Si la temperatura aumenta lo hacen también los espacios intermoleculares, disminuyen las fuerzas intermoleculares y como consecuencia la viscosidad disminuye.

El comportamiento reológico de los tratamientos tanto a presión atmosférica y a vacío mostrados en las Figuras 9 a la 14 indican que se trata de un fluido no Newtoniano (no hay proporcionalidad entre la viscosidad aparente y la velocidad de deformación). Las curvas son las típicas de un fluido dilatante ya que ésta tendencia lo presentan aquellos fluidos que ven aumentada su viscosidad al incrementar la velocidad de cizalla aplicada, causado por reorganizaciones en su microestructura. Sin embargo, si se continúa aumentando el esfuerzo de cizalla, se puede alcanzar un momento a partir del cual se destruyen más interacciones de las que se crean, dando lugar a una pérdida de la estructura presente; por otra parte, se puede producir también un desenmarañamiento y una alineación de las cadenas poliméricas, que produce una mayor separación entre ellas, siendo el resultado neto de ambos efectos un descenso en la viscosidad del fluido (pseudoplasticidad) (Alvarado y Aguilera, 2001), este comportamiento se muestra en las Figuras 9, 10 y 13.

La densidad promedio a 18°C, del jarabe de yacón concentrado a presión atmosférica y de vacío fue de 1,354 y de 1,356 g/mL, respectivamente y están reportados en la Tabla 8. Pinto y Rosales (2007), en su investigación para obtener miel de yacón utilizando un concentrador a presión de vacío y una marmita a presión atmosférica reporta las

siguientes densidades a 20°C 1,3244 y 1,3258 g/mL. Manrique *et al* (2003), en su investigación reporta una densidad a 20°C, igual a 1,350 g/mL a presión atmosférica. Según la Farmacopea Británica (BP) un jarabe debe contener una densidad a 20°C de 1,315-1,333 g/mL (Kirk *et al*, 1996), los resultados obtenidos en la presente investigación son ligeramente mayores debido a la temperatura en que se realizó los análisis y a los sólidos suspendidos en el jarabe que no se retiraron durante el filtrado.

## V. CONCLUSIONES

1. Estadísticamente no existe efecto de las temperaturas y presiones de concentración sobre las características fisicoquímicas del jarabe de yacón, con excepción que si hubo efecto de la temperatura en el contenido de fructooligosacáridos.
2. El contenido de azúcares reductores se ve influenciado por las temperaturas de concentración, obteniendo un menor contenido tanto a presión atmosférica y a vacío a una temperatura de 85°C.
3. Los tratamientos estadísticamente no presentaron diferencias significativas con respecto al color, los valores más bajos reportados fueron a 80°C concentrados tanto a presión atmosférica y de vacío.
4. Las temperaturas de concentración influyen en el contenido de fructooligosacáridos, registrándose mayor cantidad a una presión de vacío y 90°C, siendo probable la obtención de alto contenido de FOS en la producción de jarabe con la transformación de yacón, siendo así más atractivo el producto para su consumo.
5. Los tratamientos T1 (presión atmosférica y 80°C) y T4 (presión de vacío y 80°C) presentaron una mayor estabilidad en su viscosidad al evaluarla a diferentes temperaturas.
6. De acuerdo a las evaluaciones realizadas a las muestras, respecto al comportamiento reológico se trata de fluidos no newtonianos independientes del tiempo del tipo pseudoplástico y dilatante.
7. El tratamiento más adecuado para obtener jarabe de yacón con alto contenido de FOS fue el tratamiento 6 concentrado a presión de vacío y 90°C.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Difundir que el *Smallanthus sonchifolius* “yacón” tiene un alto contenido de fructooligosacáridos.
2. Realizar la selección de materia prima con menor °Brix para obtener un mayor contenido de fructooligosacáridos.
3. Utilizar antioxidantes para evitar el pardeamiento enzimático y poder obtener un mejor color del producto final.
4. En la filtración, usar mallas menores de 150µm de diámetro para disminuir la carga de partículas insolubles en el jugo.
5. Diseñar e implementar un equipo de evaporación y concentración continua para obtener un producto de buena calidad.
6. Promocionar el consumo de jarabe de yacón debido a sus propiedades nutraceuticas que son benéficas para la salud.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahuja Jiménez, Joeric. 2011. Degradación de azúcares por hidrólisis ácida. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. Morelia - Michoacán.
- Alvarado, Juan de Dios. y Aguilera, José Miguel. 2001. Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza – España.
- Alvarez P, Pedro., Jurado T, Bertha., Calixto C, María., Incio V, Nelly. y Silva A, Jesús 2008. Prebiótico Inulina/Oligofructosa en la Raíz del Yacón (*Smallanthus sonchifolius*), Fitoquímica y Estandarización como Base de Estudios Preclínicos y Clínicos. Perú.
- Alles, M. S., Roos, N. M., Bakx, J.C., Van de Lisdonk, E., Zock, P.L. y Hautvast, G.A. 1999. Consumption of fructooligosaccharides does not favorably affect blood glucose and serum lipid concentrations in patients with type 2 diabetes. *American Journal of Clinical Nutrition* 69: 64-69.
- Amaya, J. 2000. Efeitos de doses crescentes de nitrogênio e potássio na produtividade de yacón (*Polymnia sonchifolia* Poep&Endl). Tese do título de Mestre em Agronomia. Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Botucatu, Brasil.
- Andersson, H. B., Ellegard, L. H. y I.G, Bosaeus. 1999. Nondigestibility characteristics of inulin and oligofructose in humans. *Journal of Nutrition* 129: 1428S-1430S.
- AOAC. 2001. International official methods of analysis. 16° edición, quinta revisión 2; Volumen 1: capítulo 4. Página 25-26, capítulo 32 página 1-12.
- Belitz, H. D. y Grosch, W.1997. Química de los Alimentos. Segunda edición. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza - España.

- Castro S, W., Castro A, E. y Auquinivin S, E. Manual de prácticas de análisis de productos agroindustriales. Chachapoyas - Amazonas.
- CIE (1931): Proc. Eighth Session, Cambridge, UK, 19-29.
- Chaves M, G. y Avanza, G. R. 2006. Cambios de color durante el secado de berenjenas. Universidad Nacional del Nordeste.
- Chiralt B, A., Martínez N, N., Gonzáles M, C., Talens O, P. y Moraga b, G. 2007. Propiedades físicas de los alimentos. Editorial de la UPV. España.
- Coussement, P. 1999. Inulin and oligofructose: Safe intakes and legal status. Journal of Nutrition 129: 1412S-1417S. Roberfroid MB. 1999. Caloric Value of Inulin and Oligofructose. Journal of Nutrition 129: 1436S-1437S.
- Dirección General de Información Agraria. 2011. Oficina de estudios económicos estadísticos – Agencia Agraria Amazonas –Perú.
- Graefe, S., Hermann, M., Manrique, I., Golombek, S. y A, Buerkert. 2004. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacón roots in the Peruvian Andes. Field Crops Research 86: 157-165.
- Grau, A. y J, Rea. 1997. Yacón, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp&Endl) H. Robinson. In: Hermann M & J Heller (eds.): Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca and yacón. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 21. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research. Gatersieben / International Plant Genetic Resources Institute. Rome - Italy. Disponible en:  
<http://www.cipotato.org/market/ARTChermann/yacon.pdf>
- Grigelmo Miguel, N. y O, Martín Belloso. 1999. Influence of fruit dietary fibre addition on physical and sensorial properties of strawberry jams. Journal of Food Engineering 41, 13-21.

- Honig, P. 1972. Principios de tecnología azucarera. Editorial Ciencia y Técnica. La Habana.
- Kirk R., Ronal, S. y Harold, E. 1996. Composición y análisis de los alimentos de Pearson. Segunda edición. Editorial Continental, S.A. México.
- L'homme, C., Arbelot, M., Puigserver, A. y A, Biagini. 2003. Kinetics of hydrolysis of fructooligosaccharides in mineral-buffered aqueous solutions: influence of pH and temperature. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(1): 224-228.
- Madrid Vicente, A. 1991. Métodos de análisis comunitarios aplicables en el sector del vino. España.
- Maldonado, S., Luna Pizarro, P., Martínez, V., Villatarco, M. y Singh, J. 2008. Producción y comercialización yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en comunidades rurales del noreste argentino. *Revista Agroalimentaria* N° 26. Argentina.
- Manrique, I., Párraga, A. y Hermann, M. 2005. Jarabe de yacón: Principios y procesamiento. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos. (CIP). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Fundación Erbacher, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Lima - Perú.
- Manrique, I. H. 2004. Yacón Ficha Técnica: Centro Internacional de la Papa CIP. Lima-Perú
- Miller, D. 2003. Química de los alimentos: Manual de laboratorio. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México DF.
- Muñoz, J., Blanco, B., Serván, T. y Alvarado-Ortiz, U. 2006. Evaluación del contenido nutricional del yacón (*Polymnia sonchifolia*) procedente de sus principales zonas de producción nacional. *Revista Horizonte Médico-Volumen* 6, N°2, Diciembre.

- Nielsen, S. 1998. (ed); Food Analysis Second Edition; An Aspen Publication, Gaithersburg, Maryland.
- Pinto, L. y Rosales, Y. 2007. Comparación de dos métodos tecnológicos para la obtención de miel de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) utilizando un concentrador a presión a vacío y una marmita a presión atmosférica. Facultad de Química e Ingeniería Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima - Perú.
- Polreich S. 2003. Establishment of a classification scheme to structure the post-harvest diversity of yacón storage roots *Smallanthus sonchifolius* (Poepp&Endl) H. Robinson. Degree thesis, University of Kassel, Germany.
- Roberfroid M. B. 1999. Caloric Value of Inulin and Oligofructose. Journal of Nutrition 129: 1436S-1437S.
- Sánchez, M.A. 1979. Los agaves de México en la industria alimentaria. Ed. CEESTEM. México. pp. 1-79
- Seminario, J., Valderrama, M. y Manrique, I. 2003. El Yacón: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. (CIP). Universidad Nacional de Cajamarca. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE).Lima - Perú.
- Severini, C., Baiano, A., De Pilli, T., Romaniello, R. y Derossi, A. 2003. Prevention of enzymatic browning in sliced potatoes by blanching in boiling saline solutions. Lebensmann – Wisenthal-Technologies. 36, 657-665.
- Singh, P. R. y Heldman, D. R. 1998. Introducción a la ingeniería de los alimentos. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza -España.
- Takenaka, M., Yan, X., Ono, H., Yoshida., M, Nagata, T. y T Nakanishi. 2003. Caffeic acid derivatives in the roots of yacón (*Smallanthus sonchifolius*). Journal of Agricultural and Food Chemistry 51(3): 793-796.

- Torres, M. 2004. Recuperado el 15 de 12 de 2009, de Edulcorantes Naturales. Investigación de mercados de edulcorantes naturales. Proyecto, Conservación y uso sostenible de la biodiversidad en los Andes. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos. Alexander von Humboldt. Disponible en:  
<http://www.esteviacolombiana.com/Biblioteca/Mercadeo/dos.pdf>
- Valderrama, M. 2005. Manual del cultivo de yacón. PYMAGROS (Convenio COSUDE – MINAG). Cajamarca-Perú.
- Vilhena, S.M.C., Camara, F.L.A. y Piza, I.M.T. 2003. Content of fructans in tuberous roots of yacón (*Polymnia sonchifolia*). Ciencia y Tecnología Alimentaria 4(1): 35-40.). Lima-Perú.
- Yan X, Suzuki M, Ohnishi-Kameyama M, Sada Y, Nakanishi T. y T Nagata. 1999. Extraction and identification of antioxidants in the root of yacón (*Smallanthus sonchifolius*). Journal of Agricultural and Food Chemistry 47: 4711-4713.
- Zardini, E. 1991: Ethnobotanical notes on "Yacón" *Polymnia sonchifolia* (Asteraceae). Economic botanic. 45 (1): 72 – 85.

## ANEXO 1

Tabla 1.1. Contenido de azúcares reductores (g/100g) del jarabe de yacón según tratamientos.

Presión	Temperatura	R1	R2	R3
P1 (atmosférica)	T1 (80 °C)	14.662	14.071	14.818
	T2 (85 °C)	17.162	19.417	22.729
	T3(90°C)	30.200	33.047	26.911
P2 (vacío)	T1 (80°C)	22.810	19.671	15.206
	T2 (85 °C)	22.680	19.434	14.833
	T3 (90 °C)	29.485	29.223	24.104

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.2. Fructooligosacáridos en g de FOS / 100g de jarabe de yacón según tratamientos.

Presión	Temperatura	R1	R2	R3
P1 (atmosférica)	T1 (80°C)	37.491	34.685	40.677
	T2 (85 °C)	41.843	38.361	32.999
	T3 (90 °C)	42.120	38.217	44.414
P2 (vacío)	T1 (80°C)	35.825	37.773	44.928
	T2 (85 °C)	40.467	43.315	41.171
	T3 (90 °C)	46.081	47.599	44.644

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.3. Color en UI del jarabe de según tratamientos.

Presión	Temperatura	R1	R2	R3
P1 (atmosférica)	T1 (80 °C)	11868.672	14026.432	10952.010
	T2 (85 °C)	17330.584	17212.869	17230.842
	T3 (90°C)	15974.835	15414.562	17933.584
P2 (vacío)	T1 (80°C)	17217.111	16885.707	15158.091
	T2 (85 °C)	16579.280	14900.246	17386.623
	T3 (90 °C)	14822.706	14891.685	15787.347

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.4. Viscosidad a 5 °C del jarabe según tratamientos.

Presión	Temperatura	R1	R2	R3
P1 (atmosférica)	T1 (80°C)	1976.000	1453.333	1410.667
	T2 (85 °C)	6433.333	4400.000	11753.333
	T3 (90 °C)	21177.333	3138.667	2850.667
P2 (vacío)	T1 (80°C)	3965.333	5296.000	8880.000
	T2 (85 °C)	6650.667	5314.667	5778.667
	T3 (90 °C)	4109.333	3066.667	4533.333

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.5. Viscosidad a 10 °C del jarabe según tratamientos.

Presión	Temperatura	R1	R2	R3
P1 (atmosférica)	T1 (80°C)	1258.667	1553.333	1032.000
	T2 (85 °C)	4442.667	2608.000	7806.667
	T3 (90 °C)	1629.333	2184.000	2053.333
P2 (vacío)	T1 (80°C)	2448.000	2664.000	5720.000
	T2 (85 °C)	3432.000	3650.667	3333.333
	T3 (90 °C)	1901.333	1802.667	1808.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.6. Viscosidad a 15 °C del jarabe según tratamientos.

Presión	Temperatura	R1	R2	R3
P1 (atmosférica)	T1 (80°C)	752.000	1116.000	660.000
	T2 (85 °C)	2218.667	1418.667	4000.000
	T3 (90 °C)	633.333	471.333	627.333
P2 (vacío)	T1 (80°C)	1017.333	1820.000	3038.667
	T2 (85 °C)	2050.667	2094.667	1918.667
	T3 (90 °C)	1156.6667	1105.333	949.333

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.7. Viscosidad a 20 °C del jarabe según tratamientos.

Presión	Temperatura	R1	R2	R3
P1 (atmosférica)	T1 (80°C)	537.333	672.000	497.333
	T2 (85 °C)	1954.667	761.333	2597.333
	T3 (90 °C)	425.333	312.667	428.667
P2 (vacío)	T1 (80°C)	808.000	1677.000	2644.000
	T2 (85 °C)	1189.333	1401.333	1294.667
	T3 (90 °C)	542.667	702.667	654.667

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.9. Viscosidad a 40 °C del jarabe según tratamientos.

Presión	Temperatura	R1	R2	R3
P1 (atmosférica)	T1 (80°C)	192.000	194.333	160.667
	T2 (85 °C)	456.267	229.867	488.800
	T3 (90 °C)	219.067	203.733	199.733
P2 (vacío)	T1 (80°C)	272.533	277.600	576.533
	T2 (85 °C)	345.067	340.533	352.267
	T3 (90 °C)	552.533	189.333	244.800

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.10. Densidad en g / mL del jarabe según tratamientos.

Presión	Temperatura	R1	R2	R3
P1 (atmosférica)	T1 (80 °C)	1.364	1.354	1.350
	T2 (85 °C)	1.371	1.373	1.354
	T3 (90°C)	1.325	1.345	1.351
P2 (vacío)	T1 (80°C)	1.354	1.356	1.314
	T2 (85 °C)	1.357	1.363	1.383
	T3 (90 °C)	1.357	1.372	1.348

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 2

Tabla 2.1. Análisis de la varianza para contenido de azúcares reductores.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Coefficiente - F	P - Valor	Sig.
Efectos principales						
A: Presión	1.08978	1	1.08978	0.04	0.8470	
B: Temperatura	237.853	2	118.927	4.22	0.0369	*
RESIDUOS	394.929	14	28.2092			
TOTAL (CORREGIDO)	633.872	17				

\* indica una diferencia significativa  
Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.2. Contraste múltiple de rangos para contenido de azúcares reductores según presión de concentración.

Método : 95 % LSD				
Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
67.62	9	21.4463	1.77041	X
17.62	9	21.9384	1.77041	X
Contraste		Diferencias		+/- Límites
17.62 - 67.62		0.492111		5.37

\*indica una diferencia significativa  
Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.3. Análisis de la varianza para contenido de azúcares reductores según temperatura.

Fuente	Suma de cuadrados	de GL	Cuadrado medio	Coefficiente - F	P - Valor	Sig.
Entre grupos	237.853	2	118.927	4.50	0.0294	*
Intra grupos	396.019	15	26.4013			
TOTAL	633.872	17				

\*indica una diferencia significativa  
Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.4. Contraste múltiple de rangos para contenido de azúcares reductores según temperatura de concentración.

Método: 95% LSD			
Temperatura	Frecuencia	Media	Grupos Homogéneos
80	6	16.873	X
85	6	22.5525	XX
90	6	25.6517	X
Contraste	Diferencias	+/- Límites	
80 – 85	-5.6795	6.32307	
80 – 90	*-8.77867	6.32307	
85 – 90	-3.09917	6.32307	

\* indica una diferencia significativa.  
Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.5. Análisis de la varianza para contenido de fructooligosacáridos.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Coefficiente - F	P - Valor	Sig.
Efectos principales						
A: Presión	53.6993	1	53.6993	5.43	0.0353	*
B: Temperatura	92.2097	2	46.1044	4.66	0.0281	*
RESIDUOS	138.526	14	9.89472			
TOTAL (CORREGIDO)	284.434	17				

\*indica una diferencia significativa  
Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.6. Contraste múltiple de rangos para fructooligosacáridos según presión de concentración.

Método : 95 % LSD				
Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
67.62	9	38.9681	1.04853	X
17.62	9	42.4226	1.04853	X
Contraste		Diferencias		+/- Límites
17.62 - 67.62		*3.45444		3.18039

\*indica una diferencia significativa  
Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.7. Análisis de la varianza para contenido de fructooligosacáridos según presión.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Coefficiente - F	P - Valor	Sig.
Entre grupos	53.6993	2	53.6993	3.72	0.0716	
Intra grupos	230.735	15	14.4209			
TOTAL	284.434	17				

\*indica una diferencia significativa  
Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.8. Contraste múltiple de rangos para contenido de fructooligosacáridos según presión de concentración.

Método: 95 % LSD			
Presión	frecuencia	Media	Grupos Homogéneos
67.62	9	38.9681	X
17.62	9	42.4226	X
Contraste		Diferencias	+/- Límites
17.62 - 67.62		3.45444	5.37

\*indica una diferencia significativa  
Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.9. Análisis de la varianza para contenido de fructooligosacáridos según temperatura.

Fuente	Suma de cuadrados	de GL	Cuadrado medio	Coefficiente - F	P - Valor	Sig.
Entre grupos	92.2087	2	46.1044	3.60	0.0529	
Intra grupos	192.225	15	12.815			
TOTAL	284.434	17				

\*indica una diferencia significativa  
Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.10. Contraste múltiple de rangos para contenido de fructooligosacáridos según temperatura de concentración.

Método: 95% LSD			
Temperatura	Frecuencia	Media	Grupos Homogéneos
80	6	38.5642	X
85	6	39.6927	XX
90	6	43.8292	X
Contraste	Diferencias	+/- Límites	
80 – 85	-1.1285	4.4053	
80 – 90	*-5.265	4.4053	
85 – 90	-4.1365	4.4053	

\* indica una diferencia significativa.  
Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.11. Análisis de la varianza para el color.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Coefficiente - F	P - Valor	Sig.
Efectos principales						
A: Presión	1.79526E6	1	1.79526E6	0.59	0.4545	
B: Temperatura	1.78326E7	2	8.9163E6	2.94	0.0859	
RESIDUOS	4.24625E7	14	3.03303E6			
TOTAL (CORREGIDO)	6.20903E7	17				

\*indica una diferencia significativa  
Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.12. Contraste múltiple de rangos para el color según presión de concentración.

Método : 95 % LSD				
Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
67.62	9	15327.1	580.52	X
17.62	9	15958.8	580.52	X
Contraste		Diferencias		+/- Límites
17.62 - 67.62		631.622		1760.83

\*indica una diferencia significativa  
Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.13. Análisis de la varianza para la viscosidad a 5°C.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Coefficiente - F	P - Valor	Sig.
Efectos principales						
A: Presión	8.00178E6	1	8.00178E6	1.11	0.3101	
B: Temperatura	1.14954E7	2	5.74768E6	0.80	0.4702	
RESIDUOS	1.00997E8	14	7.21405E6			
TOTAL (CORREGIDO)	1.20494E8	17				

\*indica una diferencia significativa  
Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.14. Contraste múltiple de rangos para la viscosidad a 5°C según presión de concentración.

Método : 95 % LSD				
Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
67.62	9	3954.81	895.299	X
17.62	9	5288.3	895.299	X
Contraste		Diferencias		+/- Límites
17.62 - 67.62		1333.48		2715.62

\*indica una diferencia significativa  
Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.15. Análisis de la varianza para la viscosidad a 10°C.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Coefficiente - F	P - Valor	Sig.
Efectos principales						
A: Presión	266937.0	1	266937.0	0.08	0.7817	
B: Temperatura	2.87202E6	2	1.43601E6	0.43	0.6593	
RESIDUOS	4.68409E7	14	3.34578E6			
TOTAL (CORREGIDO)	4.99799E7	17				

\*indica una diferencia significativa

Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.16. Contraste múltiple de rangos para la viscosidad a 10°C según presión de concentración.

Método : 95 % LSD				
Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
67.62	9	2729.78	609.716	X
17.62	9	2973.33	609.716	X
Contraste		Diferencias		+/- Límites
17.62 - 67.62		243.556		1849.39

\*indica una diferencia significativa

Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.17. Análisis de la varianza para la viscosidad a 15°C.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Coefficiente - F	P - Valor	Sig.
Efectos principales						
A: Presión	588251.0	1	588251.0	0.61	0.4463	
B: Temperatura	870269.0	2	435134.0	0.45	0.6439	
RESIDUOS	1.34097E7	14	957836.0			
TOTAL (CORREGIDO)	1.48682E7	17				

\*indica una diferencia significativa

Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.18. Contraste múltiple de rangos para la viscosidad a 15°C según presión de concentración.

Método : 95 % LSD				
Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
67.62	9	1321.93	326.23	X
17.62	9	1683.48	326.23	X
Contraste		Diferencias		+/- Límites
17.62 - 67.62		361.556		989.52

\*indica una diferencia significativa

Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.19. Análisis de la varianza para la viscosidad a 20°C.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Coefficiente - F	P - Valor	Sig.
Efectos principales						
A: Presión	413343.0	1	413343.0	0.71	0.4149	
B: Temperatura	444192.0	2	222096.0	0.38	0.6911	
RESIDUOS	8.19684E6	14	585489.0			
TOTAL (CORREGIDO)	9.05438E6	17				

\*indica una diferencia significativa  
Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.20. Contraste múltiple de rangos para la viscosidad a 20°C según presión de concentración.

Método : 95 % LSD				
Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
67.62	9	909.63	255.057	X
17.62	9	1212.7	255.057	X
Contraste		Diferencias		+/- Límites
17.62 - 67.62		303.074		773.638

\*indica una diferencia significativa  
Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.23. Análisis de la varianza para la viscosidad a 40°C.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Coefficiente - F	P - Valor	Sig.
Efectos principales						
A: Presión	36156.5	1	36156.5	2.18	0.1622	
B: Temperatura	27192.1	2	13596.0	0.82	0.4610	
RESIDUOS	232440.0	14	16602.9			
TOTAL (CORREGIDO)	295789.0	17				

\*indica una diferencia significativa  
Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.24. Contraste múltiple de rangos para la viscosidad a 40°C según presión de concentración.

Método : 95 % LSD				
Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
67.62	9	260.496	42.9507	X
17.62	9	350.133	42.9507	X
Contraste		Diferencias		+/- Límites
17.62 - 67.62		89.6369		130.278

\*indica una diferencia significativa  
Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.25. Análisis de la Varianza para la densidad.

Fuente	Suma cuadrados	de GL	Cuadrado medio	Coefficiente - F	P -Valor	Sig.
Efectos principales						
A: Presión	0.0000131756	1	0.0000131756	0.06	0.8148	
B: Temperatura	0.00126795	2	0.000633976	2.74	0.0989	
RESIDUOS	0.0032373	14	0.000231236			
TOTAL (CORREGIDO)	0.00451843	17				

\*indica una diferencia significativa  
Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

Tabla 2.26. Contraste múltiple de rangos para la densidad según presión de concentración.

Método : 95 % LSD				
Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
67.62	9	1.35407	0.00506882	X
17.62	9	1.35578	0.00506882	X
Contraste		Diferencias		+/- Límites
17.62 - 67.62		0.00171111		0.0153747

\*indica una diferencia significativa  
Fuente: Elaboración Statgraphics Plus.

## ANEXO 3

### Determinación de las características fisicoquímicas en yacón

#### Anexo 3.1. Determinación de la humedad

Procedimiento para la determinación de humedad del yacón

1. En la balanza de humedad se pesó 1 g de yacón
2. Se procedió a tapar la balanza
3. Se colocó la temperatura de secado a 120 °C
4. Transcurrido un determinado tiempo la balanza nos marca el % de humedad del yacón
5. Se anotó el % de humedad

#### Anexo 3.2. Determinación de proteínas

Para determinar el porcentaje de proteína se realizó mediante el método de Kjeldahl (AOAC, 2001).

Fundamento: Digestión de proteínas con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y catalizadores transformándose el nitrógeno orgánico en amoníaco que se destila y se titula con una solución ácida normalizada.

Procedimiento para la determinación de proteína del yacón

1. Digestión
  - a. Se encendió el equipo compacto de digestión MBC/02 y se seleccionó la temperatura de 420°C
  - b. Se colocó dentro de 3 tubo del equipo: 1 g de yacón picado, 5 g de catalizador y 15 mL de ácido sulfúrico concentrado
  - c. Se colocó el colector de humos y se encendió la campana extractora
  - d. Se esperó un tiempo de 45 minutos hasta que termine la digestión
  - e. Se dejó enfriar hasta una temperatura de 80 °C
  - f. Se agregó 75 mL de agua destilada a los tubos y se dejó enfriar
2. Destilación
  - a. Se colocó a cada tubo de muestra en el destilador de nitrógeno DNP – 2000

- b. En un matraz de 250 mL se agregó 25 mL de solución (ácido bórico y el indicador mixto)
  - c. El producto de la destilación se recogió en un matraz hasta un volumen de 150 mL
  - d. Se retiró el matraz del equipo y se realizó la titulación
3. Titulación
- a. Se llenó la bureta con HCl al 0,25 N y se realizó la titulación hasta un color celeste
  - b. Se expresó el porcentaje de nitrógeno según la siguiente formula:

$$\%N = 100 \times \left[ \frac{0,014 \times (V.N)}{W} \right]$$

Donde:

$N$  = contenido de nitrógeno, %

$V$  = volumen gastado de HCl

$W$  = peso de muestra, g

- c. Se calculó el porcentaje de proteínas mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ Proteína} = \%N \times f$$

Donde:

$f$  = factor para cada alimento

### Anexo 3.3. Determinación de cenizas

Para determinar el porcentaje de cenizas se utilizó el método Calcinación directa (AOAC, 2001).

Fundamento: Destrucción y volatilización de la materia orgánica dejando como residuos óxidos y sales minerales.

Procedimiento para la determinación de cenizas del yacón

1. Se pesó los crisoles vacíos, limpios y secos
2. Se pesó en cada crisol 1 g de yacón

3. Se llevó los crisoles a calcinación en el horno (mufla)
4. Se cerró el horno y se procedió a prenderlo
5. Se fijó la temperatura de 500 °C
6. Se dejó los crisoles con la muestra durante 45 min
7. Luego se dejó enfriar
8. Se pesó los crisoles con la ceniza
9. Se expresó el porcentaje de cenizas según la siguiente formula.

$$\% \text{ Ceniza} = 100 \left[ \frac{W3 - W1}{W2 - W1} \right]$$

Donde:

$W1$  = peso del crisol

$W2$  = peso del crisol con la muestra

$W3$  = peso del crisol con la ceniza

#### **Anexo 3.4. Determinación de grasa**

Para determinar el % de grasa se utilizó el método de extracción continua en Soxhlet con éter etílico (AOAC, 2001).

Fundamento: Propiedad de la grasa de solubilizarse en solventes orgánicos generándose una extracción por agotamiento.

Procedimiento para la determinación de grasa del yacón

1. Se pesó 5 g de yacón deshidratado
2. Se empaquetó la muestra en un papel filtro
3. Se pesó el balón seco, limpio y vacío
4. Se colocó el paquete en el cuerpo del equipo Soxhlet
5. Se añadió éter de petróleo hasta una altura adecuada para ser sifoneada al balón
6. Se conectó a la fuente de calor durante 3 horas
7. Se retiró el balón con poco disolvente
8. Se colocó el balón en una fuente de calor para evaporar el sobrante del disolvente.

9. Se enfrió el balón y se pesó
10. Se expresó el porcentaje de grasa según la siguiente formula.

$$\% \text{ Grasa} = 100 \left[ \frac{P3 - P1}{P2} \right]$$

Donde:

$P1$  = peso del balón vacío

$P2$  = peso de la muestra

$P3$  = peso del balón con grasa extraída

### **Anexo 3.5. Determinación de fibra**

Para determinar el porcentaje de fibra se utilizó el método Hidrólisis ácida y básica (Según AOCS 1998 y AOAC, 2001).

Fundamento: Obtención de un residuo indigerible resistente a ácidos y álcalis diluidos en ebullición la cual es cuantificada gravimétricamente.

Procedimiento para la determinación de fibra cruda del yacón

1. Se taró los crisoles y se pesó 1 g de yacón dentro del crisol ( $W1$ )
2. Se llevó y colocó en el soporte del crisol
3. Se bajó la palanca de cierre hasta su tope
4. Se introdujo por la parte superior del refrigerante 150 mL de ácido sulfúrico a 0,128 M a 90 °C
5. Se dejó en ebullición durante 30 min
6. Se filtró
7. Se lavó introduciendo por la parte superior del refrigerante y succionándole por 3 veces, utilizando 50 mL de agua destilada cada vez
8. Se introdujo por la parte superior del refrigerante 150 mL de hidróxido potásico a 0,223 M a 90 °C
9. Se llevó a ebullición por 30 min
10. Se filtró y lavó 3 veces con agua destilada
11. Se retiró la palanca hacia arriba y se retiró el crisol
12. El crisol se llevó a la estufa por 2 horas a 130 °C
13. El crisol se dejó enfriar y se pesó ( $W2$ )

14. El crisol se llevó a la mufla a 500 °C por 3 horas. Se dejó enfriar el crisol para pesarlo ( $W_3$ ).

15. Se expresó el porcentaje de fibra según la siguiente fórmula.

$$\% \text{ de fibra cruda} = 100 \left[ \frac{W_2 - W_3}{W_1} \right]$$

## ANEXO 4

### Determinación de las características evaluadas en el extracto de yacón

#### Anexo 4.1. Determinación de azúcares reductores

Para determinar el porcentaje de azúcares reductores se utilizó el método de Lane y Eynon.

Procedimiento para la determinación de azúcares reductores

1. Valoración del reactivo de Fehling
  - a. Se llenó una bureta de 50 mL con solución de fructosa al 0,1% (p/v)
  - b. En un matraz Erlenmeyer se depositó 5 mL de Fehling A y 5 mL de Fehling B
  - c. Se mezcló con 20 mL de agua destilada
  - d. Se agregó 3 gotas de azul de metileno (indicador)
  - e. Se agitó para homogenizar la mezcla
  - f. Se calentó con un mechero de alcohol hasta ebullición
  - g. Se procedió a titular, manteniendo la ebullición
  - h. Se finalizó cuando se cambió de color azul a un rojo ladrillo
  - i. Se anotó el volumen gastado de la solución de fructosa
  
2. Determinación de azúcares reductores en el jugo de yacón
  - a. Se llenó la bureta de 50 mL con jugo de yacón filtrado
  - b. En un matraz de 250 mL de depositó 5 mL de Fehling A y 5 mL de Fehling B
  - c. Se mezcló con 20 mL de agua destilada
  - d. Se agregó 3 gotas de azul de metileno (indicador)
  - e. Se agitó para homogenizar la muestra
  - f. Se calentó con un mechero de alcohol hasta ebullición
  - g. Luego se pasó a titular con el jugo manteniendo la ebullición
  - h. Se finalizó la titulación cuando de color azul cambia a rojo ladrillo
  - i. Se anotó el volumen gastado de jugo de yacón filtrado en la titulación

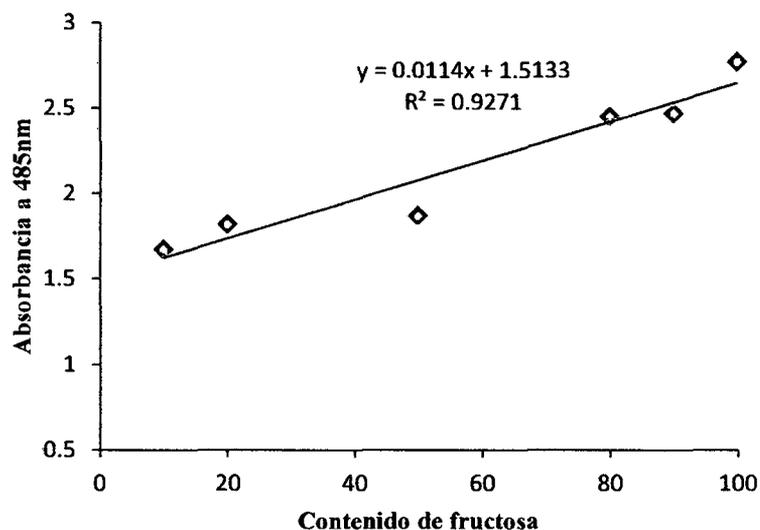
$$\frac{D \text{ g fructosa}}{10 \text{ mL de Fehling}} \times \frac{10 \text{ mL Fehling}}{Y \text{ mL jugo consumido}} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}}$$

#### **Anexo 4.2. Determinación de fructooligosacáridos**

Para determinar el contenido de fructooligosacáridos se utilizó el método colorimétrico para microdeterminación de carbohidratos totales.

Procedimiento para la determinación de fructooligosacáridos de yacón

1. Se preparó la solución estándar de fructosa
  - a. Se pesó 5 mg de fructosa y se disolvió en 50 mL de agua destilada
  - b. Se agitó
  - c. Se realizó las diluciones en 10 tubos de ensayo secos , de 10 hasta 100 ug/mL
  - d. Se agitó bien las soluciones de los tubos
  - e. De cada tubo se extrajo 0,5 mL de muestra
  - f. En los tubos con la muestra se agregó 0,5 mL de fenol y se agitó de inmediato
  - g. En seguida los tubos se colocó en agua con hielo y se agregó 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado y se agitó
  - h. Se dejó en reposo por 10 min
  - i. Se colocó las muestra preparadas en las cubetas
  - j. Se realizaron las lecturas en el espectrofotómetro (JENWAY – 6450 UV) a 485 nm
  - k. Se realizó la curva de calibración



2. Para el jugo de yacón

- a. Se colocó 0,05 mL de muestra en un beaker de 100 mL
- b. Se agregó 50 mL agua destilada
- c. Se agitó
- d. En un tubo de ensayo se colocó 0,5 mL de solución
- e. Se agregó 0,5 mL de fenol
- f. Se agitó
- g. Se colocó el tubo de ensayo en agua con hielo
- h. Se agregó 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado
- i. Se agitó de inmediato
- j. Se dejó en reposo por 10 min
- k. Se colocó en la cubeta
- l. Se realizó la lectura en el espectrofotómetro a 485 nm
- m. Se anotó la absorbancia
- n. Se reemplazó en la siguiente ecuación:

$$X = \frac{y - 1.513}{0.011}$$

Donde:

$X$  = contenido de fructooligosacáridos ( $\mu$ L)

$Y$  = lectura de las absorbancias

#### **Anexo 4.3. Determinación de la densidad**

Para determinar la densidad en el jugo de yacón se utilizó el método del hidrómetro.

1. Se llenó una probeta de 500 mL con el jugo
2. Se dejó en reposo durante unos minutos para que el material se calibre
3. Se sumergió lentamente el hidrómetro, con un movimiento rotatorio
4. Se realizó la lectura de la gravedad específica de la muestra, en la escala del hidrómetro

#### **Anexo 4.4. Determinación de sólidos solubles totales (°Brix)**

Para determinar los sólidos solubles totales se utilizó el método de Refractometría.

Se preparó la muestra eliminando excedentes de materiales extraños

1. Se calibró el refractómetro digital, colocando agua destilada en la lente
2. Se limpió la lente
3. Se colocó unas gotas de jugo de yacón en la lente
4. Se anotó la lectura presente en la pantalla

## ANEXO 5

### Determinación de las características evaluadas en el jarabe de yacón

#### Anexo 5.1. Determinación de azúcares reductores

Para determinar el porcentaje de azúcares reductores se utilizó el método de de Lane y Eynon.

Procedimiento para la determinación de azúcares reductores en el jarabe de yacón

1. Valoración del reactivo de Fehling
  - j. Se llenó una bureta de 50 mL con solución de fructosa al 0,1% (p/v)
  - k. En un matraz Erlenmeyer se depositó 5 mL de Fehling A y 5 mL de Fehling B
  - l. Se mezcló con 20 mL de agua destilada
  - m. Se agregó 3 gotas de azul de metileno (indicador)
  - n. Se agitó para homogenizar la mezcla
  - o. Se calentó con un mechero de alcohol hasta ebullición
  - p. Se procedió a titular, manteniendo la ebullición
  - q. Se finalizó cuando se cambió de color azul a un rojo ladrillo
  - r. Se anotó el volumen gastado de la solución de fructosa
  
2. Determinación de azúcares reductores en el jarabe de yacón
  - j. Se llenó la bureta de 50 mL con jarabe de yacón filtrado
  - k. En un matraz de 250 mL de depositó 5 mL de Fehling A y 5 mL de Fehling B
  - l. Se mezcló con 20 mL de agua destilada
  - m. Se agregó 3 gotas de azul de metileno (indicador)
  - n. Se agitó para homogenizar la muestra
  - o. Se calentó con un mechero de alcohol hasta ebullición
  - p. Luego se pasó a titular con el jugo manteniendo la ebullición
  - q. Se finalizó la titulación cuando de color azul cambia a rojo ladrillo

- r. Se anotó el volumen gastado de jugo de yacón filtrado en la titulación

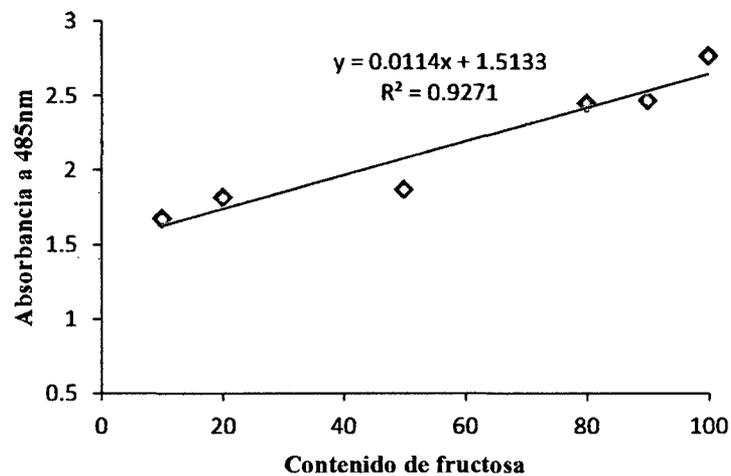
$$\frac{D \text{ g fructosa}}{10 \text{ mL de Fehling}} \times \frac{10 \text{ mL Fehling}}{Y \text{ mL jugo consumido}} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}}$$

## Anexo 5.2. Determinación de fructooligosacáridos

Para determinar el contenido de fructooligosacáridos se utilizó el método colorimétrico para microdeterminación de carbohidratos totales.

Procedimiento para la determinación de fructooligosacáridos

1. Se preparó la solución estándar de fructosa
  - l. Se pesó 5 mg de fructosa y se disolvió en 50 mL de agua destilada
  - m. Se agitó
  - n. Se realizó las diluciones en 10 tubos de ensayo secos , de 10 hasta 100 ug/mL
  - o. Se agitó bien las soluciones de los tubos
  - p. De cada tubo se extrajo 0,5 mL de muestra
  - q. En los tubos con la muestra se agregó 0,5 mL de fenol y se agitó de inmediato
  - r. En seguida los tubos se colocó en agua con hielo y se agregó 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado y se agitó
  - s. Se dejó en reposo por 10 min
  - t. Se colocó las muestra preparadas en las cubetas
  - u. Se realizaron las lecturas en el espectrofotómetro (JENWAY – 6450 UV) a 485 nm
  - v. Se realizó la curva de calibración



2. Para la muestra de jarabe de yacón
  - a. Se colocó 0,01 mL de muestra en un beaker de 100 mL
  - b. Se agregó 70 mL agua destilada
  - c. Se agitó
  - d. En un tubo de ensayo se colocó 0,5 mL de solución
  - e. Se agregó 0,5 mL de fenol
  - f. Se agitó
  - g. Se colocó el tubo de ensayo en agua con hielo
  - h. Se agregó 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado
  - i. Se agitó de inmediato
  - j. Se dejó en reposo por 10 min
  - k. Se colocó en la cubeta
  - l. Se realizó la lectura en el espectrofotómetro a 485 nm
  - m. Se anotó la absorbancia
  - n. Se reemplazó en la siguiente ecuación:

$$X = \frac{y - 1,513}{0,011}$$

Donde:

$X$  = contenido de fructooligosacáridos ( $\mu\text{L}$ )

$Y$  = lectura de las absorbancias

### Anexo 5.3. Determinación del color

Para determinar el color se utilizó el método del colorímetro

Se mide la absorbancia de una solución filtrada a una longitud de onda de 420 nm.

Procedimiento:

1. Se preparó una solución de 1 mL de jarabe disuelto en 12 mL de agua
2. Se midió el °Brix de la solución
3. Se ajustó el pH a  $7,0 \pm 0,2$  usando soluciones de HCl 0,1N o NaOH 0,1N
4. Se filtró la solución a través de papel filtro
5. Se colocó las muestras en las cubetas para determinar las absorbancias
6. El color se calcula con la siguiente fórmula:

$$Color (UI) = \frac{As \times 1000}{b \times c}$$

Donde:

$As$  = lectura tomada del colorímetro

$b$  = longitud de celda

$c$  = concentración obtenido de la Tabla 5.1 para color-Método ICUMSA

**Tabla 5.1: Color-Método ICUMSA**

°Brix	C (g/cm <sup>3</sup> )
7,4	0,076032
7,5	0,07709
7,6	0,078149
7,7	0,079209
7,8	0,080269
7,9	0,08133
8,0	0,082392
8,1	0,083455
8,2	0,084519

#### **Anexo 5.4. Determinación de la viscosidad**

Para determinar la viscosidad se realizó mediante el Viscosímetro rotatorio (Brookfield RVDVE230).

Procedimiento para la determinación de la viscosidad del jarabe de yacón

1. Se colocó 400 mL de la muestra en el vaso de precipitación a diferentes temperaturas (5, 10, 15, 20, 40°C)
2. Se prendió el viscosímetro y se colocó cuidadosamente el spindle adecuado
3. Se verificó el porcentaje de torque hasta que se sitúe en un rango de medición confiable (10 – 100%)
4. Se eligió la velocidad de rotación del spindle (50 rpm)
5. Se encendió el motor del viscosímetro, la cual mostró en la pantalla la viscosidad de la muestra en centipoises.

#### **Anexo 5.5. Determinación de la densidad**

Para determinar la densidad se utilizó el método del Picnómetro.

Procedimiento para la determinación de la densidad del jarabe de yacón

1. Se roturó y pesó la fiola de 25 mL, limpia y seca
2. Se pesó la fiola con agua destilada
3. Se eliminó el agua destilada de la fiola
4. Se secó la fiola en la estufa
5. Se pesó la fiola con jarabe de yacón

$$Densidad = \frac{(P3 - P1)}{(P2 - P1)} \times D$$

Donde:

$P1$  = peso de la fiola en g

$P2$  = peso de la fiola con agua destilada en g

$P3$  = peso de la fiola con jarabe

$D$  = densidad del agua a temperatura de determinación

6. La corrección del efecto de empuje del aire sobre el jarabe que afecta la densidad, se corrigió con la fórmula recomendada por la A.O.C.S.

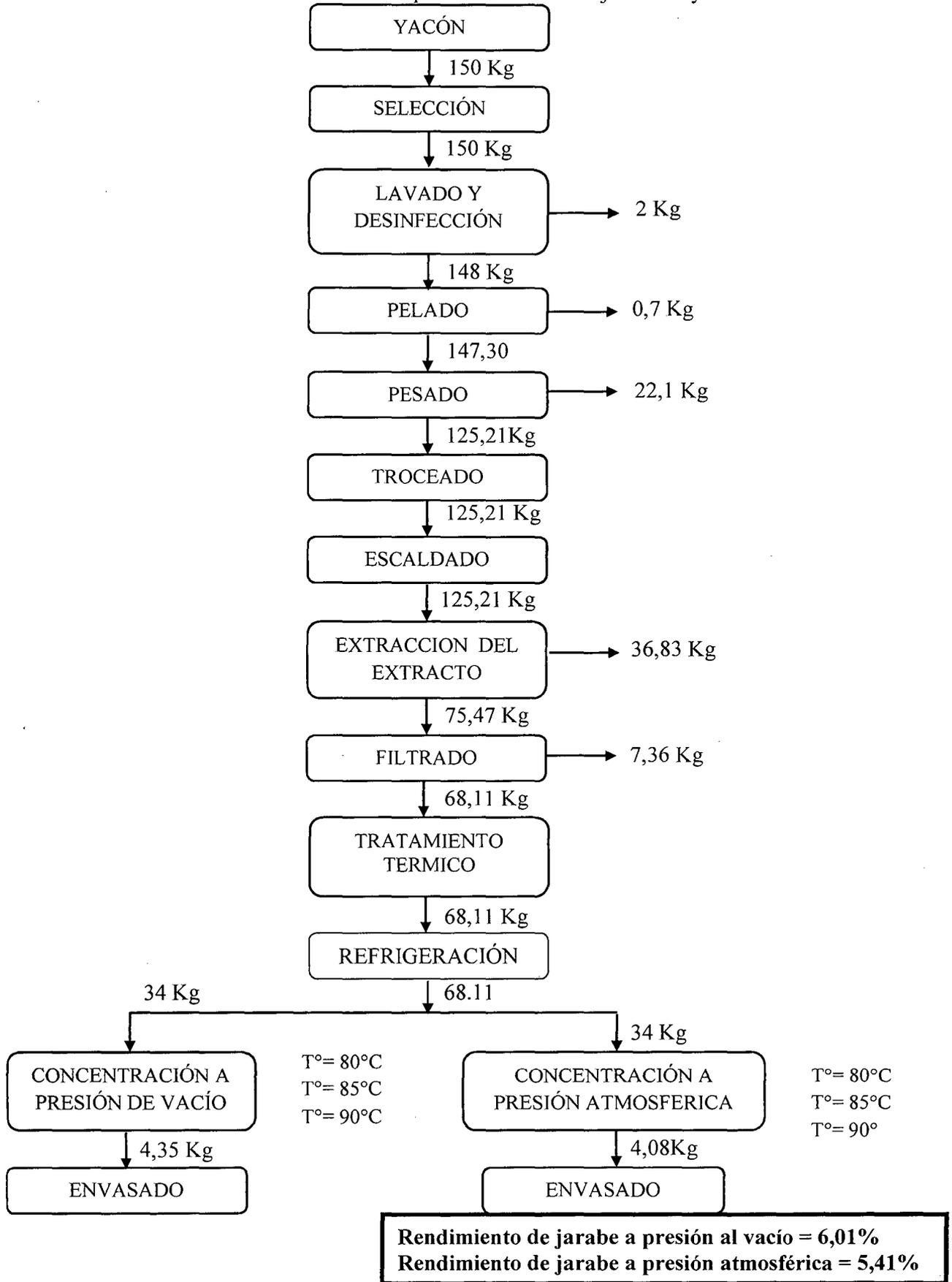
$$\text{Densidad corregida} = d + 0,0012 (1 - d)$$

Donde:

$d$  = densidad obtenida sin corregir

## ANEXO 6

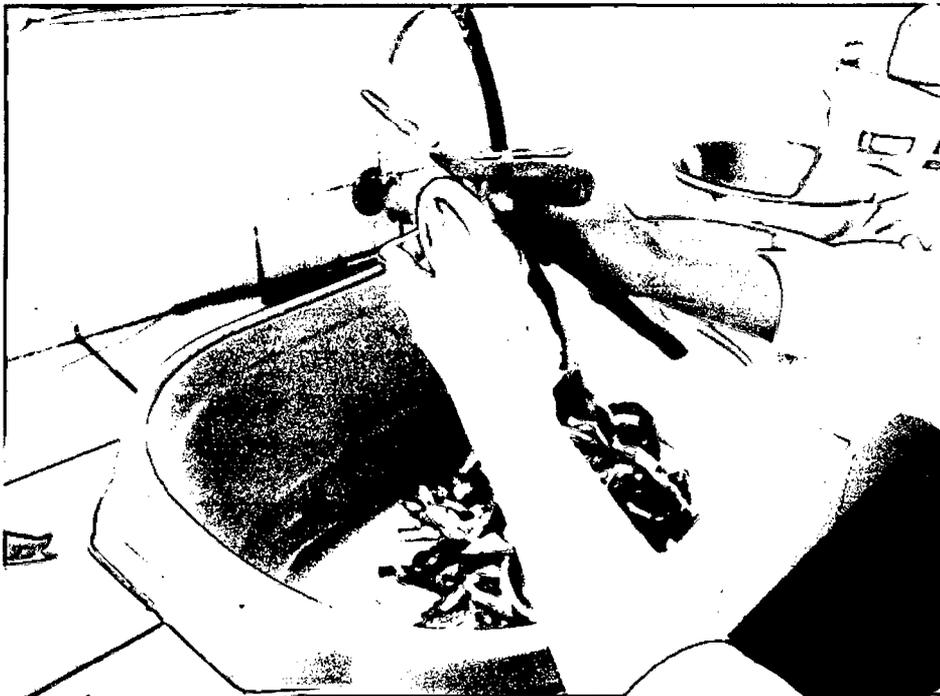
### Anexo 6.1. Balance de materia para la obtención de jarabe de yacón



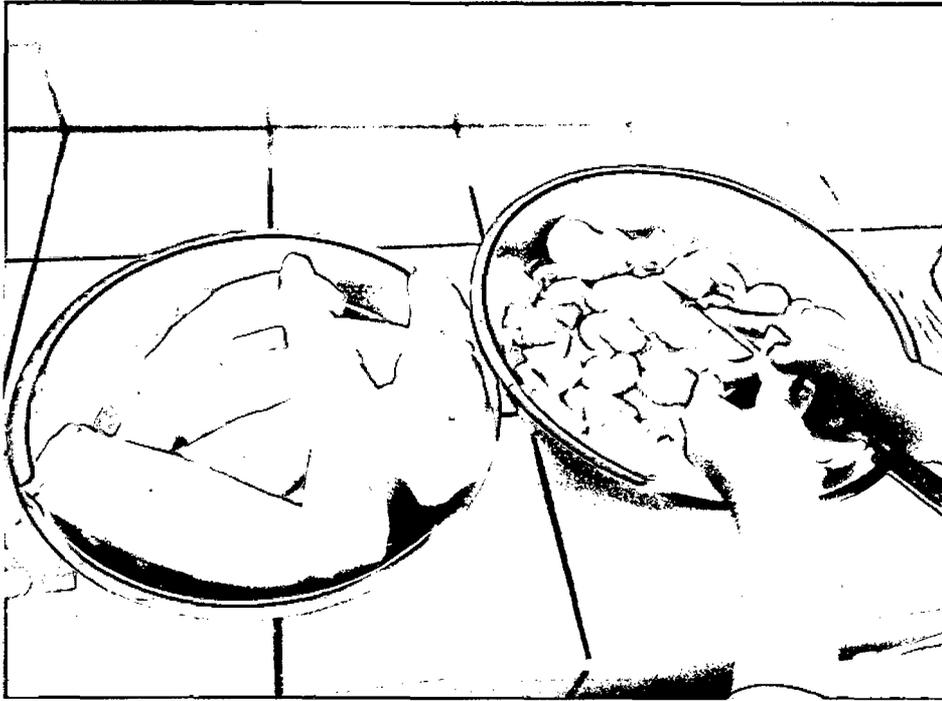
ANEXO 7



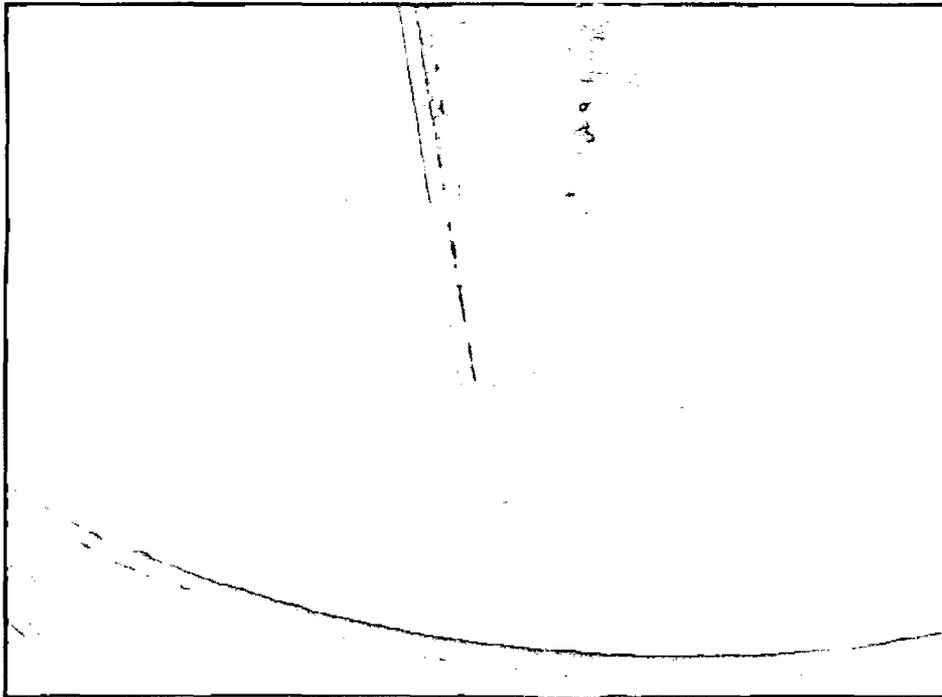
Fotografía 1. Yacón.



Fotografía 2. Pelado del yacón.



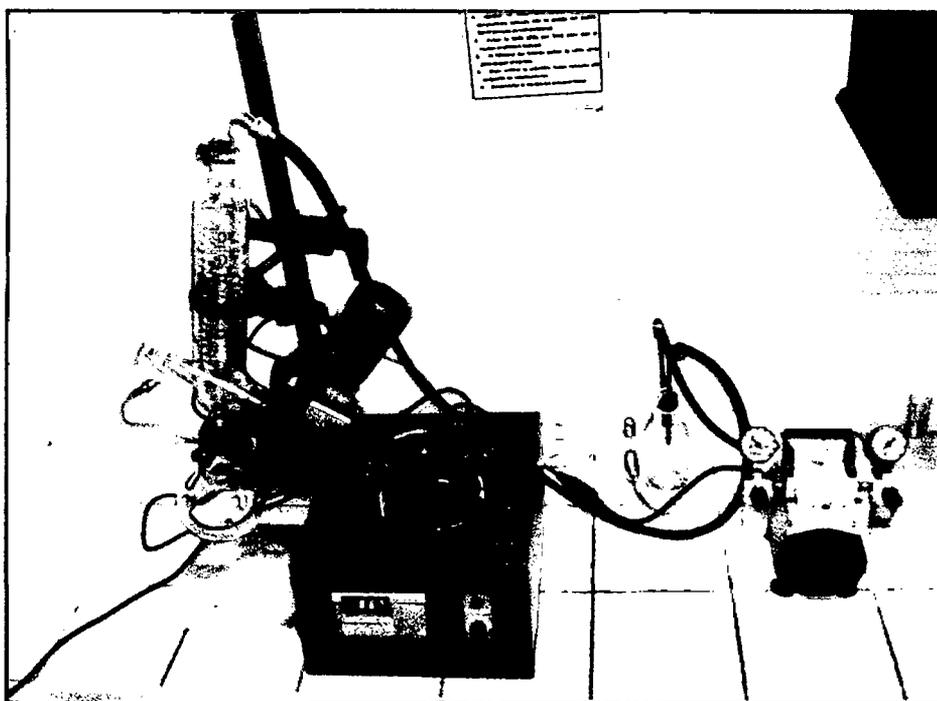
Fotografía 3. Picado del yacón en rodajas.



Fotografía 4. Escaldado de rodajas de yacón.



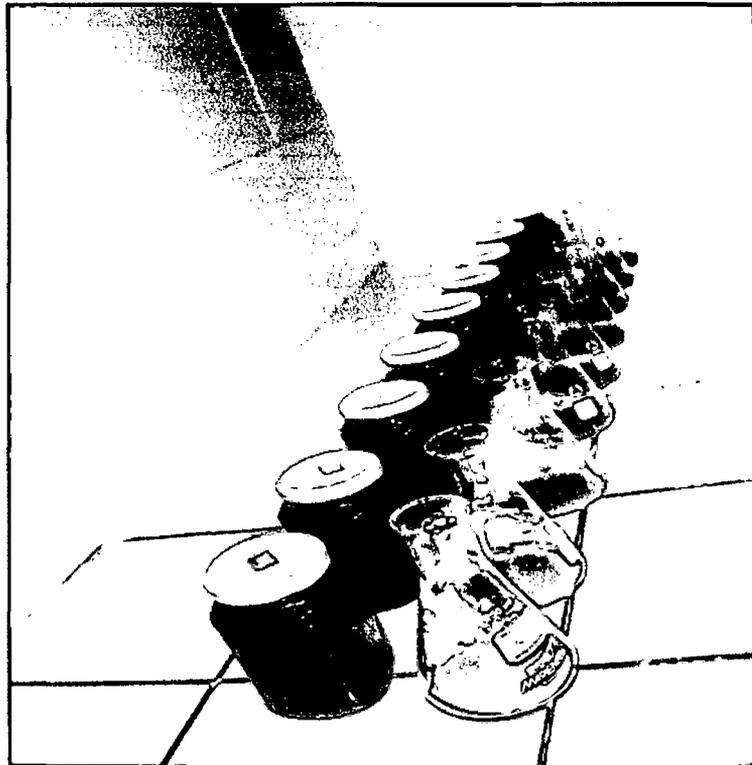
Fotografía 5. Obtención del extracto de yacón.



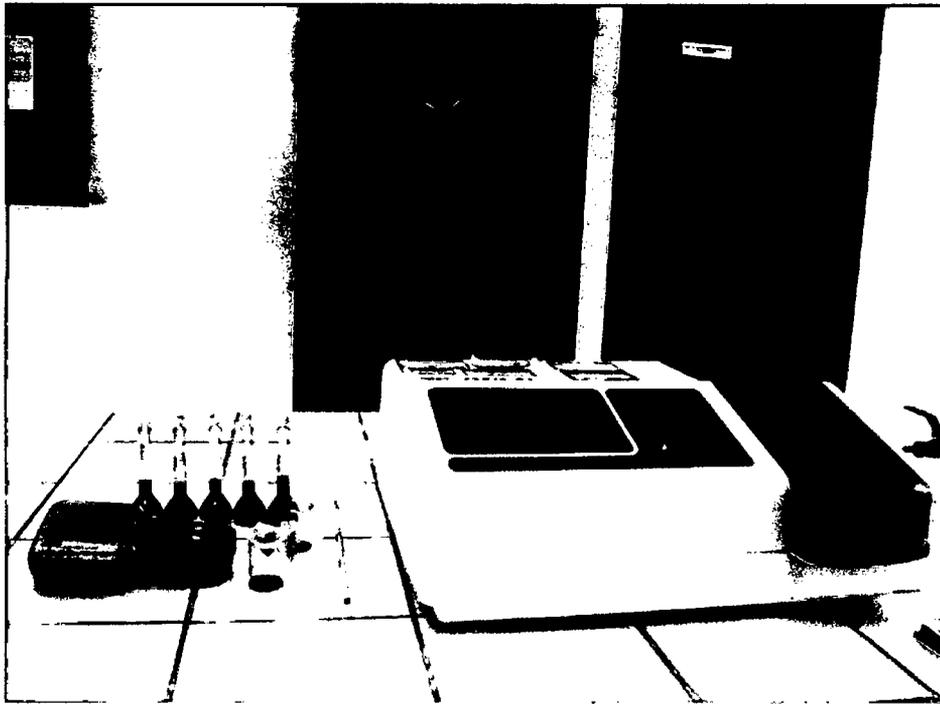
Fotografía 6. Concentración del extracto de yacón en rotavapor.



Fotografía 7. Muestras de jarabe de yacón obtenidos a presión atmosférica.



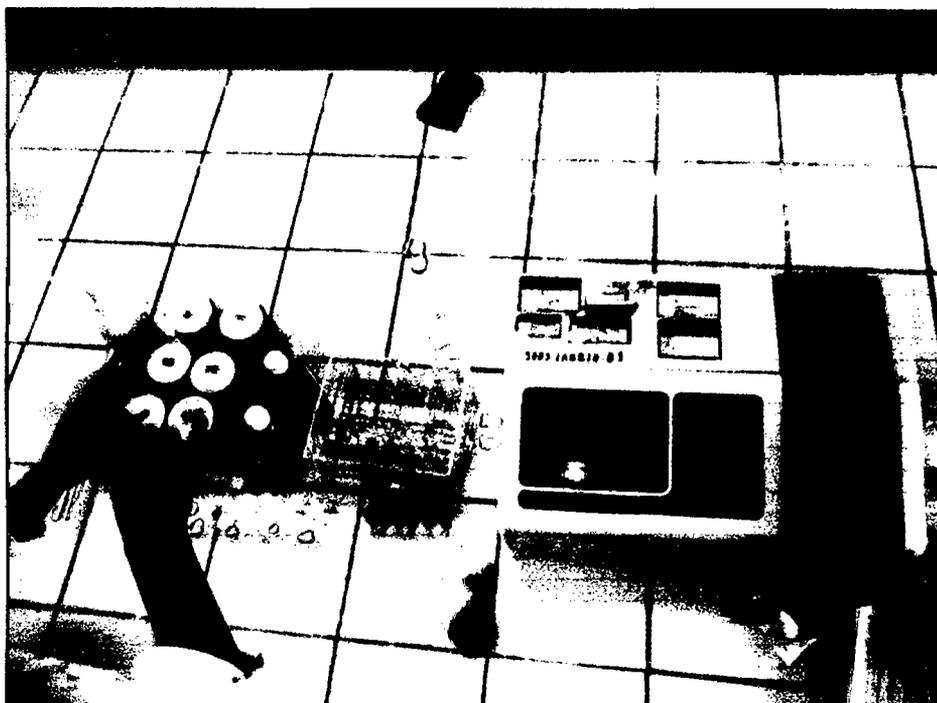
Fotografía 8. Muestras de jarabe de yacón obtenidos a presión de vacío.



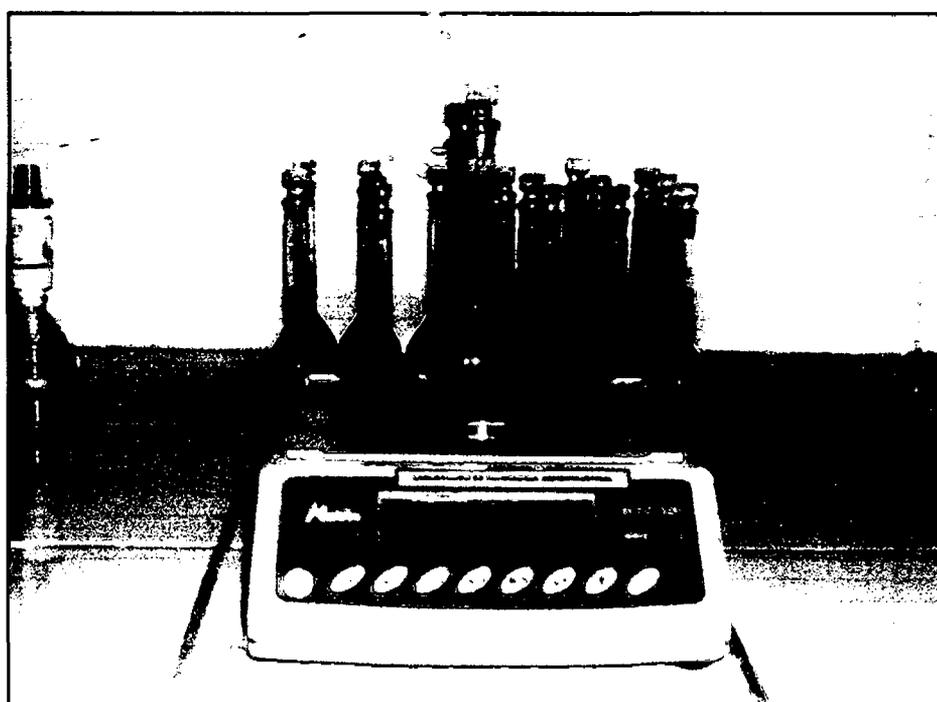
Fotografía 9. Analizador del color.



Fotografía 10. Viscosímetro.



Fotografía 11. Análisis de fructooligosacáridos.



Fotografía 12. Pesado de la fiola en una balanza digital para determinar la densidad.