

**Análisis del yacón *Smallanthus sonchifolius*
y propuesta de extracción de inulina**

Nini Johanna Gutiérrez Moreno Código 32272

Miller Alberto Ruidiaz Martínez Código 32294

**UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS Y TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE QUÍMICA
ARMENIA, QUINDÍO
2005**

**ANÁLISIS DEL YACÓN *Smilax sp.*
Y PROPUESTA DE EXTRACCIÓN DE INULINA**

NINI JOHANNA GUTIÉRREZ MORENO Cód 32272

MILLER ALBERTO RUIDIAZ MARTÍNEZ Cód 32294

**Proyecto de Grado presentado como requisito parcial
para optar al título de Químico**

Director

Pedro Nel Martínez Yepes

Ing.Q., MSc., PhD.

Profesor del Programa de Química

**UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS Y TECNOLOGÍAS
PROGRAMA DE QUÍMICA
ARMENIA, QUINDÍO**

2005

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Armenia, mayo de 2005

Nini Johanna:

A Dios y a mis padres, quienes con su constante e incondicional apoyo son los autores de esta obra.

Miller Alberto:

Al Altísimo, a mis padres y mis hermanos, de quienes siempre recibí la fuerza necesaria para alcanzar este logro.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a:

El Programa de Química. Por haber colaborado en la realización de este proyecto.

Al profesor PEDRO NEL MARTÍNEZ Y., Ph D. en Ciencias Químicas, por su dirección en este proyecto, que sin su incondicional apoyo no hubiera podido llevarse a cabo.

Al profesor Luis Fernando Alzate del programa de Desarrollo Social y Comunitario, por la ayuda prestada para la consecución de la materia prima utilizada en el proyecto.

Al profesor Oscar Otálvaro, por sus indicaciones en el manejo estadístico de los datos obtenidos en los análisis del yacón.

A los técnicos del laboratorio de Biología, Paula Andrea Bedoya e Iván Cortés, por la colaboración prestada en el préstamo de equipos, atención y apoyo en el desarrollo de este proyecto.

A la profesora María del Rosario Bilbao, por su asesoría prestada y consejos presentados durante la ejecución de éste proyecto.

Al profesor Germán A. Giraldo y su equipo de investigación en el laboratorio, por su colaboración en el préstamo de equipos y esclarecimiento de dudas.

A la profesora Magda Ivonne Pinzón, por su valiosa asesoría y préstamo de equipos del Laboratorio de Investigación en Postcosecha (LIP) de la Universidad del Quindío.

Al químico Roberto Arrubla, por su colaboración en el manejo de los equipos del LIP.

Al técnico de laboratorio de materiales, Martín Emilio Montoya y auxiliares, por la cooperación en el préstamo de los materiales y equipos necesarios para la realización del proyecto.

Al técnico de laboratorio de reactivos, Luis Gerardo Zuluaga y a todos los auxiliares de éste, por su cooperación en la preparación de reactivos.

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	
1. MATERIA PRIMA	6
1.1. CLASIFICACIÓN BOTÁNICA	6
1.2. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE	6
1.2.1. MORFOLOGÍA GENERAL	7
1.2.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA	10
1.3. USOS DEL YACÓN	13
1.3.1. Usos frescos	13
1.3.2. Uso procesado	14
1.3.3. Uso forrajero	14
1.4. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA	15
2. MARCO TEORICO	17
2.1. HORTALIZAS	17
2.1.1. Clasificación	17
2.1.2. Agroindustria de Hortalizas	19
2.2. MARCO HISTÓRICO Y ECONÓMICO	20
2.3. ANÁLISIS FÍSICOS DE HORTALIZAS	23
2.3.1. Peso	23

2.3.2.	Índice de Refracción	23
2.3.3.	Sólidos Solubles	24
2.3.4.	Densidad	24
2.3.5.	pH	24
2.3.6.	Contenido de Pulpa en Jugo	25
2.3.7.	Humedad y Materia Seca	25
2.3.8.	Cenizas	25
2.3.9.	Actividad de Agua (a_w)	26
2.4.	ANÁLISIS QUÍMICO	26
2.4.1.	Azúcar Invertido	26
2.4.2.	Acidez Titulable	27
2.4.3.	Contenido de Pectina	27
2.4.4.	Fibra Bruta	27
2.4.5.	Grasa Bruta (Extracto Etéreo)	28
2.4.6.	Proteína	28
2.5.1.	Oligohosidos Vegetales	31
2.5.2.	Inulina	33
2.5.3.	Oligofructosa	35
2.6.	LIXIVIACIÓN	35
2.7.	FERMENTACIÓN	37
2.7.1.	LEVADURAS	37
2.8.	VISCOSIDAD	39
2.8.1.	DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD	41

2.9.	SECADO	42
2.9.1.	CARACTERÍSTICAS DEL SECADO	43
3.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	46
3.1.	METODOLOGÍA	46
3.1.1.	PREPARACIÓN DEL MATERIAL, REACTIVOS Y MUESTRAS.	46
3.1.2.	OBTENCIÓN DE LOS EXTRACTOS	47
3.1.2.1	Infusión	47
3.1.2.2.	Fermentación	47
3.1.2.3.	Maceración acuosa	48
3.1.2.4.	Maceración en etanol	49
3.1.3.	PRUEBAS CUALITATIVAS PARA CARBOHIDRATOS	49
3.1.4.	VISCOSIDAD	50
3.1.5.	SECADO	50
4.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	51
4.1.	PARÁMETROS FÍSICOS	51
4.2.	PARÁMETROS QUÍMICOS	54
4.3.	ESTANDARIZACIÓN DE REACTIVOS PARA CARBOHIDRATOS	57
4.4.	ANÁLISIS DE PRODUCTOS FINALES	58
4.5.	PRUEBAS CUALITATIVAS PARA CARBOHIDRATOS	65
4.5.1.	INFUSIÓN	65
4.5.2.	FERMENTACIÓN	66
4.5.3.	MACERACIÓN ETANÓLICA	66
4.5.4.	MACERACIÓN ACUOSA	66
4.6	PRUEBA DE SECADO	67

5.	CONCLUSIONES	69
6.	RECOMENDACIONES	73
	BIBLIOGRAFÍA	75
	ANEXOS	83

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Raíces tuberosas de yacón, <i>Smallanthus sonchifolius</i> .	8
Figura 2. <i>Smallanthus sonchifolius</i> .	9
Figura 3 Distribución del yacón en la región Andina.	16
Figura 4 Esquema general para la extracción de los glicanos.	30
Figura 5 Esquema de clasificación de glicanos	31
Figura 6 Polimerización de fructanos	32
Figura 7 Estructura detallada de los FOS.	33
Figura 8 Curva típica del régimen de secado, condiciones constantes de secado.	44
Figura 9 Montaje para fermentación.	48
Figura 10 Curva experimental de velocidad de secado para el yacón a 110 °C.	67

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Composición química de raíces de yacón.	11
Tabla 2 Composición química promedio de 10 entradas de yacón procedentes de Perú, Bolivia, Ecuador y Argentina, en relación a 1 Kg de materia comestible de raíz fresca.	12
Tabla 3 Solubilidad de algunos carbohidratos.	34
Tabla 4 Propiedades físicas de carbohidratos	34
Tabla 5 Resultados de los análisis físicos para el yacón, <i>Smallanthus sonchifolius</i> .	52
Tabla 6 Resultados de los análisis químicos para el yacón, <i>Smallanthus sonchifolius</i> .	55
Tabla 7 Reacciones de reconocimiento para carbohidratos.	58
Tabla 8 Propiedades de los extractos obtenidos por fermentación e infusión de yacón.	58
Tabla 9 Propiedades medidas a los extractos obtenidos por maceración acuosa y maceración etanólica de yacón.	60
Tabla 10 Resultados del comportamiento de extracto de yacón frente a la viscosidad y temperatura, para el día siete (7).	62
Tabla 11 Resultados del comportamiento de extracto de yacón frente a la viscosidad y temperatura para el día doce (12).	63
Tabla 12 Propiedades medidas a los extractos de yacón en el Ensayo 4.	64
Tabla 13 Pruebas cualitativas para carbohidratos de la fracción final.	64
Tabla 14 Pruebas cualitativas para carbohidratos de los extractos de yacón obtenidos	65

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. DETERMINACIÓN DE PESO	83
ANEXO B. PESOS DE LAS PLANTAS DE LOS ANÁLISIS DE YACÓN.	84
ANEXO C. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN	85
ANEXO D. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES	86
ANEXO E. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y MATERIA SECA	87
ANEXO F. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CENIZAS	89
ANEXO G. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD	90
ANEXO H. DETERMINACIÓN DE PH	91
ANEXO J. CONTENIDO DE PULPA EN JUGO	92
ANEXO K. ANÁLISIS FÍSICOS DEL YACÓN PARA CADA SEMANA.	93
ANEXO L. DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ TITULABLE	94
ANEXO M. DETERMINACIÓN DE AZÚCAR INVERTIDO	96
ANEXO N. DETERMINACIÓN DE PECTINA.	98
ANEXO P. DETERMINACIÓN DE GRASA CRUDA.	100
ANEXO Q. DETERMINACIÓN DE FIBRA CRUDA.	101
ANEXO R. DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA. MÉTODO DE BRADFORD.	103
ANEXO S. RESULTADOS PARA LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DEL YACÓN	104
ANEXO T. PROCEDIMIENTO POR INFUSIÓN	105
ANEXO U. PROCEDIMIENTO POR FERMENTACIÓN	106
ANEXO V. PROCEDIMIENTO POR MACERACIÓN ETANÓLICA	107
ANEXO W. PROCEDIMIENTO POR MACERACIÓN ACUOSA	108
ANEXO X. DATOS PARA EL CÁLCULO DE VISCOSIDAD	109
ANEXO Y. DATOS DE SECADO DEL YACÓN A 110 °C	110
ANEXO Z. FACTORES PARA CALCULAR EL CONT. DE AZÚCAR INVERTIDO.	113
ANEXO 1. ACTIVIDAD DEL AGUA EN LOS ALIMENTOS.	114
ANEXO 2. PH DE DIVERSOS ALIMENTOS	115
ANEXO 3. MARCHA DE MELITZER PARA LA INVESTIGACIÓN DE AZÚCARES	116
ANEXO 4. EQUIPO DE SECADO DE PULVERIZACIÓN CON FLUJO PARALELO.	117
ANEXO 5. EJEMPLARES DE YACÓN DE UNA MISMA PLANTA	118
ANEXO 6. FOTOGRAFÍAS DE CULTIVO DE YACÓN.	119

INTRODUCCIÓN

La región andina ha sido la cuna de un sorprendente y amplio rango de especies tuberosas y raíces, muchas de las cuales han sido usadas por sus habitantes como suministro alimenticio, desde antes de la llegada de los europeos al nuevo continente, entre ellas el yacón *Smallanthus sonchifolius*, usualmente considerada como una fruta, debido a su jugosidad. El yacón es una planta domesticada hace varios siglos y hasta hace poco tiempo se trataba de un ejemplar olvidado, pero debido a que se han empezado a descubrir y difundir algunas de sus propiedades promisorias se ha generado un creciente interés en la población por él, es así como ha llegado a ser comercializado en las principales cadenas de supermercados de otros países.

Las raíces de este cultivo, conocidas con el nombre de yacón, llakuma o jiquimilla tienen una característica particular y es su consumo en forma fresca (o cruda), a pesar de ser una raíz como la yuca. La diferencia radica en la cualidad que tiene el yacón de almacenar sus carbohidratos en forma de fructooligosacáridos y no como almidón, lo cual es común en las otras especies. Los fructooligosacáridos (FOS), tienen efectos enormemente benéficos para la salud humana, ellos no pueden ser digeridos directamente por el organismo, lo cual los convierte en azúcares con pocas calorías y que no elevan el nivel de glucosa en la sangre.

Estas propiedades convierten al yacón en un recurso potencialmente importante para el mercado de productos dietéticos y de personas que padecen diabetes.

No obstante las propiedades que se le asignan al yacón han sido identificadas de manera indirecta, casi toda la evidencia proviene de estudios realizados con FOS purificados de la achicoria, una planta emparentada con el yacón que contiene inulina (polímero de moléculas de fructosa).

Fuera de los Andes se cultivan dos plantas emparentadas con el yacón: la achicoria (*Cichorium intybus*) y el topinambur (*Helianthus tuberosus*)- pertenecientes a la familia de las Compuestas- de las que se extraen industrialmente los FOS para comercialización en la industria alimentaria.

Hasta hace menos de una década existía idea de que el valor nutricional del yacón era muy bajo, por este motivo es poca la investigación realizada hasta la fecha acerca de su forma de cultivo y tecnologías de procesamiento, esta carencia de información y la demanda actual por conocer aspectos básicos del yacón son los objetos que motivaron la realización del presente estudio.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar las propiedades físicas y químicas del yacón (*Smallanthus sonchifolius*), y proponer un método para la extracción de inulina.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Realizar los análisis físicos de actividad de agua, cenizas, densidad, humedad, índice de refracción, °Brix, pH y pulpa en fruto; y los análisis químicos como porcentaje de grasa, fibra, proteína, acidez titulable, pectina y azúcar invertido a la raíz del yacón *Smallanthus sonchifolius*.
- ✓ Examinar la posibilidad de la extracción de inulina a partir de yacón con métodos económicos y con posibilidades de aplicación industrial
- ✓ Promover otros estudios complementarios relacionados con el yacón, dando a conocer sus beneficios básicos y promisorios, por medio de la publicación en la revista de la Universidad del Quindío.

- ✓ Colaborar con el trabajo iniciado por la Facultad de Ciencias Agroindustriales, Programa de Agroindustria para la línea de investigación del yacón, iniciando con los datos básicos que se deben conocer de una especie promisoría como es el yacón, *Smallanthus sonchifolius*.

JUSTIFICACIÓN

El yacón, una planta que crece de manera silvestre en la región andina de Colombia y olvidada durante varios años; se le atribuye ser una fuente dietética de alimento, debido a sus componentes la inulina y la oligofructosa.

Los usos industriales de inulina en alimentación humana y nutrición abarcan la sustitución de grasas, reducir el contenido calórico, retención de agua, emulsionar y en general para modificar la textura o cremosidad de algunos alimentos. De otro lado la oligofructosa o los fructooligosacáridos pueden reducir el nivel de lípidos en la sangre, incrementar la asimilación de calcio en los huesos; pero el esencial interés en el yacón es el efecto que puede ejercer sobre la diabetes, lo cual es aún materia de estudio en varios países.

En la actualidad la única planta que se usa comercialmente para la producción de fructanos es la achicoria (*Chicorium intybus*), sin embargo, se trata de una especie con bajo índice de cosecha. Debido al escaso conocimiento acerca del yacón en nuestro país, se ha desaprovechado el potencial de esta planta. Por lo tanto el análisis del yacón permitiría examinar si la especie que se encuentra en la región es viable para hacer la extracción de inulina a escala industrial, u otro tipo de beneficio ya que presenta facilidades como es el tiempo de cosecha y adaptabilidad a diferentes pisos térmicos.

1. MATERIA PRIMA

1.1. CLASIFICACIÓN BOTÁNICA

SUPERREINO:	<i>Eucaryotes</i>
REINO:	<i>Plantae</i>
SUBREINO:	<i>Embryophyta</i>
FILUM :	<i>Tracheophyta</i>
CLASE:	<i>Angiospermae</i>
SUBCLASE:	<i>Dicotyledoneae</i>
ORDEN:	<i>Asterales</i>
FAMILIA:	<i>Asteraceae</i>
GENERO:	<i>Smallanthus</i>
ESPECIE:	<i>Smallanthus sonchifolius</i>

1.2. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

El yacón es conocido desde Venezuela hasta Argentina, en este último país se le cultiva en Salta y Jujuy. Bukasov indica que crece silvestre en Colombia¹. Safford

¹ BUKASOV, S.M. The cultivated plants of Mexico, Guatemala and Colombia, citado por PERÚ. CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA. *Poymnia sonchifolia*, p. 57. Mensaje a: Email: Webmaster-CIP@cgiar.org.

ha determinado restos de yacón entre materiales recogidos en las tumbas preincaicas en Perú.²

Aunque el yacón sea una especie olvidada y para la mayoría desconocida, cabe resaltar que Colombia es de los países donde menos información y aprovechamiento de ella existe.

En la región están presentes cerca de 95 géneros representados en cerca de 200 especies, de las que la mayoría corresponden a hierbas y arbustos, entre los géneros con representantes arbóreos se encuentran *Aequatorium*, *Ageratina*, *Smallanthus* y *Joseanthus*³.

1.2.1. MORFOLOGÍA GENERAL

Es una planta perenne, el tronco se compone de una parte subterránea, la cual es una masa irregular, muy ramificada, y de tallos aéreos anuales. Del tronco además brotan numerosas raíces, algunas de las cuales se engrosan y constituyen la parte comestible más importante. Figura 1.

Los tallos aéreos, que se secan después de florecer, son cilíndricos, de color verde con manchas moradas irregulares, alcanzan hasta 1.5 m de alto, Figura 2A

² SAFFORD, W. E. Food, plants and textiles of ancient America, citado por Ibid., p. 57.

³ VARGAS G, William. Guía ilustrada de las plantas de las montañas del Quindío y los Andes centrales. Manizales, 2002, p. 138.

y están cubiertos de pubescencia fina y escasa. De cada nodo del tallo aéreo brotan dos hojas opuestas, delgadas y suaves; Figura 2B, las basales son pinnatífidas, es decir, aquéllas de nervadura pinnada con margen hendida y sus divisiones llegan hasta la mitad del semilimbo; las superiores son triangulares. Los bordes en ambas son lobulados o dentados.

Figura 1 Raíces tuberosas de yacón, *Smallanthus sonchifolius*.



Fuente: Yacón (*Smallanthus sonchifolius*). La Molina, Lima. Disponible en: <http://www.lamolina.edu.pe/Investigacion/programa/yacon/Yacon.htm>

La inflorescencia es terminal y se forma de uno a cinco ejes, que se dividen en tres ramas que terminan cada una en una inflorescencia o “capítulo”. Estas tienen en la base cinco brácteas verdes, triangulares, de 15-20 mm de largo, de ápices muy agudos. Las flores son de dos clases, característica de la familia de las compuestas: hacia el borde son liguladas, en número aproximado de 16, formando la parte más vistosa de la inflorescencia, pues las lígulas son largas (10-15 mm), amarillas o anaranjadas, recortadas en el ápice y las flores tubulares centrales de unos 8 mm de largo, de corola amarilla.

Las raíces que salen del tallo subterráneo son al comienzo rectas y poco ramificadas. Algunas de estas raíces comienzan a engrosar su parte central cuando apenas miden un centímetro de largo; continúan creciendo tanto en longitud como diámetro, hasta formar cuerpos fusiformes de 1-20 cm de largo por 3 a 8 cm de diámetro. Al principio estas raíces tuberosas tienen los dos extremos agudos, pues están conectadas al tallo por un cuello muy estrecho y el ápice es cónico. Bredemann considera que la diferencia en forma de las raíces no es por variedad de la especie sino simplemente de desarrollo⁴. Las raíces tuberosas, de las cuales hay varias en cada planta, son externamente de color purpúreo opaco.

Figura 2. *Smallanthus sonchifolius*. A: Rama florífera. B: Hojas. C: Inflorescencia. D-F: Raíces tuberosas. G: corte transversal de la raíz.



Fuente: GRAU, A., REA, J. Yacón *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson, 1997 p. 210. <http://www.cipotato.org/market/PDFdocs/YaconLibro.pdf>

⁴ BREDEMANN, G. *Polymnia sonchifolia* Poepp. & Endl., (*P. edulis* Wedd.). Botánica Económica, citado por *ibid.*, p. 59.

En un corte transversal el xilema y floema en raíces jóvenes de 1 mm de diámetro, aparecen en 4 – 5 grupos en forma de cuña, que ocupan la mayor parte de la raíz. Están al principio separados por radios muy delgados de parénquima, que conforme crece la raíz aumentan de volumen hasta ocupar la mayor parte de ella; el fraccionamiento de los sectores de floema y xilema continúa hasta que en las raíces grandes éstos se reducen a una o dos filas radiales de células. Los tejidos corticales se expanden muy poco y es el parénquima intersticial el que determina el incremento de volumen de la raíz desarrollada.

El yacón se propaga vegetativamente. Para la siembra se arranca del tronco subterráneo un brote aéreo, de 10-20 cm de largo, en cuya base se hayan formado raíces. Al crecer este brote su punto inferior se engrosa considerablemente, los tejidos corticales y de la médula inician el almacenamiento de azúcares y pronto la base del tallo adquiere una forma elíptica, y su diámetro aumenta 5 o más veces del tamaño original.

1.2.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA

El yacón es una de las raíces de reserva comestibles con mayor contenido de agua. Según diversos autores entre el 83 y 90% del peso fresco de las raíces es agua. También acumulan cantidades importantes de potasio, compuestos polifenólicos derivados del ácido cafeico, sustancias antioxidantes como ácido clorogénico y triptófano y varias fitoalexinas con actividad funguicida. El contenido

de proteínas, lípidos, vitaminas y minerales es bastante bajo⁵, para indicar esto se presentan las Tablas 1 y 2 con valores de la composición de las raíces de yacón, obtenidas por diferentes fuentes.

Tabla 1 Composición química de raíces de yacón.

	PESO EN BASE FRESCA	PESO EN BASE SECA
Agua (%)	93 - 70	-
Ceniza (%)	0.3 - 2.0	1.1 - 6.7
Proteína (%)	0.4 - 2.0	1.3 - 7.3
Grasa (%)	0.1 - 0.3	0.4 - 1.0
Fibra (%)	0.3 - 1.7	1.0 - 5.7
Calcio (mg/g)	23	
Fósforo (mg/g)	21	
Hierro (mg/g)	0.3	
Retinol (mg/g)	10	
Caroteno (mg/g)	0.08	
Tiamina (mg/g)	0.01	
Riboflavina (mg/g)	0.1	
Niacina (mg/g)	0.33	
Acido Ascorbico (mg/g)	13	

Fuente: GRAU, A., REA, J. Yacón *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. 1997. p. 222.

Es común encontrar dos versiones acerca de los tipos de carbohidratos que están contenidos en el yacón, se encuentra, por ejemplo, en una de las investigaciones incipientes reportado que la raíz del yacón contiene un 10,20% de sacarosa, 0,64% de azúcares no reductores, Calvino⁶. La inulina sería el azúcar más abundante, como en otras Compuestas (dalia y topinambur). Sin embargo, informa que no ha determinado cristales de esa sustancia.

⁵ SEMINARIO J, *et al.* El yacón: Fundamentos para el aprovechamiento de un producto promisorio, 2003. p. 24, 25.

⁶ CALVINO, M. Una nuova pianta de foraggio è da alcole, la *Polymnia edulis*, citado por *ibid.* p. 60

En análisis de materia seca, Calvino informa que de plantas crecidas en San Remo (Italia) obtuvo hasta 61% de inulina⁷. Bredemann en muestras de Hamburgo halló de 66 – 69% de polisacáridos desconocidos semejantes a inulina⁸. Los almidones no se reconocen en el yacón en el análisis microscópico ni en la prueba del yodo.

Tabla 2 Composición química promedio de 10 entradas de yacón procedentes de Perú, Bolivia, Ecuador y Argentina, en relación a 1 Kg de materia comestible de raíz fresca.

VARIABLE	PROMEDIO	RANGO
Materia seca (g)	115	98 – 136
Carbohidratos totales (g)	106	89 – 127
Fructanos (g)	62	31 – 89
Glucosa libre (g)	3,4	2,3 – 5,9
Fructosa libre (g)	8,5	3,9 – 21,1
Sacarosa libre (g)	14	10 – 19
Proteína (g)	3,7	2,7 – 4,9
Fibra (g)	3,6	3,1 – 4,1
Lípidos (mg)	244	112 – 464
Calcio (mg)	87	56 – 131
Fósforo (mg)	240	182 – 309
Potasio (mg)	2282	1843 – 2946

Fuente: Hermann, *et al.*, 1999. Tomado de SEMINARIO, J. *et al.* El yacón: Fundamentos para el aprovechamiento de un producto promisorio. Perú, 2003. p. 25

Por otro lado investigaciones más recientes sostienen que varios carbohidratos son acumulados en las raíces de yacón: fructosa, glucosa, sacarosa, oligosacáridos de bajo grado de polimerización (3 – 10 fructanos) y trazas de almidón e inulina⁹. La inulina, un oligofructano con alto grado de polimerización, de

⁷ *ibid.*, p. 61

⁸ BREDEMANN, Op. cit., p. 60.

⁹ ASAMI, T. M. *et al.* Chemical composition of yacon, a new root crop from the Andean Highlands, citado por GRAU, A., REA, J. Yacón *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson, 1997 p. 221. <http://www.cipotato.org/market/PDFdocs/YaconLibro.pdf>

alrededor de 35, es un compuesto de almacenamiento principal en muchas plantas de la familia Compositae, tal como *Helianthus tuberosus* y la *Dalia sp*, sin embargo, en el yacón la inulina parece ser un componente menor. Por el contrario, oligofructanos con bajo grado de polimerización pueden llegar a un contenido superior al 67% de la materia seca en la cosecha. Los oligosacáridos purificados del yacón han sido identificados como $\beta(2\rightarrow1)$ -fructooligosacáridos con sacarosa terminal. La proporción relativa de oligofructanos y monosacáridos varía significativamente durante el ciclo de crecimiento y después de la cosecha llevando aparentemente a resultados contradictorios.

1.3. USOS DEL YACÓN

Los usos sugeridos a continuación han sido seleccionados de diversas fuentes que han recopilado las costumbres populares y propuestas que surgen del creciente interés de ampliar la variedad en la forma del consumo de yacón y hacer más fácil su introducción en el mercado.

1.3.1. Usos frescos

En mercados locales de los Andes el yacón se clasifica como una fruta y se vende junto a otros como chirimoyas, manzanas, piña, etc. y no con papas, oca, ulluco o arracacha. La raíz de reserva del yacón posee un sabor dulce agradable, se consume usualmente después de un período de secado al sol. Este

procedimiento incrementa el dulzor de las raíces y estos quedan listos cuando la piel empieza a arrugarse. Se consumen pelando la piel, o mezclando con otras frutas como plátano o naranjos.¹⁰

1.3.2. Uso procesado¹¹

- Chancaca, se puede obtener similar como se procede con caña de azúcar.
- Jarabes.
- Chips secos (secados y tratados con bisulfito de sodio), la raíz es pelada y luego cortada en rodajas bien delgadas. Estas son secadas a 60°C y luego almacenados por un tiempo indeterminado.
- Encurtidos de yacón.

1.3.3. Uso forrajero

Calvino reporta resultados de análisis químicos de las hojas y tallos en Italia, indicando valores de proteína bruta de 11.37% y 17.12% respectivamente¹². El National Research Council reporta que el yacón puede tener un potencial como forraje, indica además que el follaje crece adecuadamente bien y que el forraje seco contiene 11-17% de proteína, 2 a 7% de grasa y 38 a 41% de extracto libre

¹⁰ YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*). Universidad Nacional Agraria La Molina. La Molina, Lima. <http://www.lamolina.edu.pe/Investigacion/programa/yacon/Yacon.htm>

¹¹ SEMINARIO J, *et al.* El yacón: Fundamentos para el aprovechamiento de un producto promisorio, 2003. p. 49.

¹² CALVINO, M. Una nuova pianta de foraggio è da alcole, la *Polymnia edulis*, citado por YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*). UNALM. La Molina, Lima. Op. cit.

de nitrógeno¹³. Sin embargo señala que algunas clones de yacón pueden contener sesquiterpenlactonas en las hojas, lo cual limitaría su uso como alimento forrajero. Sin embargo los sesquiterpenlactonas tienen uso en Etnoveterinaria como antidiarreico y antimicrobiano.

1.4. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

En la actualidad el yacón ya se siembra en muchos países fuera de los Andes. La ruta migratoria que siguió ha sido plenamente identificada. En la década de los 60 el yacón salió por primera vez desde Ecuador hacia Nueva Zelanda, país en el que se adaptó bien, de ahí fue llevado al Japón, donde se realizaron los primeros estudios científicos que permitieron determinar su composición química y sus efectos favorables sobre la salud. En la Figura 3 se observan las regiones donde se centra el origen del yacón, allí se diferencian dos zonas, una donde existe variedad en especies *Sonchifolius* y otra que indica los lugares donde se cultiva, sin embargo en esta distribución faltarían las especies que han sido llevadas a otros países tanto del mismo continente como fuera de él.

¹³ NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Lost Crops of the Incas: Little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation, citado por SEMINARIO, J *et al.*, Op. cit., p. 237.

Figura 3 Distribución del yacón en la región Andina. La presencia dudosa en Colombia es presentada por un signo de interrogación.



Fuente: GRAU, A., REA, J. Yacón *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. 1997 p. 220. <http://www.cipotato.org/market/PDFdocs/YaconLibro.pdf>

2. MARCO TEORICO

2.1. HORTALIZAS

Las hortalizas son plantas herbáceas con partes comestibles para la alimentación humana, definida como aquella planta que se cultiva por poseer una parte comestible que se utiliza como alimento, habitualmente se consume cocida o cruda como parte principal de una comida y no como postre, en lo que se diferencia de una fruta.

El yacón, debido a su alto contenido en agua y sabor dulce, había sido considerado por los antiguos indígenas como una fruta, sin embargo a pesar de su bajo contenido energético está clasificado como hortaliza, tratándose de una raíz tuberosa.¹⁴

2.1.1. Clasificación

Las hortalizas son clasificadas según sus características botánicas, sus partes utilizadas como alimento, o por sus características morfológicas y fisiológicas. La clasificación botánica las agrupa en hojas, flores, bulbos, frutos y semillas, éstas últimas se subdividen en leguminosas y cereales. También se adopta, y en este

¹⁴ GRAU, Alfredo. Yacón *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. En: www.cipotato.org/market/ARTChermann/yacon.pdf. Tucumán, Argentina.

caso para la mayoría de la población, la clasificación comercial que las distribuye en hortalizas y verduras, frutas, tubérculos, leguminosas y cereales; teniendo en cuenta que las hortalizas y verduras abarcan las hojas, tallos, flores, inflorescencias, bulbos, raíces y frutos de la clasificación botánica.

En lo referente al modo de cultivar existen las huertas comerciales y caseras, familiares o escolares. La huerta comercial se dedica a la producción de hortalizas destinadas a la comercialización con el objeto principal de obtener beneficios económicos. Para las huertas caseras la utilidad comercial es un factor secundario. La huerta comercial produce por lo general para el consumo fresco en el mercado local, para mercados distantes y exportación, o para fines industriales.¹⁵

Las hortalizas, y en general la agroindustria de frutas y hortalizas en Colombia, han sido tipificadas bajo tres ramas denominadas agroindustria básica, avanzada y de exportación. Para el caso del yacón se van a ampliar las definiciones de las dos primeras, sin restarle importancia a la agroindustria de exportación, sólo que se considera que el yacón debe lograr los requisitos -en comparación- menos exigentes de las agroindustrias básica y avanzada antes de lanzarse a un mercado exportador.

¹⁵ HORTICULTURA. Manuales para la educación agropecuaria # 15. Editorial Trillas. Primera edición. México DF. 1982.

2.1.2. Agroindustria de Hortalizas

2.1.2.1. Agroindustria Básica: En ella se efectúa el procesamiento industrial mínimo para que un producto agrícola o pecuario pueda consumirse en el mercado interno. En este tipo de agroindustria se resalta lo siguiente:

- ✓ Existe tecnología estable y bien implantada en el país.
- ✓ Participación muy alta de los costos de la materia prima en el valor de la producción bruta, que hace depender críticamente las posibilidades de reducción de costos de las ganancias por eficiencia que se obtengan en la producción agrícola.
- ✓ Se presenta un conflicto potencial fuerte entre los intereses de los agricultores y de los industriales cuando la importación es fuente alternativa de materias primas, esto debido a que resulta más económico adquirir algunos productos importados que comprarlos en el mercado nacional.

2.1.2.2. Agroindustria Avanzada: Se trata del procesamiento opcional de bienes que podrían ser consumidos, y tradicionalmente han sido consumidos en su mayor parte sin transformación o con una transformación mínima. La “transformación avanzada” no necesariamente implica una tecnología compleja, o un producto final sofisticado, pero sí un grado adicional al mínimo requerido para que el producto primario estuviera en condiciones de ser consumido. Busca disminuir la perecibilidad del producto, mejorar sus características de demanda o ambas cosas a la vez. Este tipo de agroindustria se caracteriza por lo siguiente:

- ✓ La tecnología, aunque suele ser simple no necesariamente está bien establecida entre los productores de la materia prima o entre los industriales.
- ✓ La participación de la materia prima agropecuaria en el precio final del producto es inferior al que tiene en las agroindustrias básicas, puesto que buena parte del costo está representado por la transferencia, preservación, empaque, costos de venta, etc.

2.2. MARCO HISTÓRICO Y ECONÓMICO

En una visión panorámica del sector agrícola es notable que el sector hortofrutícola está limitado a la extensión de áreas cultivadas y éstas a su vez por la satisfacción de la demanda final de los productos frescos y salvo en algunos casos para procesamiento industrial. Sin embargo, en Colombia a partir de los años setenta se produjo una etapa expansiva, con aumento de firmas empresariales que lograron diversificar el mercado de productos procesados prevaletentes hasta ese momento.

Para la producción de frutas y hortalizas la tecnología empleada varía sustancialmente de un producto a otro, especialmente entre las especies arbóreas y rastreras, las cuales requieren condiciones de humedad, nutrientes y etapas de cosecha diferentes. No obstante las siguientes condiciones de producción son más o menos comunes a la mayoría de cultivos de este tipo:

- ✓ Generalmente se adaptan de manera fácil a una gran variedad de suelos y condiciones del terreno.
- ✓ Son cultivos que exigen temperatura y niveles de irradiación solar precisos dependiendo de la etapa de desarrollo en la que se encuentren.
- ✓ Uso de poca maquinaria, debido al nivel de explotación.
- ✓ Requieren bastante mano de obra, favoreciendo la producción en regiones donde ésta abunda.
- ✓ Los cultivos son relativamente intensivos en el uso de fertilizantes y plaguicidas, llegando a representar el 40% de los costos.
- ✓ Son productos altamente perecederos y delicados con necesidades especiales de empaque, transporte y comercialización.
- ✓ La escala de producción de los cultivos, por lo general es pequeña, no solo porque no parecen existir economías de tamaño significativo, sino por la referencia de los agricultores por una producción diversificada a razón de la inestabilidad de los mercados.¹⁶

Morales, plantea las limitantes para el sector microeconómico, con las que se logra tener una relación aproximadamente directa, en algunas de ellas, con el caso del yacón en el departamento del Quindío¹⁷; a saber:

¹⁶ FERNÁNDEZ R., J. La agroindustria de frutas y hortalizas en Colombia. En : Revista Nacional de Agricultura. Bogotá. No. 884, 1988. p. 178.

¹⁷ MORALES F., F. Hacia un programa estratégico de desarrollo agroempresarial. En : Revista Nacional de Agricultura. Bogotá. Nos. 922 – 923, 1998; p. 107.

- ✓ Elevados costos de producción ocasionados por el elevado valor de crédito y de la tierra, el gran peso de los insumos y maquinaria por el aumento creciente de impuestos.
- ✓ Deficiente transferencia tecnológica y de extensión rural.
- ✓ Deficiente e insuficiente formación y capacitación empresarial.
- ✓ Reducido desarrollo tecnológico.
- ✓ Escasez de empresas privadas o de origen académico, prestadoras de servicios productivos en las áreas rurales.

“En asuntos agropecuarios Colombia ha marchado en contravía a la historia universal de los pueblos, olvidándose que los grandes países de nuestro tiempo empezaron su despegue por el sector agrícola”¹⁸. Cabe recordar como los Chibchas tenían una vocación agrícola ya que subsistían del maíz, la papa, la yuca, el algodón, entre otros y además las plantas que se utilizaban con fines medicinales; pero esta vocación no coincidió con la voluntad de los gobernantes de aquella época, la corona española, quienes solo estaban interesados en la explotación minera y bovina, transformando así los grandes campos en pueblos pastoriles y mineros, hasta el punto de llegar a prohibir la siembra de productos como el tabaco y la caña de azúcar ya que estos eran exportados desde España. Sin embargo las razones expuestas anteriormente no son las únicas que pueden explicar la “desaparición” del yacón, pues existe la creencia que debido al

¹⁸ QUINTANA, A. Colombia: País con vocación agrícola por rescatar. En : Revista Nacional de Agricultura. Bogotá. Nos. 922 – 923, 1998. p. 35.

considerado bajo valor nutritivo por los antiguos agrónomos de la zona andina dejaron de estar interesados en él por dedicarse más al trabajo con papa (*Solanum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), o ulluco (*Ullucus tuberosus*). A esto se suma la desaparición del yacón y sus raíces en muchas áreas y diferentes etapas de la historia, en tiempos de crisis o hambre. En la actualidad la apreciación del yacón sería radicalmente diferente a la del pasado pues aunque las calorías son aún limitadas y críticas en varias regiones de la tierra, también a escala global el almidón, la glucosa y la fructosa son de fácil acceso y podría decirse que están disponibles por encima de los requerimientos dietarios. Bajo estas circunstancias, el yacón podría proveer las bajas calorías y la fibra necesaria para sobrevivir el estrés de los estilos de vida sedentarios y alto consumo de grasas y carbohidratos actuales.

2.3. ANÁLISIS FÍSICOS DE HORTALIZAS

2.3.1. Peso

Se hace en balanza triple brazo a varias unidades para luego hacer las medidas estadísticas apropiadas. En las operaciones de empaquetamiento es extremadamente importante el control del peso de producto.

2.3.2. Índice de Refracción

El índice de refracción depende tanto de la sustancia como de la longitud de onda de la luz utilizada, para las determinaciones en las que no se especifica la longitud

de onda se supone que se trata de la luz amarilla de una llama de sodio, es decir de 589 nm. Para su determinación se utiliza un refractómetro tipo Abbe.

2.3.3. Sólidos Solubles

Indican la cantidad de constituyentes solubles de un jugo, derivado de un vegetal o almíbar, en relación con el peso del mismo; están constituidos principalmente por azúcares. Se pueden determinar por refractómetro o aerómetro o también por sequedad al vacío a 100 °C por cuatro horas.¹⁹

2.3.4. Densidad

Este parámetro es igual a la masa de la sustancia dividida entre el volumen que ocupa, en el caso de sustancias líquidas o gaseosas, para los sólidos se considera por unidad individual. Se evalúa por el método de diferencia de peso con picnómetro.

2.3.5. pH

El pH es posible medirlo por medio de indicadores de pH o un potenciómetro, indicando la actividad del ion hidrógeno de la solución. El uso de indicadores en los sistemas de alimentos es limitado ya que por lo general los alimentos presentan color propio, provocando que los cambios en el color del indicador no

¹⁹ BERNAL, Harlin y MORA, John Fredy. Industrialización de Zanahoria. Armenia, 1989, 195 p. Trabajo de grado (Tecnólogo Químico en Productos Vegetales). Universidad del Quindío.

se vean con facilidad, esta razón lleva a que los valores de pH casi siempre se midan por medio de potenciómetros, los cuales ofrecen una mayor precisión.

2.3.6. Contenido de Pulpa en Jugo

La pulpa se define como la cantidad relativa al peso del vegetal que es aprovechable, ya que en la mayoría de ellos existen sólidos incorporados en el agua ya sea solubilizados o suspendidos. Se expresa como porcentaje de pulpa en el vegetal.

2.3.7. Humedad y Materia Seca

El agua representa el constituyente más abundante en las hortalizas y verduras, en las frutas, tubérculos y leguminosas verdes; sólo las leguminosas secas y los cereales presentan contenidos bajos, del orden del 10%. La determinación de esta propiedad se realiza por evaporación de agua del material en estufa.

2.3.8. Cenizas

Los elementos minerales formando parte de compuestos orgánicos e inorgánicos son difíciles de determinar tal y como se presentan en los alimentos. En los vegetales predominan los derivados del potasio. El contenido de cenizas se determina por medio de la incineración del material.

2.3.9. Actividad de Agua (a_w)

El término de actividad acuosa es empleado para representar el grado de interacción del agua con los demás constituyentes, o la porción que está disponible en un producto para sustentar las reacciones hidrolíticas, microbiológicas, químicas, etc. Con base en este valor puede predecirse la estabilidad de un alimento.

La actividad acuosa es una propiedad intrínseca y se relaciona con el contenido de humedad por medio de las curvas o isotermas de adsorción y desorción, y no debe confundirse con el contenido de agua ya que la relación no es lineal.

2.4. ANÁLISIS QUÍMICO

2.4.1. Azúcar Invertido

Con este nombre se conoce la mezcla de dextrosa y levulosa que se produce cuando se desdobra la sacarosa. Al examinar esta mezcla en un instrumento óptico llamado polarímetro, se encuentra que la luz gira en sentido contrario (inverso) que para la sacarosa, de ahí su nombre²⁰. Existen tablas que indican el contenido de azúcar invertido en una solución al 2% de producto analizado. Anexo Z.

²⁰ CAKEBREAD, Sydney. Dulces elaborados con azúcar y chocolate. Zaragoza, España, 1981.

2.4.2. Acidez Titulable

La medida de la acidez total o acidez titulable por el método acidimétrico se fundamenta en la reacción de neutralización de los ácidos con una solución patronizada de álcali, hasta el punto de equivalencia en un potenciómetro en el que la solución tenga un pH = 8,2.

2.4.3. Contenido de Pectina

Las sustancias pécticas hacen parte de un extenso grupo de polisacáridos vegetales con su estructura básica integrada por moléculas de ácido D-galacturónico unidas por enlaces glucosídicos D-(1,4), y en la cual algunos de los carboxilos pueden estar esterificados con metilos o en forma de sal. La pectina es precipitada por alcohol y se usa no solo en identificación sino también en preparación de pectinas comerciales.

2.4.4. Fibra Bruta

La fibra constituye un índice de las sustancias presentes en los alimentos de origen vegetal cuyo valor alimenticio es igual al del heno. Está constituida fundamentalmente por celulosa, lignina y pentosanas, al igual que de pequeñas cantidades de sustancias nitrogenadas de las estructuras celulares de los vegetales. Su determinación se basa en digestión ácido – básica bajo condiciones específicas.

2.4.5. Grasa Bruta (Extracto Etéreo)

Con este término se refiere al conjunto de las sustancias extraídas con éter etílico. Incluye además de los ésteres de los ácidos grasos con el glicerol, a los fosfolípidos, las lecitinas, los esteroides, las ceras, los ácidos grasos libres, los carotenoides, la clorofila y otros pigmentos.

2.4.6. Proteína

Las proteínas son responsables en gran medida de la textura y características reológicas de muchos alimentos. Existen diversos métodos para la cuantificación de las proteínas, el método Kjeldahl es el que más se utiliza e incluso se toma como referencia o comparación cuando se usan otras técnicas; con este procedimiento se mide el nitrógeno total de un alimento sin hacer distinción entre aquel que proviene de las proteínas y el no proteínico; dando lugar a errores en el cálculo. El “ensayo de fijación de colorante” inventado por Bradford, utiliza un colorante que se añade a una solución de proteína el cual se une a la proteína disponible, produciendo un complejo colorante-proteína, el cual tiene un máximo de absorbancia de 595 nm. Este ensayo proporciona una medida relativa y no absoluta de la proteína presente en la muestra.²¹

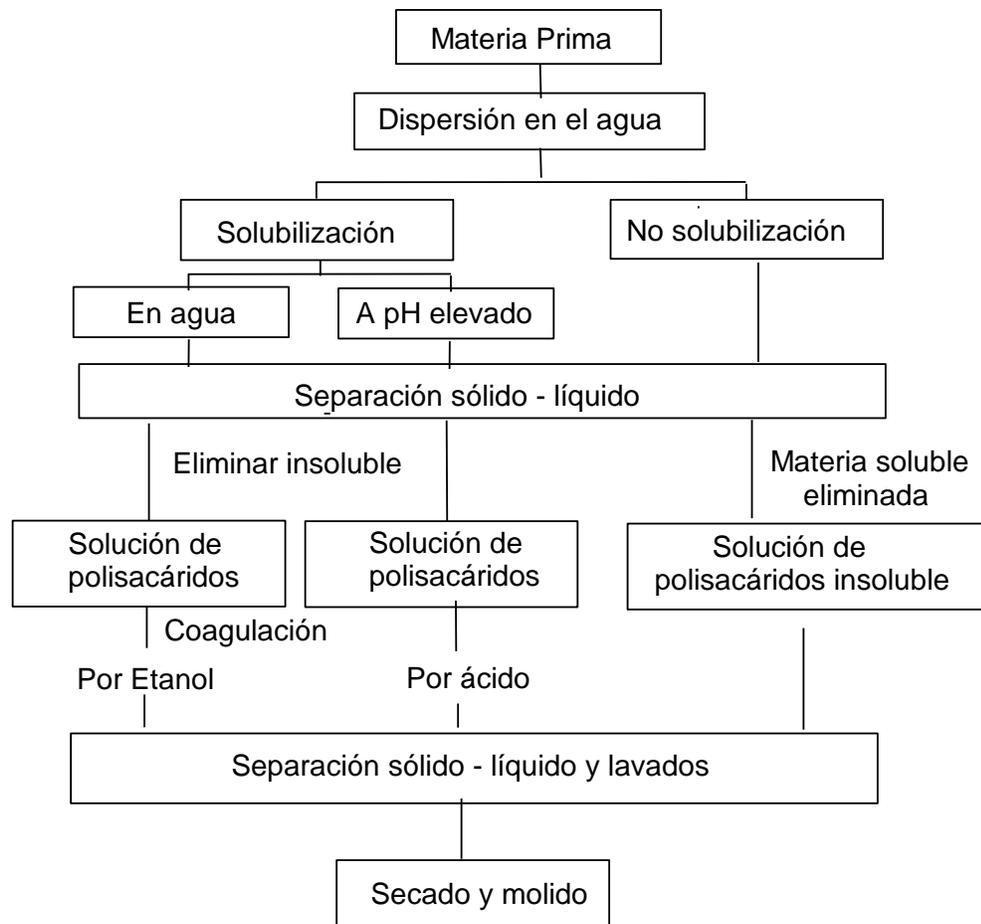
²¹ MILLER D., Dennis. Química de Alimentos : Manual de Laboratorio. Primera edición. México : Editorial Limusa S.A., 2001

2.5. GLICANOS

La diversidad de grupos funcionales en los glicanos es mucho menos grande que en las proteínas, por tal razón se comprende que las técnicas de extracción y de purificación sean menos numerosas y basadas únicamente en reacciones de precipitación que implican modificaciones de polaridad del medio o de las moléculas mismas.

Estos compuestos con estructura de polihidroxialdehído o de polihidroxiacetona, son la fuente más barata de alimentos de la naturaleza y por lo tanto los más consumidos por los seres humanos. Constituyen la principal reserva de energía radiante del sol. Por otra parte los azúcares simples no suelen encontrarse libres en la naturaleza, sino integrando polisacáridos, que a su vez forman parte de la estructura firme del producto, en cuyo caso no son digeribles, o bien sea como reserva energética. No habiendo ningún polisacárido con peso molecular bien definido, las técnicas de filtración molecular o de filtración a través de poros, utilizadas para las proteínas están poco adaptadas. Además al formar la mayor parte de los glicanos soluciones muy viscosas a baja temperatura surgen frecuentemente problemas de colmatado si se utilizan procedimientos de membrana. A continuación se presenta un diagrama general utilizado para la extracción de éste tipo de compuestos en la Figura 4.

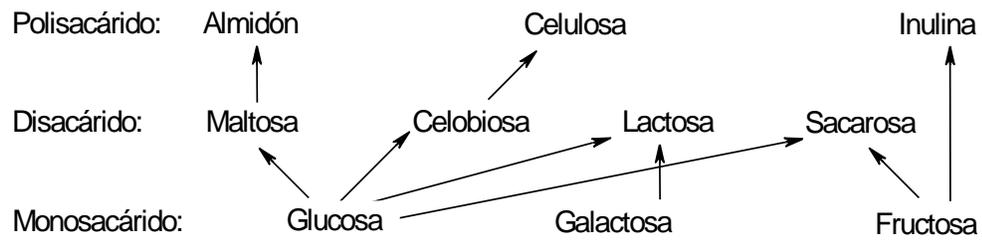
Figura 4 Esquema general para la extracción de los glicanos.



Fuente: LINDSEN, *et al.*, Bioquímica agroindustrial, 1996. p. 60.

La estructura química de los hidratos de carbono determina su funcionalidad y las características que repercuten de diferente manera en los alimentos, en la mayoría de los vegetales siempre existe una fracción de polisacáridos no digerible, denominada fibra cruda, que al no ser metabolizada por el organismo humano, se elimina en las heces y no produce energía. Los carbohidratos suelen clasificarse en tres grandes grupos: monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos (Figura 5).

Figura 5 Esquema de clasificación de glicanos



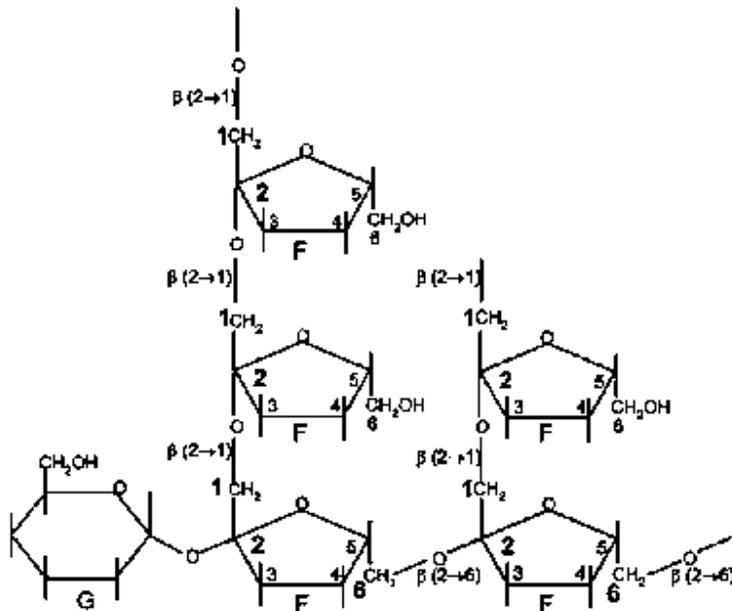
Fuente: HAJIAN, H. y PECSOK, R. L. Tecnología Química Moderna. 1984. p. 909 Tomo V.

2.5.1. Oligohósidos Vegetales

Numerosos vegetales contienen concentraciones importantes de oligosacáridos, constituidos por sacarosa alargada por un lado o por el otro, por uno o varios residuos de osas. Estos oligohósidos son indigeribles para el hombre.

2.5.1.1 Fructosanas: Son polímeros generalmente lineales, de moléculas de D-fructosa unida mediante enlaces glucosídicos $\beta(2\rightarrow1)$, que se encuentran como reserva energética en varios vegetales como la alcachofa y el maguey, además de algunas raíces y tubérculos, también es frecuente encontrar una molécula de glucosa al inicio de la cadena de cada fructano, (Figura 6). La inulina es la fructosana más difundida, su hidrólisis total produce, además de fructosa, de 5 a 6 % de moléculas de glucosa.

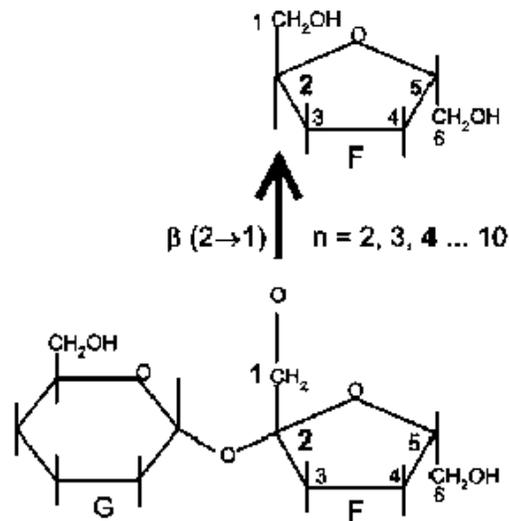
Figura 6 Polimerización de fructanos



Fuente: SEMINARIO J, *et al.* El yacón: Fundamentos para el aprovechamiento de un producto promisorio, 2003. p. 26

La inulina y los fructooligosacáridos (FOS) no tienen una composición química definida, ya que ambos son, en realidad, una mezcla de fructanos de diferente tamaño. Debido a que las moléculas de fructosa se unen exclusivamente por enlaces $\beta(2 \rightarrow 1)$, estos fructanos adquieren una conformación espacial semejante a cadenas lineales. La diferencia entre los FOS y la inulina radica en el número de moléculas de fructosa que tienen estas cadenas. Para el caso de la inulina este número varía entre 2 y 60, (Figura 7), mientras que en los FOS, que tienen cadenas más pequeñas el número varía entre 2 y 10.

Figura 7 Estructura detallada de los FOS. En la inulina se repite la estructura de la fructosa de 2 - 60 unidades



Fuente: SEMINARIO J, *et al.* El yacón: Fundamentos para el aprovechamiento de un producto promisorio, 2003 p. 26

2.5.2. Inulina

Este glicano resultado de la condensación de un varias unidades de D-fructosa en forma furánica es interesante por mas de una razón, pero es importante distinguir claramente la diferencia que existe entre los conceptos de inulina y FOS ya que las propiedades físicas y sus aplicaciones en procesos de la industria alimenticia son bastante diferentes. Por ejemplo, la inulina casi no tiene sabor dulce, su consistencia especial y su baja solubilidad relativa en agua (Ver Tabla 3) la convierten en un sustituto excelente de la grasa para la elaboración de varios tipos de alimentos. Los FOS en cambio son muy solubles en agua, tienen un ligero sabor dulce y eventualmente pueden ser utilizados como sustitutos hipocalóricos de azúcar común.

Tabla 3 Solubilidad de algunos carbohidratos.

SOLVENTE	D-GLUCOSA	FRUCTOSA	SACAROSA	INULINA
Agua	s.	muy s.	s.	poco s
Etanol	s. cal.	s.	cal. muy s.	i
Éter etílico	parcial	–	parc.	i
Acetona	–	cal.muy s.	–	poco
Benceno	–	–	i	poco
Piridina	s	s	–	i
Otro	MeOH s.	MeOH s.	–	HCOOH s.

Fuente: HANDBOOK OF CHEMISTRY AND PHYSICS. 51th Edition, 1970 – 1971. p. C-305,C-311, C-344, C-497.

En la Tabla 4 se encuentran otras propiedades físicas características de algunos carbohidratos de interés. Para el caso específico de la inulina se considera importante además por las siguientes razones:

- ✓ Por su poder gelificante, el cual contribuye a mejorar la estabilidad de las emulsiones y de los alimentos esponjados,
- ✓ Por su no degradabilidad en el organismo; se comporta como una fibra alimentaria y llega casi intacta al colon
- ✓ Por su bajo poder calórico, de 4 a 10 kJ.g⁻¹.

Tabla 4 Propiedades físicas de carbohidratos

	PM	COLOR	[α] _{20D}	P. F. (°C)
D-Glucosa	180.16		+52.7	146 - 150
Fructosa	180.16	Prisma	–133 –92	103 – 105
Sacarosa	342.03	Monoclínico	+ 66.37	185 – 186
Inulina	7000	Polvo blanco amorfo	– 38.3	178 d.

Fuente: HANDBOOK OF CHEMISTRY AND PHYSICS. 51th Edition, 1970 – 1971. p. C-305,C-311, C-344, C-497.

2.5.3. Oligofruetosa

La oligofruetosa se puede obtener a partir de la inulina; una de las materias primas más utilizada es la raíz de la achicoria. La inulina es extraída de ésta raíz por un procedimiento similar a la extracción de la sacarosa a partir de la remolacha azucarera (difusión en el agua).²²

2.6. LIXIVIACIÓN

Se trata del retiro de una fracción soluble, en la forma de solución de una fase sólida permeable e insoluble con que se asocia. La separación implica, por lo común, la disolución selectiva, con difusión o sin ella; pero en el caso extremo del lavado simple, consiste sólo en el desplazamiento (con cierta combinación) de un líquido intersticial por otro, con el que es miscible. El constituyente soluble puede ser sólido o líquido y estar incorporado, combinado químicamente o adsorbido, o bien, mantenido mecánicamente en la estructura porosa del material insoluble. El sólido insoluble puede ser masivo y poroso; con frecuencia es de partículas y ellas pueden ser de poros abiertos, de celdas o con paredes celulares selectivamente permeables.

El mecanismo de la lixiviación puede incluir una solución física simple o la disolución facilitada por una reacción química, la cual puede afectar a la rapidez

²² LINDEN, G. y LORIENT, D. Bioquímica Agroindustrial. Zaragoza, España : Editorial Acribia S.A., 1996. p. 263

de la lixiviación. Sea cual sea el mecanismo, resulta evidente que el proceso de la lixiviación se verá favorecido por el aumento de la superficie por unidad de volumen de sólidos que se deban lixiviar y por la disminución de las distancias radiales que se deben atravesar al interior de los sólidos. La disminución del tamaño de las partículas contribuye a ambas cosas. Así mismo la temperatura de lixiviación desempeña otro papel importante en la extracción, ya que las temperaturas más elevadas dan lugar a una mayor solubilidad del soluto en el solvente y, en consecuencia, es posible lograr concentraciones finales más altas en el licor lixiviado. Siendo menor la viscosidad del líquido y mayor la difusividad se incrementan los regímenes de lixiviación.

Generalmente es preferible lixiviar a la más alta temperatura posible, pero en el caso de algunos productos naturales, las temperaturas demasiado altas pueden conducir a lixiviar cantidades excesivas de solutos indeseables o al deterioro químico del sólido.

Debido a la gran variedad de aplicaciones y su importancia para varias industrias antiguas, la lixiviación tiene varios otros nombres. Entre los que se encuentran en la práctica están la extracción, la extracción de sólido-líquido, la percolación, la infusión, el lavado y la decantación por sedimentación.

2.7. FERMENTACIÓN

2.7.1. LEVADURAS

Son seres de mayores dimensiones que las bacterias, también unicelulares y con formas variables. Pueden tener de 2 a incluso 100 micras de longitud y de 2 a 10 micras de diámetro. Al igual que las bacterias, tienen núcleo, citoplasma, pared celular y membrana citoplasmática. El núcleo no tiene membrana de separación y queda incluido dentro del citoplasma, en esta puede haber una o más vacuolas, que son bolsas con material de reserva (azúcares y grasas) o con productos de desecho del metabolismo celular.

Las levaduras se reproducen de dos formas:

1. Por gemación. A la levadura le sale una protuberancia con formación de un nuevo núcleo y compartiendo el citoplasma durante un periodo de tiempo, después se forma una doble pared de separación.
2. Por esporas, que se forman dentro de la célula que se abre cuando estas maduran. Esas esporas se desarrollan posteriormente, reproduciéndose por gemación si las condiciones del medio son adecuadas.

2.7.1.1. Condiciones para el desarrollo de las levaduras

Como cualquier ser vivo las levaduras necesitan una serie de condiciones y elementos para poder desarrollarse, entre los más importantes se destacan:

- ✓ Nutrientes, las levaduras necesitan carbohidratos, proteínas, vitaminas y sales minerales
- ✓ Humedad, aunque es necesaria lo es menos que para las bacterias
- ✓ Temperatura, las levaduras no son muy resistentes a los cambios de temperatura, el intervalo óptimo de crecimiento es 20 – 30 °C, no soportan temperaturas por debajo del punto de congelación del agua ni superiores a 47 °C.
- ✓ Oxígeno, con O₂ se desarrollan más rápidamente, produciendo CO₂ y agua como productos de desecho del metabolismo. En ausencia de este crecen más lentamente produciendo etanol y CO₂.
- ✓ Acidez del medio, el pH óptimo es de 4,5 – 5,0 aunque pueden sobrevivir en condiciones con valores de 3 – 7,5.

Tradicionalmente varias especies del género *Saccharomyces* han estado relacionadas con la producción de bebidas alcohólicas, dentro de las que se destacan: *S. cerevisiae*, *S. ovarum*, *S. carlbergensis*, *S. bayanus*, *S. ellipsoideus*, *S. chevalieri*, *S. oviformis*, *S. italicus*, *S. capensis*, *S. vini*, *S. sake*, etc. La taxonomía clásica de las levaduras se basa en características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas como son la forma de las células, la apariencia de los cultivos, la tolerancia a diferentes condiciones de cultivo la posibilidad de asimilar o fermentar diferentes sustratos, aunque estas metodologías siguen siendo muy valiosas y ampliamente utilizadas por los taxónomos, son a menudo insuficientes para establecer con precisión la filogenia de las levaduras. La biología molecular

ha dado valiosas herramientas para establecer con mucha precisión la clasificación de las levaduras.

2.8. VISCOSIDAD

La viscosidad puede definirse de un modo sencillo como el rozamiento interno que actúa dentro de un fluido, esto es, su resistencia a fluir. Durante algunas operaciones la viscosidad puede variar considerablemente, en particular en los procesos que implican calentamiento, enfriamiento, homogenización y concentración, así como durante fermentaciones industriales mediante hongos.

a) Líquidos ideales. El líquido ideal está representado por el líquido Newtoniano Muller²³. Carece de estructura (ya que no hay átomos), es isótropo (presenta las mismas propiedades en todas las direcciones) y sigue con exactitud sus leyes correspondientes. En los fluidos conocidos como fluidos newtonianos existe una relación lineal entre la fuerza de cizalla y el gradiente de cizalla, ésta relación es definida como la viscosidad dinámica o coeficiente de viscosidad.

Los gases tienen valores más bajos de viscosidad que los líquidos. Líquidos como el agua, soluciones diluidas y solventes orgánicos están considerados como fluidos de baja viscosidad. Conforme aumenta la concentración de sólidos, la

²³ MULLER, H.G. An introduction to Food Rheology. London, 1973, citado por LEWIS, M. Propiedades Físicas de los Alimentos, 1993. p. 102

viscosidad aumenta, lo cual se puede observar durante operaciones simples como la evaporación y la ósmosis inversa donde la viscosidad se eleva.

b) Efecto de la temperatura. La viscosidad depende también mucho de la temperatura. Todos los líquidos disminuyen su viscosidad cuando aumenta la temperatura. Por esta razón la temperatura debe controlarse con un error máximo de 0,1 °C durante las determinaciones de viscosidad.

c) Comportamiento no newtoniano. Infortunadamente, hay muchos fluidos no newtonianos, es decir, no hay relación directa entre la fuerza de cizalla y el gradiente de cizalla. Algunos ejemplos de fluidos no newtonianos son las soluciones concentradas de macromoléculas (almidones, proteínas y gomas), y materiales coloidales.

Los fluidos no newtonianos son más difíciles de utilizar y caracterizar de forma experimental, puesto que la viscosidad dependerá de las condiciones experimentales seleccionadas. La viscosidad registrada bajo esas condiciones se denomina viscosidad aparente. Estos fluidos pueden subdividirse en dos grupos principales, dependientes e independientes del tiempo y su diferencia radica en la dependencia o independencia de la viscosidad aparente con un proceso previo de cizallamiento.

2.8.1. DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD

Existen varios modelos para realizar la determinación de viscosidad, existen los viscosímetros de flujo laminar, los cuales utilizan la relación existente entre la caída de presión y la tasa de flujo volumétrico, donde una relación no lineal es indicativa de un fluido no newtoniano y si la relación es lineal es muy probable que el fluido sea newtoniano.

Los viscosímetros capilares de flujo, o de un tubo en U debido a la forma del mismo, son relativamente económicos y se basan en el tiempo que tarda el fluido en caer de una marca superior a otra inferior debido a la presión hidrostática. Otro ejemplo de viscosímetros de flujo laminar son los de caída de bola, no obstante ninguno de estos dos tipos de viscosímetros son adecuados para discernir si un fluido es o no newtoniano.

Los viscosímetros rotacionales si son indicados para caracterizar fluidos no newtonianos ya que se basan en el principio de que en una situación de agitación el gradiente de cizalla es proporcional a la velocidad de rotación. Por lo tanto, ya se trate de un fluido newtoniano o no newtoniano la fuerza de cizalla conforme cambia el gradiente de cizalla podrá medirse y de esta manera lograr caracterizarlos. Dentro de este grupo se encuentran los viscosímetros de cilindros concéntricos, de cono y placa, varilla simple y varilla en T.

2.9. SECADO

El secado de sólidos es una operación en la que se separan pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo, ya que secado es un término relativo y tan solo se refiere a la reducción del contenido de líquido.

Este contenido de líquido en una sustancia seca varía de un producto a otro, los sólidos que se secan pueden tener formas diferentes –escamas, gránulos, cristales, polvo, tablas o láminas continuas– y poseer propiedades muy diferentes.

Al realizar el secado de cualquier producto se pasa por varias etapas para finalmente llegar a una fase de equilibrio. Esto se debe a que cuando un sólido húmedo se pone en contacto con aire de una humedad inferior a la correspondiente al contenido de humedad del sólido dada por la curva de humedad de equilibrio, el sólido llega a perder humedad y secarse hasta alcanzar el equilibrio con el aire. Los datos de equilibrio para sólidos húmedos generalmente se expresan mediante relaciones entre la humedad relativa del gas y el contenido de líquido del sólido, en masa de líquido por unidad de masa de sólido completamente seco.

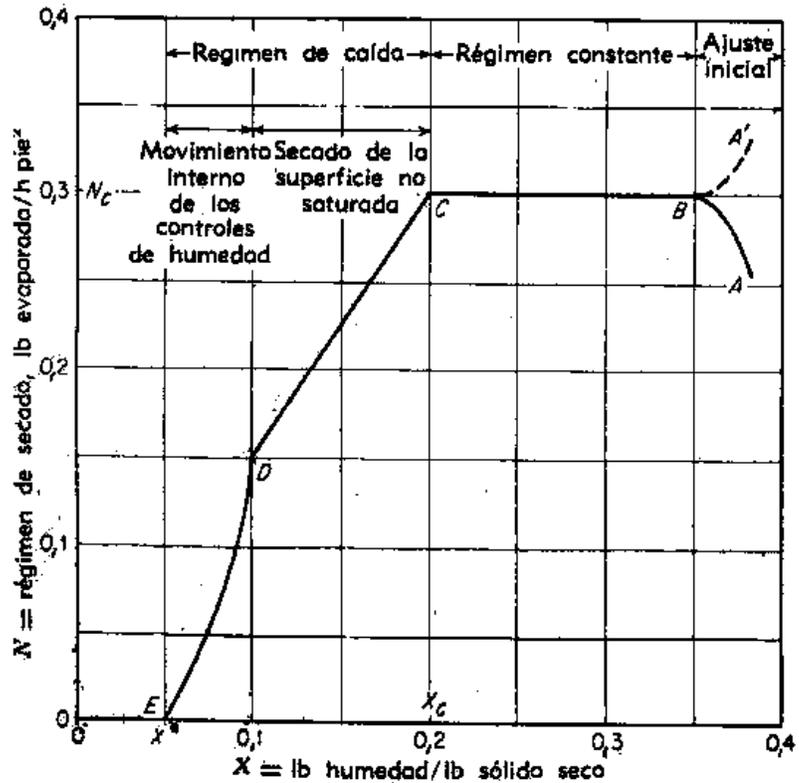
2.9.1. Características del secado

La humedad de equilibrio se trata de la porción de agua del sólido húmedo que no puede ser separada por el aire que entra, debido a la humedad de éste. El agua libre llega a ser la diferencia entre el contenido total de agua del sólido y el contenido de agua en el equilibrio.

El agua ligada corresponde a aquella que existe en una sustancia hasta la menor concentración que está en equilibrio con aire saturado, esta agua ejerce una presión de vapor menor que la del agua líquida a la misma temperatura. El agua ligada puede existir en diferentes condiciones. El agua en sustancias orgánicas naturales está física y químicamente combinada y su fuerza de unión varía con la naturaleza y el contenido de humedad del sólido. De otro lado, el agua no ligada ejerce toda su presión de vapor y se encuentra generalmente en los huecos del sólido. Por último la distinción entre agua ligada y no ligada depende del material, mientras que la distinción entre la humedad libre y la de equilibrio depende de las condiciones del secado.

Curva de régimen de secado. Generalmente, en esta curva hay dos partes notorias, un periodo de régimen constante y uno de caída del régimen. Aunque para distintos sólidos y con diferentes condiciones de secado se tendrán curvas de distinta forma en el periodo de caída del régimen, la curva que se muestra en la Figura 8 se producirá con frecuencia.

Figura 8 Curva típica del régimen de secado, condiciones constantes de secado.



Fuente: TREYBAL, *et. al.* Operaciones con transferencia de masa, 1970. p. 667.

Periodo de velocidad constante, este periodo, que puede no existir si el contenido inicial de humedad del sólido es inferior a un cierto valor mínimo, se caracteriza porque la velocidad de secado es independiente del contenido de humedad, esto hace que haya un manto de agua sobre el sólido evaporándose continuamente. En la Figura 8 está representada por el segmento horizontal BC.

En un sólido poroso, la mayor parte de agua separada durante el periodo de velocidad constante corresponde a la existente en el interior del sólido. En este periodo la velocidad de secado por unidad de área, N, puede estimarse con

bastante precisión a partir de las correlaciones desarrolladas para evaporación desde la superficie libre de un líquido.

Al terminar el período de velocidad constante, la película de agua que cubría toda la superficie del sólido ahora es insuficiente para cubrir el área de secado, lo que ocasiona la aparición de manchas secas sobre la superficie y la humedad alcanza un contenido crítico representado por el punto C de la Figura 8. A partir de este momento empieza un período denominado de velocidad decreciente hasta alcanzar el punto D. La forma de la curva en el período de velocidad decreciente varía de un material a otro, del espesor del material y de las variables externas, es por esta razón que en algunos casos la curva de secado sufre un cambio distinto, cambiando a su vez el mecanismo de secado y que conduce a la aparición de un segundo punto crítico; de éste punto en adelante la curva reflejará cambios característicos para materiales porosos y no porosos o de poro grueso y poro fino.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1. METODOLOGÍA

3.1.1. PREPARACIÓN DEL MATERIAL, DE LOS REACTIVOS Y MUESTRAS.

La recolección de los tubérculos se realiza durante cinco semanas diferentes de la Finca Los Girasoles, ubicada en el Km 8 Vía Pueblo Tapao, en horas matutinas, se efectúa un concienzudo lavado y luego se secan al aire libre. De allí se pesa cada tubérculo por separado. Posteriormente se preparan las muestras para cada uno de los análisis; se les retira el pericarpio a aquellos que se utilizan; una parte del material se pica para las determinaciones de humedad, cenizas, fibra bruta, grasa bruta y actividad de agua; otra parte del material es licuado para los análisis en los cuales se utiliza el jugo, tales como pH, densidad, °Brix e índice de refracción; para los análisis de pulpa en fruto, proteína, acidez, pectina y azúcar invertido se utilizó la pulpa de yacón, el material sobrante es conservado en un lugar limpio y fresco para los procedimientos de extracción propuestos. Con el material así preparado se procede según lo indicado para cada procedimiento (Ver anexos A – R).

Los reactivos a emplear se estandarizan cada semana previamente a la realización de las determinaciones.

3.1.2. OBTENCIÓN DE LOS EXTRACTOS PARA LAS PROPUESTAS DE EXTRACCIÓN DE INULINA.

Se evaluaron cuatro propuestas diferentes para la posible extracción de inulina del yacón por medio de diagramas adaptados del diagrama general para la extracción de glicanos de la Figura 4. Se contaba inicialmente con dos planteamientos, los cuales de acuerdo a los resultados obtenidos serían ajustados o cambiados en el curso de la práctica, ya que se está empleando la técnica de ensayo y error para probar la utilización de un método económico que logre extraer la inulina, que se espera esté presente en el yacón.

3.1.2.1 Infusión

El material se pica en pequeños cubos y se procede según el Anexo T. Se elabora una bolsa hecha en tela a modo de bolsa de té de dimensiones adecuadas para contener 500 g de yacón fresco. El recipiente en el cual se hace la infusión permanece a 70°C utilizando para este fin una plancha de calentamiento con control de temperatura manual. Después de cinco horas se retira la bolsa del recipiente y el extracto se concentra hasta 100 mL de volumen aproximadamente.

3.1.2.2. Fermentación

Para este procedimiento se utiliza el jugo de yacón, que se obtiene al licuar el yacón picado en pequeños cubos, luego se continúa con el diagrama del Anexo U.

La levadura empleada fue levadura comercial marca Fleishman[®], normalmente utilizada en repostería.

Se adecuó un recipiente plástico, como se indica en la Figura 9, que impidiera la entrada de oxígeno logrando de esta manera que fuera un proceso anaeróbico, propio del metabolismo de la levadura.

Figura 9 Montaje para fermentación.



Luego de diez días se detiene la fermentación, se efectúa un trasiego para separar y eliminar la biomasa del jugo fermentado, para continuar con el procedimiento descrito en el anexo mencionado.

3.1.2.3. Maceración acuosa

Para este método se emplea un agitador eléctrico con control de velocidad manual y mezclador de hélice plegada, adicionalmente se utiliza una plancha de

calentamiento con control de perilla. El yacón se pica en pequeños cubos. Se sigue el procedimiento del Anexo W.

3.1.2.4. Maceración en etanol

El yacón es picado en pequeños cubos, se seca en estufa a 50 °C, el etanol empleado se obtiene de la Empresa de Licores del Quindío “Licoquindío”, siendo etanol de 96°, a continuación se emplea el mismo tipo de agitador de la maceración acuosa y se continúa según el Anexo V.

Para llevar control de los procedimientos de extracción se toman muestras de extracto para medir las propiedades de pH y °Brix, y hacer pruebas cualitativas para carbohidratos.

3.1.3. PRUEBAS CUALITATIVAS PARA CARBOHIDRATOS

Se realizan las pruebas usualmente utilizadas para la caracterización de carbohidratos a cada uno de los extractos observando su respuesta frente a los reactivos. Para indicar los resultados de las pruebas se utilizan los símbolos mas (+) y menos (-) así: ausencia de carbohidratos se representa con el signo negativo (-), poca evidencia de carbohidratos con un signo positivo (+), la concentración moderada de carbohidratos se representa con dos signos positivos (++), con tres signos positivos (+++), se indica la presencia abundante de carbohidratos, y un símbolo positivo entre paréntesis [(+)] denota la presencia dudosa de carbohidrato.

3.1.4. VISCOSIDAD

Con la segunda fracción de los extractos se procede a hacer un seguimiento de la concentración final, tomando como parámetro la viscosidad, para luego transferirlos a diferentes temperaturas de enfriamiento. La viscosidad es medida con un viscosímetro Cannon–Fenske 51320 Capilar 200 $\phi_i = 1,01$ mm. Aunque éste viscosímetro no es útil para diferenciar entre un fluido newtoniano de uno que no lo sea, puede utilizarse para llevar un control no muy riguroso de la concentración aproximada del jugo a medida que se evapora el agua.²⁴

El extracto que se obtiene por infusión es concentrado y se separan tres fracciones de diferentes viscosidades para evaluar la sedimentación a tres temperaturas diferentes, además observar el tipo de sólido formado.

3.1.5. SECADO

Se realiza una prueba de secado para el yacón fresco en una balanza de humedad con fuente de infrarrojo a 110 °C hasta peso constante. En esta prueba se somete una muestra de yacón a un secado bajo condiciones constantes de secado, esto es, exponerla a aire de temperatura, humedad y velocidad constantes.

²⁴ LEWIS, M. J. Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado. Primera edición. Zaragoza, España : Editorial Acribia p. 120

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El promedio de los parámetros físicos y químicos analizados se obtiene realizando tres determinaciones por cada semana de recolección, es decir cinco plantas. Los resultados de cada una de las plantas analizadas se encuentran tabulados para los parámetros físicos en el Anexo K, y para los análisis químicos en el Anexo S. Los análisis físicos correspondientes se encuentran tabulados en la Tabla 3.

4.1. PARÁMETROS FÍSICOS

4.1.1 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS

Con respecto al peso, la variabilidad de éste en el yacón es alta, viéndose afectado por factores como duración del cultivo, variedad, condiciones de cultivo (fertilizantes, riego, densidad de siembra, entre otros), el tipo de suelo y las condiciones climáticas; por tanto no se considera apropiado definir un valor medio sino un intervalo de peso dentro del que se pueda encontrar, con base a esto el rango que se da del peso del yacón recolectado es entre 25 – 1900 g. Para los pesos por yacón de cada planta se puede ver el Anexo B.

La actividad de agua determinada en el yacón es cercana a la unidad, que es la característica del agua pura, además de su alto contenido de humedad, con lo cual se podría esperar una gran susceptibilidad al deterioro del tubérculo. En el

Anexo 1, se puede observar que la principal característica de los alimentos que poseen un a_w superior a 0.95 es el ser altamente perecederos. Sin embargo, es de resaltar la gran estabilidad del tubérculo ya que con el paso de varias semanas éstos no se descomponían si el pericarpio se encontraba sano, por el contrario si se observó la evidente pérdida de agua ocasionada por la transpiración del tubérculo.

Tabla 5 Resultados de los análisis físicos para el yacón, *Smallanthus sonchifolius*.

ANÁLISIS	MEDIA
Actividad de agua (A_w)	0,99
Cenizas, (%)	1,40
Densidad, (g/mL)	1,05
Humedad, (%)	88,34
Índice de refracción (n)	1,349
Materia seca (%)	11,66
°Brix	11,17
pH	6,14
Pulpa en fruto, (%)	13,70

Fuente: Autores

Las cenizas se destacan como la contribución más importante para la dieta humana, ellas contienen los elementos inorgánicos de interés nutricional como es el caso del calcio, fósforo, y potasio, entre otros. Los contenidos en frutas y vegetales en general van desde niveles de 0,1% hasta 4,4%, para el yacón se obtuvo un valor que cabe dentro de éste rango, sin embargo las diferencias

presentadas en el contenido de cenizas están dadas por las condiciones del clima, del suelo, prácticas de fertilización del cultivo y edad de la planta.

La densidad en los jugos frutos frescos se encuentra directamente relacionada con el contenido de agua de estos, en el jugo de yacón es de 1.055 g/mL, cercana a la densidad del agua pura a 4°C, este resultado se debe en gran medida por el elevado contenido de agua presente en el tubérculo.

El porcentaje de sólidos solubles se refiere a la concentración de sacarosa además de otros azúcares solubles en agua, dentro de éstos no se contempla la inulina ya que como es indicado en la Tabla 1 es poca su solubilidad en ella. El material analizado por medio de los °Brix, aplicando la corrección a 25°C, en el yacón reporta un 11,17% de azúcares hidrosolubles como glucosa, fructosa y otros de bajo grado de polimerización, valor que es congruente con las versiones de otros autores con respecto al contenido de carbohidratos simples.

El índice de refracción que se obtuvo para el yacón fue de 1,349; éste número, representa el número de veces que es mayor la velocidad de la luz en el vacío que en ese medio, por lo cual se puede medir la calidad de un producto. La bibliografía sobre el yacón no reporta ningún valor para esta variable por lo tanto no es posible comparar el resultado obtenido con otro de referencia, pero durante todas las mediciones alcanzó un valor prácticamente constante (Ver Anexo K).

Para el pH, se encontró que el jugo es de carácter levemente ácido y más bien con cualidades neutras, este comportamiento es natural en los tubérculos y hortalizas frescas cuyos valores fluctúan entre 5 y 7, variación que puede relacionarse con los cambios producidos durante el proceso de maduración de las raíces en el que ocurre una disminución en la acidez total titulable y con esto, una disminución de la concentración de iones hidrógenos presentes.

El contenido de pulpa para el yacón es del 13,70%, claramente se puede deducir que la cantidad de pulpa presente es muy baja si este se compara con el reportado para la zanahoria, que es del 87,82%²⁵.

4.2. PARÁMETROS QUÍMICOS

El yacón al igual que las todas las especies vegetales están constituidos por tejidos vivos y por lo tanto metabólicamente activos, este hecho hace que durante el almacenamiento sufran permanentes cambios de composición, adicional a esto el tipo de suelo y las características del cultivo afectan directamente las propiedades de la planta, en la Tabla 6 se presenta la composición química para la especie en estudio, estos datos pueden ser comparados con los de las Tablas 1 y 2, teniendo en cuenta los factores anteriormente mencionados.

²⁵ BERNAL, Harlin y MORA, John Fredy. Industrialización de Zanahoria. Armenia, 1989, 195 p. Trabajo de grado (Tecnólogo Químico en Productos Vegetales). Universidad del Quindío. Facultad de Educación.

Tabla 6 Resultados de los análisis químicos para el yacón, *Smallanthus sonchifolius*.

ANÁLISIS	MEDIA
Grasa, (%)	0,81
Fibra, (%)	4,33
Proteína, (%)	0,79
Acidez, (%)	0,31
Pectina, (%)	0,33
Azúcar invertido, (mg/100 mL)	51.9

Fuente: Autores

4.2.1 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS QUÍMICOS

El porcentaje de acidez que se halló experimentalmente se calculó con respecto al ácido ascórbico, ácido predominante del yacón²⁶, y con el que se expresa en la mayoría de frutas y verduras. Se presentó alta variabilidad en los resultados, lo cual se ve directamente afectado por el tiempo de cosecha, frente al que no se tuvo control debido a que la materia prima se escogía de acuerdo a la madurez aparente de la planta. Aún así la baja acidez observada en el yacón concuerda con el pH de 6,14 el cual ya se explicó con anterioridad.

La presencia de los oligofructanos en el yacón influye evidentemente en la cantidad de azúcar invertido, dado que están conformados por fructosa unida por

²⁶ ANGULO, Horacio, El Yacón, Universidad Nacional del Altiplano – Puno. www.agroindustrias.org. p. consultada: 30/07/2003

enlaces β , al producirse la hidrólisis se forma la mezcla glucosa-fructosa que da origen al azúcar invertido lo cual implica la alta presencia de éste azúcar en el yacón.

El contenido de fibra presenta un valor elevado debido a que algunas raíces presentaban en el centro de la raíz ciertos filamentos fibrosos que permanecían hasta el final del ensayo, es posible que el contenido de fibra en el material analizado reporte estos valores a causa de las condiciones de cultivo de donde proviene, debido a que la proporción de celulosa y hemicelulosa varía de un tejido a otro y de acuerdo a la madurez de las raíces.

Los vegetales, con excepción de los cereales y algunas frutas, como el aguacate y la aceituna, no se caracterizan por el alto contenido de grasa (alrededor del 1%), a pesar de esto el yacón presentó un elevado contenido de esta comparado con los reportados en otras investigaciones, esto se puede atribuir a que el solvente utilizado no fue éter etílico como se recomienda en la literatura, sino gasolina comercial rectificada, en cuyo contenido podía encontrarse grasa u otra sustancia oleaginoso disuelta.

La proteína reportada en el yacón es propia del grupo de los tubérculos, quienes, a excepción de las leguminosas y los cereales, no se destacan por tener un alto contenido de este componente (aproximadamente el 1%), además ese dato

corresponde, en su mayoría, a sustancias nitrogenadas no proteicas tales como aminoácidos libres.

4.3. ESTANDARIZACIÓN DE LOS REACTIVOS PARA LAS PRUEBAS CUALITATIVAS DE CARBOHIDRATOS

Utilizando las pruebas cualitativas para carbohidratos como Benedict, Fehling y Tollens se pueden reconocer todo tipo de azúcares que sean reductores, produciendo cambios de coloración, precipitado y en el caso de la última prueba un espejo de plata característico. La prueba de la orcina²⁷ es específica para la inulina, pero no hubo fuentes que reportaran el cambio que debería presentarse en la verificación de ella y no se observó ningún cambio al realizar la prueba con un patrón de inulina. El lugol es utilizado para reconocer la presencia de almidón, como era de esperarse ninguno de los patrones utilizados produjo coloración azul particular a esta prueba cuando contiene almidón.

Para los carbohidratos donde la función hemiacetal está libre estas pruebas dan positivas, como es el caso de la glucosa y la fructosa; en la sacarosa y la inulina esto no ocurre y por tanto no reacciona, como se observa en la Tabla 7.

²⁷ LLEONART, J. *Et al.* Manual de Soluciones para Laboratorio, Barcelona : Gráficas Diamante, 1983. p. 67.

Tabla 7 Reacciones de reconocimiento para carbohidratos. Estandarización de reactivos.

CARBOHIDRATO	Benedict	Fehling	Tollens	Orcina
Glucosa	+++	+++	+++	-
Fructosa	+++	+++	+++	-
Sacarosa	-	-	-	-
Inulina	(+)	(+)	-	-

Fuente: Autores

4.4. ANÁLISIS DE PRODUCTOS FINALES

ENSAYO 1

Las soluciones obtenidas luego de cada ensayo eran evaluadas con los parámetros de °Brix y pH, los cuales indican la cantidad de material soluble (sacarosa en su mayoría) presente, y con el pH la posibilidad de producirse hidrólisis. Para las condiciones iniciales en el método por infusión el yacón está en cubos, por tal razón no se determinan las propiedades en esta etapa, Tabla 8.

Tabla 8 Propiedades medidas a los extractos obtenidos por fermentación e infusión de yacón.

	Condiciones Iniciales			Condiciones finales		
	V (mL)	pH	°Brix	V (mL)	pH	°Brix
Fermentación	925	6,13	14,6	750	3,65	3,5
Infusión	1250	-	-	1200	6,4	7,8

Fuente: Autores

Fermentación: El extracto fermentado se concentra hasta 650 mL y se deja sedimentar durante quince días bajo refrigeración, después de esto se concentra hasta obtener 100 mL de volumen y se refrigera durante cinco días más. Se adiciona etanol, en la superficie hay formación de una capa insoluble, la cual es transferida a otro recipiente, se evapora el etanol y se observan algunos cristales de color café claro, con forma triangular que se agrupan de manera circular. PF = 154 °C. Los cristales son higroscópicos y se funden hasta desvanecer completamente a pesar de dejarlos en refrigeración y luego en desecador.

Infusión: El material picado en cubos se deja durante cinco (5) horas en agua a 70 °C. El color del extracto obtenido es café oscuro, se concentra hasta la mitad del volumen con lo que los °Brix aumentan a 9,3. Es transferido a refrigeración y luego de 10 días se observa signos de descomposición pero no de sedimentación ni formación de material insoluble.

Nota 1. De acuerdo a las observaciones de este primer ensayo se plantean otros dos procedimientos, uno por Maceración acuosa y otro por Maceración etanólica para verificar la precipitación de la inulina a partir del jugo obtenido. Con el proceso de fermentación se observó una buena oportunidad para lograr precipitar un sólido que fuera posible caracterizar, por tal razón fue realizado nuevamente con dos repeticiones, descritas en el Ensayo 4.

ENSAYO 2

En este ensayo se utilizaron cantidades diferentes de etanol y de agua a razón de la hidratación que experimenta el yacón en éste último, causando que el tamaño del sólido fuera mayor. En la Tabla 9 se encuentran las condiciones utilizadas en estos métodos.

Una parte del extracto de la maceración acuosa fue tratado con carbón activado para retirar el color café oscuro del jugo. La fracción decolorada con el carbón activado fue muy poca y casi imperceptible, aunque cambió a un tono translúcido.

Tabla 9 Propiedades medidas a los extractos obtenidos por maceración acuosa y maceración etanólica de yacón.

Maceración	Condiciones iniciales			Condiciones finales (extracto concentrado)		
	V (mL)	pH	°Brix	V (mL)	pH	°Brix
En H ₂ O 1	1000	5,17	11,2	200	5,12	16,8
En Etanol 1	700	*	*	200	5,34	8,4

Fuente: Autores

A las dos fracciones se adiciona etanol y la que no había sido tratada con carbón activado forma un aglomerado sólido de color café oscuro, el cual se seca y toma un aspecto gelatinoso de color café muy oscuro. Al adicionar el etanol a la fracción

* Las medidas de °Brix y pH son realizadas en extractos acuosos, tratándose de extracto etanólico no se toman estas mediciones.

tratada con carbón activado, la cantidad de precipitado fue mínima con solo un pequeño cambio en sus características higroscópicas.

Para la maceración etanólica el extracto obtenido es de aspecto cremoso, luego de concentrar y adicionar el etanol se forma un sólido gelatinoso café oscuro, separado por centrifugación y se seca, después de lo cual se convierte en una pasta de color café-negro.

ENSAYO 3

Al observar el comportamiento irregular de los extractos obtenidos y sus particulares características se decide realizar un seguimiento teniendo en cuenta las variables de viscosidad y temperatura, parámetros importantes para la formación de sólidos en el proceso de cristalización. Las soluciones de macromoléculas tales como almidones y gomas se comportan como fluidos no newtonianos, para los cuales es necesario utilizar viscosímetros de tipo rotacional al momento de realizar la determinación, sin embargo gran parte de las soluciones de azúcares sencillos tienen comportamiento newtoniano y la medición de viscosidad puede realizarse con viscosímetros capilares.

Prueba de viscosidad: Para los datos del cálculo de viscosidad ver Anexo X. Las viscosidades de los extractos fueron 3,04; 5,22; 8,45 cP. Los extractos se subdividieron en fracciones de 25 mL para enfriarlos a las temperaturas de -2°C, 4°C y 8°C, respectivamente.

OBSERVACIONES

Al iniciar el proceso el color del jugo en todos los casos era café oscuro y ninguno presentaba aún formación de sólidos.

Las observaciones del comportamiento de los extractos son tomadas para el séptimo día, presentadas en la Tabla 10 y el día doce, Tabla 11.

Tabla 10 Resultados del comportamiento de extracto de yacón frente a la viscosidad y temperatura, para el día siete (7).

Temperatura	Viscosidad		
	1	2	3
1	Se han congelado en la parte exterior, pero no es posible separar el hielo formado del resto de extracto.		No se congela en su totalidad, no hay formación de sólidos ni sedimento
2	En la parte inferior se forma una masa compacta, no sólida café oscura. La parte superior de la solución es más clara.	El líquido es de color amarillo y hay partículas sólidas adheridas a la pared del recipiente.	Color y apariencia igual a la inicial.
3	El jugo es café claro y se observa presencia de insolubilidad, sedimentos.	El extracto es muy oscuro y poco fluido. No se verifica formación de sólidos.	Toda la solución se ha compactado en una especie de gelatina.

Fuente: Autores

Día 12: para este día se observaban en algunos extractos señales de deterioro (descomposición), por lo cual fue suspendido el proceso.

Tabla 11 Resultados del comportamiento de extracto de yacón frente a la viscosidad y temperatura para el día doce (12).

Temperatura	Viscosidad		
	1	2	3
1	Inicialmente el extracto estaba completamente congelado. Al dejar descongelar se forma un coágulo en el fondo del recipiente y el jugo se ve amarillo. Sin embargo tanto el olor como la aparición de burbujas son características típicas de descomposición	Al descongelar queda de color café claro el extracto, evidencia poca descomposición.	No hay mucho cambio con el color inicial, aunque la formación de sedimento es baja.
2	Luego de descongelar, el coágulo formado se adhiere a las paredes del recipiente.	Presenta abundantes burbujas y poca separación entre el precipitado formado y la parte líquida.	Descomposición total, espuma abundante y la solución ennegrecida.
3	El sedimento que se había formado se aglomeró completamente en el fondo del recipiente. Se ve en la etapa inicial de descomposición	No hay formación de sedimentos y el color de la solución es café oscuro.	El aspecto gelatinoso se conservó. Tiene espuma sólo en la parte superior y su color es café-negro.

Fuente: Autores

ENSAYO 4

Con los resultados obtenidos en el Ensayo 1 para el método de fermentación se resolvió continuar ensayando este método, para tal efecto se realiza por duplicado y los parámetros medidos continúan siendo el pH y los °Brix, datos que están consignados en la Tabla 12.

Tabla 12 Propiedades medidas a los extractos de yacón en el Ensayo 4.

	Condiciones iniciales			Condiciones finales		
	V (mL)	pH	°Brix	V (mL)	pH	°Brix
Fermentación	880	5,94	9,5	720	3,74	3,5
	850	6,01	8,2	700	3,68	3,5

Fuente: Autores

Ambos extractos se concentran y se realizan pruebas cualitativas para carbohidratos. Para esta fase de la extracción la concentración de azúcares reductores ya ha disminuido considerablemente, teniendo en cuenta los resultados observados en la Tabla 13.

El extracto así concentrado se trata con etanol y se recolecta un sólido café oscuro, amorfo con aspecto gelatinoso al que no es posible aplicar métodos de caracterización

Tabla 13 Pruebas cualitativas para carbohidratos de la fracción final del extracto en el ensayo 4.

PRUEBA	FERMENTACIÓN
Fehling	+
Tollens	-
Benedict	+

Fuente: Autores.

4.5. PRUEBAS CUALITATIVAS PARA CARBOHIDRATOS

A continuación se presentan en la Tabla 14 los resultados de las pruebas cualitativas para reconocimiento de carbohidratos, que serán explicados más adelante.

Tabla 14 Pruebas cualitativas para carbohidratos de los extractos de yacón obtenidos por las cuatro metodologías.

PRUEBA	INFUSIÓN	FERMENTACIÓN	MACERACIÓN ETANÓLICA	MACERACIÓN ACUOSA
Fehling	++	+++	(+)	+++
Tollens	+	-	-	+
Benedict	-	+	-	-

Fuente: Autores

4.5.1. INFUSIÓN

Este procedimiento fue poco efectivo para la extracción de carbohidratos, los factores que influyen son el poco tiempo y superficie de contacto con el material, además que en él se encontraba toda la mezcla de carbohidratos. Al realizar las pruebas para carbohidratos el color no permitía observar cambios aparentes de coloración, debido a esto se diluyó el extracto y se repitieron las pruebas pero no hubo reacción alguna. Este extracto tenía baja viscosidad, correspondiente posiblemente a la baja concentración de polisacáridos presente.

4.5.2. FERMENTACIÓN

Al realizar el procedimiento para la obtención de inulina utilizando la fermentación se obtuvo una sustancia viscosa después de la adición de etanol, a la cual se le realizaron pruebas para carbohidratos, con este extracto el principal inconveniente es la disminución del pH, lo que puede generar la hidrólisis de polisacáridos quedando libres como azúcares simples y por tal motivo el resultado obtenido con la prueba de Fehling.

4.5.3. MACERACIÓN ETANÓLICA

Este procedimiento se adapta con el fin de eliminar los carbohidratos simples de la pulpa que se solubilizan en etanol, quedando así solo la inulina, la cual no es soluble en este solvente y sí en agua caliente.

Al realizar las pruebas para carbohidratos al extracto final los resultados son negativos. Este extracto presenta una alta viscosidad, esta es una característica de las soluciones acuosas de polisacáridos. Para una posible extracción de inulina siguiendo este procedimiento debe contarse con la ayuda de un equipo para secado por spray, el cual hace que las pequeñas partículas líquidas queden encapsuladas en fase sólida. Ver diagrama en Anexo 4.

4.5.4. MACERACIÓN ACUOSA

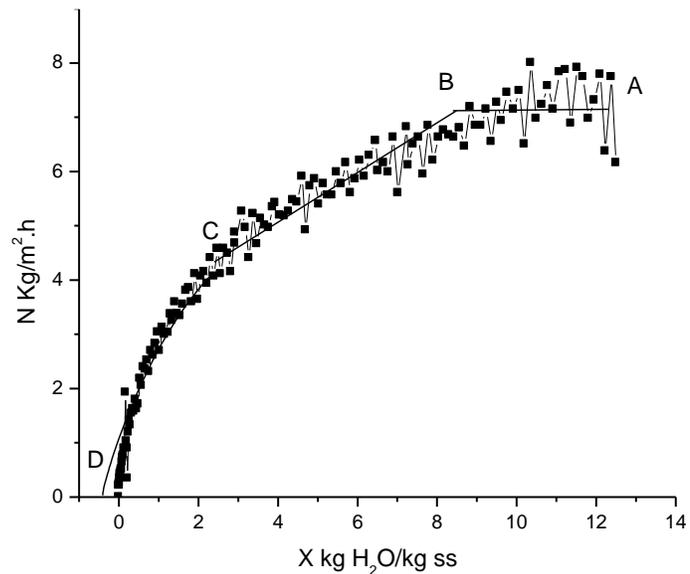
En la maceración acuosa el objetivo es solubilizar todo tipo de carbohidratos obteniendo un extracto acuoso al que se le adiciona etanol con el fin de

insolubilizar la inulina. Este extracto acuoso presenta coloración más oscura que la observada en el extracto etanólico la cual se trata de eliminar con carbón activado pero no hay cambio aparente. El aspecto y sustancia a la que se llega es similar a la observada en el caso de la fermentación.

4.6 PRUEBA DE SECADO

En la Figura 10 se puede observar el comportamiento que se obtuvo al realizar el tratamiento de secado en balanza de humedad, los datos obtenidos para esta prueba se encuentran tabladados en el Anexo Y. En la gráfica se observa cierto grado de fluctuación, sin embargo se logran definir tres períodos característicos en el secado del material.

Figura 10 Curva experimental de velocidad de secado para el yacón a 110 °C.



Fuente: Autores

Un primer período AB presenta cierto grado de linealidad, lo cual nos indica que la muestra de yacón posee un grado importante de humedad en su superficie, esto hace que haya un manto de agua sobre el sólido evaporándose continuamente.

La gráfica muestra además que en el caso del yacón existen dos tipos de velocidad decreciente, el primero originado en el primer punto crítico, representado por B, donde la película de agua que cubría toda la superficie del sólido ahora es insuficiente para cubrir el área de secado. El segundo período se observa a partir del punto crítico C, que indica el momento en que el agua retirada es insuficiente para mantener una película continua a través de los poros y éstos se llenan de aire.

Existen dos casos para los sólidos porosos, uno de ellos es que sean grandes y la curva de velocidad una característica cóncava hacia abajo, propia de ellos. Para el caso del yacón la curva en este período es cóncava hacia arriba, forma que es característica de los materiales de poros finos, los cuales no dejan escapar muy fácilmente el agua a través de ellos.²⁸

²⁸ Mc CABE, L. WARREN, *et.al*, OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA. Cuarta edición. España : Mc Graw-Hill, 1991. p. 842

5. CONCLUSIONES

El peso de las raíces de yacón varía en un rango entre 25 g hasta 1900 g, por tal razón no se hizo un promedio del peso.

El índice de refracción, utilizado para medir la calidad de las sustancias y conocer si tienen algún grado de adulteración, es conveniente observar que éste permanece prácticamente invariable, lo cual indica que las condiciones de los jugos eran similares.

El contenido de agua en las raíces de yacón reflejado en el porcentaje de humedad de 88,34% afecta directamente las propiedades en general, asimismo el valor de la actividad de agua explica el rápido pardeamiento al pelar las raíces y dejarlas al aire libre, además del fácil desarrollo de microorganismos lo que ocasiona por lo tanto la fácil alteración y deterioro de las raíces o el jugo. La densidad del jugo es otra variable estrechamente relacionada con el contenido de humedad, lo cual la hace próxima a la densidad del agua, el valor promedio obtenido es de $1,055 \text{ g.mL}^{-1}$, del mismo modo el comportamiento del pH, es cercano al neutro debido al poco contenido de ácido presente en los tubérculos analizados.

Los sólidos solubles que son medidos por medio de los grados °Brix, con un valor de 11,17 lo cual demuestra que los azúcares simples, hidrosolubles son un componente principal en las raíces de yacón. Sumado a esto está el contenido de azúcar invertido presente en el yacón de 51,9 mg/100mL lo que se relaciona con el sabor agradable de las raíces de yacón en fresco.

El comportamiento de las características químicas con respecto a lo reportado por otros análisis realizados en otros países son variables, ya que los agentes externos, tales como el clima, la temperatura, el tipo de suelo, afectan las propiedades de la variedad, lo que puede ser un punto de partida para iniciar estudios más profundos acerca de la especie que es cultivada en la región del Quindío con el fin de conocer las condiciones apropiadas para su cultivo y facilitar su aprovechamiento.

En la maceración etanólica se obtuvo un buen resultado para continuar con el estudio para la comprobación de la presencia de inulina ya que con este método se obtiene un extracto más claro y retira la interferencia de carbohidratos que se solubilizan en el etanol. Este método debe complementarse con la utilización del secado por spray o por atomización, ya que la inulina es un polisacárido con estado sólido no cristalino.

Con el método de extracción por infusión los resultados fueron poco favorables, en primer lugar porque la extracción de los carbohidratos fue baja, representado en

las pruebas cualitativas realizadas y la baja viscosidad, la intensidad de pardeamiento fue mayor.

Son necesarias otras técnicas para la caracterización de los carbohidratos contenidos en las raíces de yacón, las pruebas cualitativas ayudan para vislumbrar que tipo de carbohidratos se encuentran en los extractos, de acuerdo a la marcha de Mulitzer, para la investigación de azúcares (Anexo 3) y dado que los extractos no reducían el reactivo de Benedict se puede sugerir la presencia de oligosacáridos no reductores en el yacón.

Durante el proceso de fermentación se cuantificó el pH del medio y a pesar de utilizar el bisulfito de potasio siempre descendía a niveles en los cuales era posible que se produjera la hidrólisis de la inulina quedando libres las unidades de fructosa disponibles para ser consumidas por la levadura. De manera que al utilizar este método no es conveniente dejarlo fermentando por un tiempo prolongado, el extracto que se obtiene es bastante claro, lo que facilita las posteriores pruebas para caracterización de carbohidratos y tratamientos de separación sólido-líquido.

En el método de maceración acuosa se logró buena extracción pero el color del extracto no es favorable para operaciones posteriores, como la caracterización de carbohidratos.

La utilización de carbón activado para remover el color oscuro de las soluciones de yacón no fue satisfactoria, adicional a ello la pérdida de muestra tanto por solubilidad en el agua caliente como por la posibilidad de quedar partículas de cadenas largas de polisacárido adsorbidas en los poros del carbón.

El Programa de Agroindustria de la Facultad de Ciencias Agroindustriales cuenta con la línea de Agroindustria aplicada a la Biodiversidad, el presente estudio puede tomarse como punto de partida para que el yacón se incluya dentro de esta línea de investigación, por tal razón una copia de este trabajo será enviada a dicho programa con el fin de dar a conocer las propiedades básicas del yacón.

6. RECOMENDACIONES

Se deben ampliar los estudios en materia cultivo y poscosecha del yacón, así como su distribución geográfica en Colombia para conocer que especies y variedades se han adaptado en la región del Quindío. Esto se puede realizar en conjunto con la Facultad de Agroindustria, la cual puede brindar el apoyo para conocer el tiempo de cultivo, cosecha y maduración del yacón, entre otras necesidades.

De vital importancia es la realización del estudio fitoquímico de las hojas y raíces ya que con esto se completaría una segunda etapa de este proyecto la cual no abarcaba, y existe evidencia que indica que el yacón ha sido utilizado por los indígenas con fines medicinales.

Realizar un estudio poscosecha del yacón ya que esto sería de gran utilidad para el aprovechamiento comercial, como es el empaquetamiento y aplicación de tecnología química para la obtención de productos como té, jalea u hojuelas de yacón; posibilidades que ya se están estudiando en otros países de la región andina.

Continuar con la búsqueda de otros métodos para la detección de inulina, aunque en la literatura recientemente publicada se manifiesta que el azúcar contenido en el yacón no sea inulina propiamente sino fructooligosacáridos.

Se debe buscar y aplicar un tratamiento previo al jugo del yacón que reduzca o impida la velocidad de pardeamiento del mismo, ya que esto interfiere de manera considerable en la observación de los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

ANGULO, Horacio: El Yacón [online]. Universidad Nacional del Altiplano - Puno.
www.agroindustrias.org. Pag consultada: 30/07/2003

BADUI D., Salvador. Química de los alimentos. Tercera Edición. México :
Longman de México Editores, 1993. p 21-29, 105, 116-118

BERNAL, Harlin y MORA, John Fredy. Industrialización de Zanahoria. Armenia,
1989, 195 p. Trabajo de grado (Tecnólogo Químico en Productos Vegetales).
Universidad del Quindío. Facultad de Educación.

BU'LOCK, J. y KRISTIANSEN, B. Biotecnología básica. Primera edición.
Zaragoza: Editorial Acribia S.A., 1987, p. 312, 313.

CAKEBREAD, Sydney. Dulces elaborados con azúcar y chocolate. Zaragoza,
España : Editorial Acribia, 1981.

Caracterización y Estudio de Viabilidad de un Proceso Industrial de Obtención de
Inulina y Bioetanol a partir de Achicoria y Patata [en línea]. (España): Centro de
Automatización, Robótica y Tecnologías de la Información y de la Fabricación,

CARTIF, © 2004 – [citado en 2004-10-01]. Disponible en internet: <http://www.cartif.es/qimi.htm>

CHEFTEL, Jean-Claude y Henry. Introducción a la bioquímica y Tecnología de los Alimentos. Primera edición. España : Acribia S.A., 1976. Volumen I, p. 67.

CRUEGER, W. y CHUEGER, A. Biotecnología: Manual de microbiología industrial. Tercera edición. Zaragoza : Editorial Acribia S.A. 1989. p. 93.

DOMÍNGUEZ, X. A. Métodos de investigación fitoquímica. Primera edición. Centro Regional de Ayuda Técnica. México : Limusa S.A., 1973

Entrevista al Dr. Carlos Arbizu, especialista en cultivos andinos del Departamento de Mejoramiento Genético del Centro Internacional de la Papa. [en línea]. Perú: Perú Natural, noticias en Internet Deiter Linares. [citado en 2003-07-30] Disponible en Internet: <http://www.perunatural.es.fm>

FERNÁNDEZ R., J. La agroindustria de frutas y hortalizas en Colombia. En: Revista Nacional de Agricultura. Bogotá. No. 884, 1988. p. 178.

GARCÍA, María del Carmen. Efectos fisiológicos de la inulina y de la oligofructosa [en línea] Journal Nutrар, 14 de septiembre del 2000. [citada en 2003-07-30]. Disponible en Internet: www.fonendo.com.

GRAU, Alfredo y KORTSARS, Alejandra, et al. El retorno del yacón. Laboratorio de Investigaciones Ecológicas de las Yungas, Universidad Nacional de Tucumán. Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Asociación Ciencia Hoy. [en línea]. Junio/Julio 2001, Volumen 11 - Nº 63. [citado en 2003-07-30] en: <http://www.cienciahoy.com>.

GRAU, A., REA, J. Yacón *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson [en línea]. 1997. p. 200-242. [Capítulo del libro: Herman & Heller: Andean Roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca y yacón. Centro Internacional de la Papa, [citado 2004-08-24], [http:// www.cipotato.org/market/PDFdocs/YaconLibro.pdf](http://www.cipotato.org/market/PDFdocs/YaconLibro.pdf)

HAJIAN, H. y PECSOK, R. L. Tecnología Química Moderna. Segunda edición. Barcelona, España : Editorial Reverté, 1984. p. 909 Chemtec Tomo V.

HART, Leslie, JOHNSTONE, Harry. Análisis Moderno de los Alimentos. Zaragoza: Editorial Acribia, 1991. p. 3, 280-282

HAYES, G. D. Manual de datos para ingeniería de Alimentos. Primera edición. España : Acribia S.A., 1987. p. 68.

HOPP, Vollrath. Fundamentos de Tecnología Química. Primera edición. Barcelona: Editorial Reverté S.A., 1984.

HORTICULTURA. Manuales para la educación agropecuaria # 15. Editorial Trillas. Primera edición. México DF. 1982.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Normas Colombianas para referencias bibliográficas para libros, folletos e informes. Segunda actualización. Santa Fe de Bogotá D.C.: ICONTEC 2002, 132p. NTC 1160.

----- Normas Colombianas para citas y notas de pie de página. Segunda actualización. Santa Fe de Bogotá D.C.: ICONTEC 2002, 132p. NTC 1487.

----- Normas Colombianas para presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Quinta actualización. Santa Fe de Bogotá D.C.: ICONTEC 2002, 132p. NTC 1486.

KAIRUS, De Ch. Luz A. Introducción a la composición química de los alimentos. Primera edición. Bogotá : Universidad Nacional de Colombia. 1983. p. 77 – 101.

LARREA R, A. Enología Básica. Biblioteca Agrícola Aedos. Primera edición. Barcelona : Editorial Aedos. 1983. p. 263,267,269, 271.

LEWIS, M. J. Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado. Primera edición. Zaragoza, España : Editorial Acribia.

LINDSEN, G. y LORIENT, D. Bioquímica Agroindustrial. Zaragoza, España: Editorial Acribia S.A., 1996. p. 59, 60, 261-264.

LOS FRUTOOLIGOSACÁRIDOS [fructooligosacáridos]. [en línea]. El portal de la Ciencia y de la Técnica en Iberoamérica, Chemedi: 1999. [citado en 2003-07-30]. Disponible en Internet: <http://www.chemedia.com.es>

Mc CABE L., Warren y HARRIOT, P. Operaciones unitarias en ingeniería química. Cuarta edición. España : Mc Graw-Hill, 1991.

Mc ELVAIN, Samuel. La Caracterización de Compuestos Orgánicos. Madrid, España : Editorial Aguilar, 1960. p. 5

MILLER D., Dennis. Química de Alimentos : Manual de Laboratorio. Primera edición. México : Editorial Limusa S.A., 2001.

MILLER, J.C. y MILLER, J.N., Estadística para química analítica, Segunda edición, Wilmington, Delaware, USA : Addison-Wesley Iberoamericana, 1993.

MORALES F., F. Hacia un programa estratégico de desarrollo agroempresarial. En : Revista Nacional de Agricultura. Bogotá. Nos. 922 – 923,1998; p. 107.

PENG, J. LYNEN, F. & SANDRA, P. Separation of Inulin by Capillary Electrophoresis with Laser-Induced Fluorescence Detection [en línea]. Department of Organic Chemistry, University of Gent, Belgium; [citada 2004-03-05], Disponible en internet: <http://www.richrom.com/assets/CD23PDF/h31.pdf>.

PERRY, H. R., CHILTON, H. C. Perry Manual del Ingeniero Químico, Quinta edición. México : McGraw Hill, 1973. Volumen III.

PERÚ. CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA. *Poiymnia sonchifolia*, [documento por cortesía del CIP: Yacón,botánica[1]]. Solicitud de información, agosto de 2002. [citado 2002-09-20]. Mensaje a: Email: Webmaster-CIP@cgiar.org.

PINZÓN F., Magda Ivonne. Química de Alimentos Manual para el laboratorio. Armenia : Universidad del Quindío, Septiembre, 2000.

PUJATO, Dolores. Alimentos prebióticos. [en línea]. Publicación: Febrero de 2002. Última edición: Septiembre de 2002. [citado en 2003-07-30] – Disponible a través de: <URL:<http://www.gineconet.com>>

QUINTANA, A. Colombia: País con vocación agrícola por rescatar. En : Revista Nacional de Agricultura. Bogotá. Nos. 922 – 923, 1998. p. 35.

RAUCH, George H. Fabricación de mermelada. Primera edición, Zaragoza : Acribia S.A., 1987. p. 96.

SEMINARIO J, VALDERRAMA M & MANRIQUE I. El yacón: Fundamentos para el aprovechamiento de un producto promisorio. [en línea] Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) 2003, Lima, Perú, 60 p. [citado en 2004-12-01]. Disponible en Internet <URL:http://www.cipotato.org/market/PDFdocs/Yacon_Fundamentos_password.pdf>

TREYBAL, Robert E. Operaciones con transferencia de masa. Primera edición. Buenos Aires : McGraw-Hill, 1970, p. 653 – 679, 721 – 725.

VARGAS G, William. Guía ilustrada de las plantas de las montañas del Quindío y los Andes centrales. Primera edición. Manizales : Editora Universidad de Caldas, 2002, p. 131, 138, 163.

VENDRELL, S, CASTELLOTE, A.I., LÓPEZ-SABATER, M.C. Determination of Inulin in Meat Products by HPLC-RI. [en línea]. Dpt. de Nutrición y Bromatología, Centre de Referencia en Tecnologia de los Alimentos (CERTA), Facultad de Farmacia, Universidad de Barcelona, [citado en 2003-11-17] Disponible en: http://www.eurojai.com/jai99/resumenes/css/resumenes_76.htm.

VIDAL, Daniel, *et al.* La actividad del agua en alimentos. En: Alimentación, equipos y tecnología. Universidad Politécnica de Valencia. Septiembre - octubre, 1986, p. 37-40.

VIDAL, Jorge. Química Orgánica y Nociones de Química Biológica. Décima edición. Buenos Aires : Editorial Stella, 1984, p. 273, 269.

WEBB, F.C. Ingeniería Bioquímica. Primera edición. Zaragoza : Editorial Acribia S.A., 1966. p. 654, 655, 657, 663.

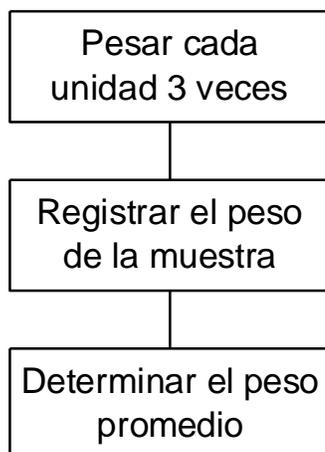
WEISZ Kuck, Denis. Composto retirado da chicória pode substituir açúcar [Compuesto aislado de la achicoria puede sustituir el azúcar]. Ciencia hoje, 2 de octubre de 2002. [citado en 2003-08-15]. Disponible a través de Internet: <URL:<http://www.cienciahoje.com.br>.

YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*). [en línea] Universidad Nacional Agraria La Molina Programa de Investigación y Proyección Social en Raíces y Tuberosas. Red Informática – Unalm. La Molina, Lima [citado en : 2004-08-24]. Disponible en: <http://www.lamolina.edu.pe/Investigacion/programa/yacon/Yacon.htm>

ANEXOS

ANEXO A. DETERMINACIÓN DE PESO

Fuente: PINZÓN F., Magda Ivonne. Química de Alimentos Manual para el laboratorio. Armenia : Universidad del Quindío, Septiembre, 2000.



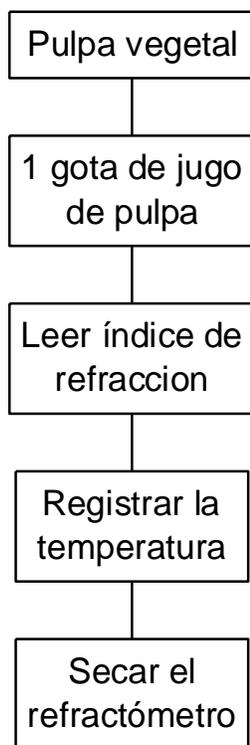
**ANEXO B. PESOS DE LAS PLANTAS UTILIZADAS EN LOS ANÁLISIS DEL
YACÓN Y EXTRACCIÓN DE INULINA**

Fuente: Autores

PLANTA 1	PLANTA 2	PLANTA 3	PLANTA 4	PLANTA 5
112,05	404,58	323,91	112,06	383,33
158,77	111,99	376,51	32,97	53526
97,08	113,64	476,92	247,58	194,38
215,86	270,52	1171,51	24,01	135,88
578,96	200,31	466,98	76,33	121,88
331,16	167,64	163,75	145,08	187,36
260,48	93,21	111,36	24,44	397,4
175,24	58,25	185,9	217,21	79,73
205,17	190,34	40,08	165,47	16,49
148,5	347,32	55,11	212,76	41,39
106,66	133,94	40,31	1235,25	86,15
444,2	54,66	139,93	39,95	254,43
291,9	148,66	83,57	116,9	149,65
505,01	75,49	176,24	162,14	175,28
137,97	62,97	356,52	217,58	183,01
	82,69	140,53	32,97	213,42
	65,34	141,22	168,68	69,08
	331,26	1202,05	27,44	258,06
	326,42	38,72	170,75	235,12
		75,03	241,08	
		98,93		
		139,64		
		118,33		
		60,22		

ANEXO C. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN

Fuente: PINZÓN F., Magda Ivonne. Química de Alimentos Manual para el laboratorio. Armenia : Universidad del Quindío, Septiembre, 2000.



Lectura en Refractómetro = Índice de Refracción

ANEXO D. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES

Fuente: PINZÓN F., Magda Ivonne. Química de Alimentos Manual para el laboratorio. Armenia : Universidad del Quindío, Septiembre, 2000.

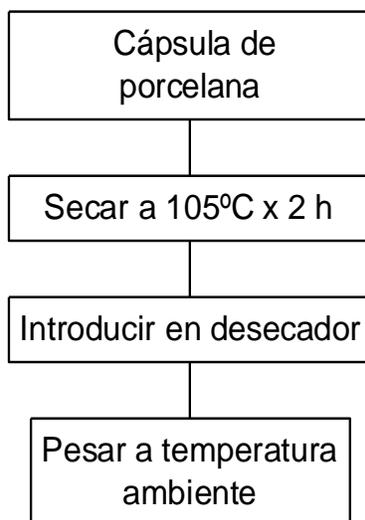


$\% \text{ Sólidos solubles} = \text{Lectura en refractómetro} \pm \text{Corrección por temperatura}$

ANEXO E. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y MATERIA SECA

Fuente: PINZÓN F., Magda Ivonne. Química de Alimentos Manual para el laboratorio. Armenia : Universidad del Quindío, Septiembre, 2000.

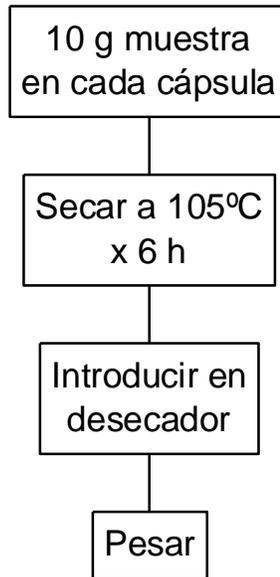
a.



Repetir el tratamiento hasta peso constante

b.

Tratamiento de la muestra



Repetir tratamiento hasta peso constante

Cálculo:

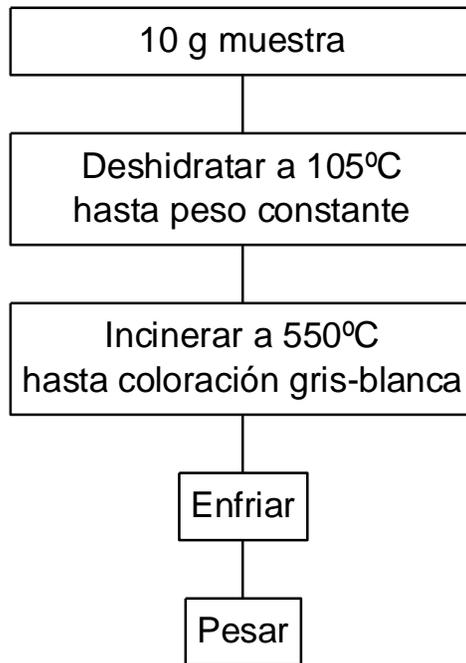
$$\% \text{ Humedad} = \frac{m_f - m_s}{m_f} \times 100$$

Donde: m_f = peso (g) muestra fresca

m_s = peso (g) muestra seca

ANEXO F. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CENIZAS

Fuente: PINZÓN F., Magda Ivonne. Química de Alimentos Manual para el laboratorio. Armenia : Universidad del Quindío, Septiembre, 2000.



Repetir operacion hasta peso constante

Cálculo:

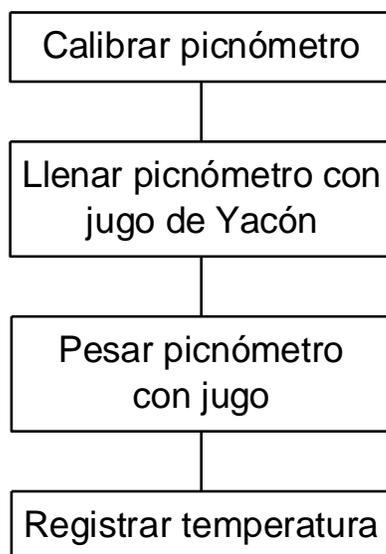
$$\% \text{ Cenizas} = \frac{m_c}{m_f} \times 100$$

Donde: m_c = peso (g) muestra calcinada

m_f = peso (g) muestra fresca

ANEXO G. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

Fuente: PINZÓN F., Magda Ivonne. Química de Alimentos Manual para el laboratorio. Armenia : Universidad del Quindío, Septiembre, 2000.



Calibración de picnómetro:

$$\text{Volumen corregido} = \frac{m_p}{\rho}$$

m_p = peso (g) del picnómetro vacío

ρ = densidad (g/mL) del agua a la temperatura de lectura

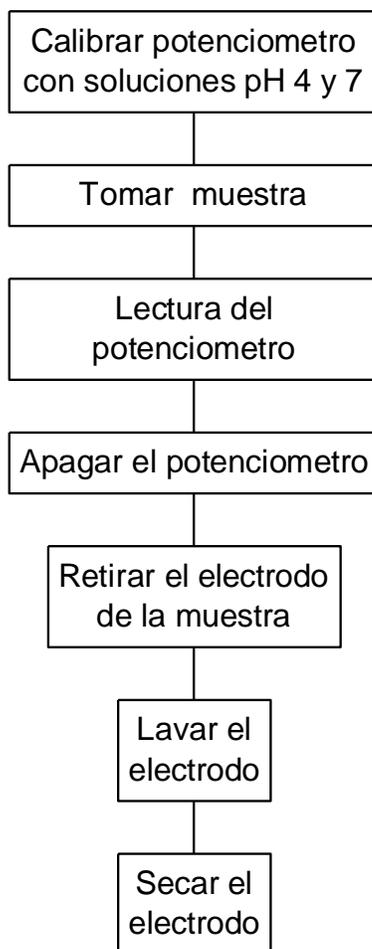
Cálculo:

$$\text{Densidad} = \frac{m}{V}$$

V = volumen (mL) corregido del picnómetro

ANEXO H. DETERMINACIÓN DE pH

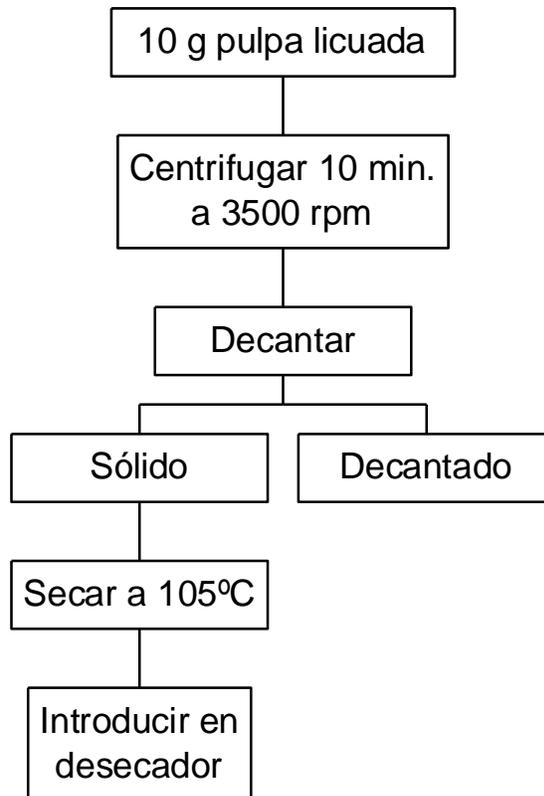
Fuente: PINZÓN F., Magda Ivonne. Química de Alimentos Manual para el laboratorio. Armenia : Universidad del Quindío, Septiembre, 2000.



pH = Lectura en potenciómetro

ANEXO J. CONTENIDO DE PULPA EN JUGO

Fuente: PINZÓN F., Magda Ivonne. Química de Alimentos Manual para el laboratorio. Armenia : Universidad del Quindío, Septiembre, 2000.



Repetir el procedimiento hasta peso constante

Cálculo:

$$\% \text{ Pulpa en jugo} = \frac{m_s}{m_f} \times 100$$

m_s = peso (g) muestra seca

m_f = peso (g) muestra fresca

ANEXO K. ANÁLISIS FÍSICOS DEL YACÓN PARA CADA SEMANA.

Fuente: Autores.

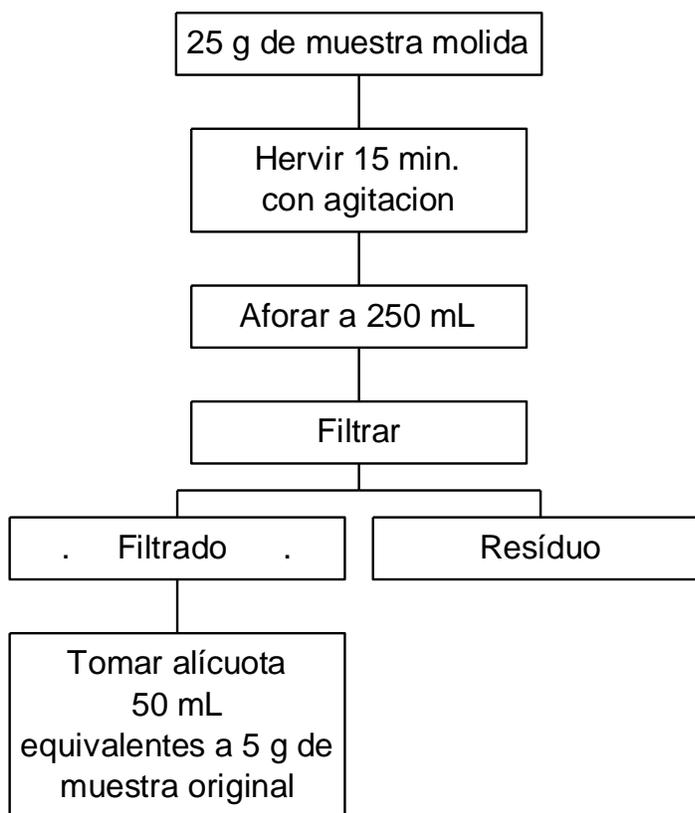
SEMANA	MUESTRA	ÍNDICE DE REFRACCIÓN (n)	ACTIVIDAD DE AGUA a_w	DENSIDAD ρ	% SÓLIDOS SOLUBLES °Brix	pH	% HUMEDAD	% CENIZAS	% Pulpa
1	1	1,3536	0,97	1,0470	14,6	6,05	89,5129	1,6437	13,5504
	2	1,3536	0,99	1,0486	14,7	6,04	89,7905	1,5359	13,8461
	3	1,3535	0,99	1,0428	14,4	6,06	89,9027	1,9821	13,6833
2	1	1,3502	0,99	1,0692	12,3	6,26	84,9204	2,0061	14,7113
	2	1,3503	0,99	1,0927	12,4	6,27	83,4072	1,4324	14,9719
	3	1,3506	0,99	1,0376	12,3	6,27	83,5197	2,1818	14,7874
3	1	1,3441	0,97	1,0424	8,3	6,08	92,3551	0,7717	15,0157
	2	1,3441	0,98	1,0676	8,3	6,03	92,1700	0,5955	15,2010
	3	1,3441	0,99	1,0098	8,1	6,11	91,9261	0,6198	15,1887
4	1	1,3491	0,99	1,0713	11,1	6,15	86,8988	0,5397	12,1589
	2	1,3491	1,00	1,0990	11,1	6,14	88,2611	0,5264	12,2337
	3	1,3491	1,00	1,0326	11	6,15	87,4957	0,5076	12,2684
5	1	1,3465	0,98	1,0539	9,6	6,21	89,6416	0,4710	11,2320
	2	1,3465	0,98	1,0801	9,8	6,16	87,1772	0,4120	13,4799
	3	1,3464	0,98	1,0362	9,6	6,14	88,1258	0,4336	13,1964

ANEXO L. DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ TITULABLE

Fuente: PINZÓN F., Magda Ivonne. Química de Alimentos Manual para el laboratorio. Armenia : Universidad del Quindío, Septiembre, 2000.

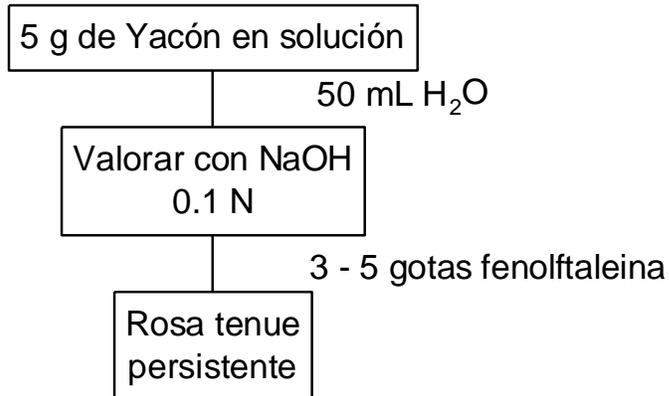
a.

Preparación de la muestra



b.

Titulación



Cálculo:

$$\% \text{ Acidez titulable} = \frac{V \times N \times me \times 5}{m_f} \times 100$$

V = volumen (mL) de NaOH
gastados en la titulación

N = Normalidad de la base (No.
eq-g.L⁻¹)

me = miliequivalentes del ácido
predominante.

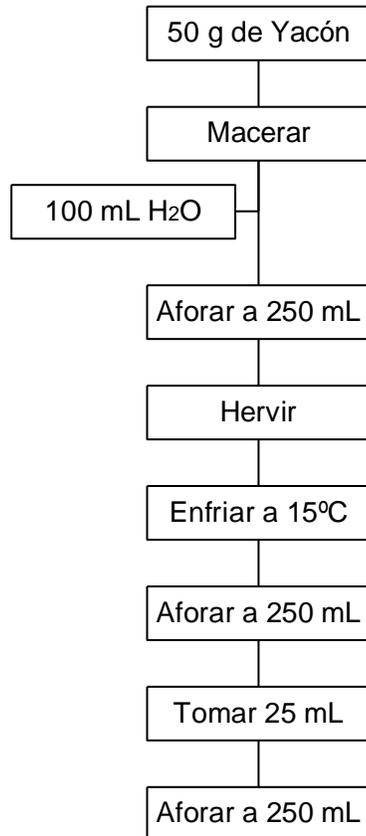
m_f = masa (g) de muestra fresca.

ANEXO M. DETERMINACIÓN DE AZÚCAR INVERTIDO

Fuente: PINZÓN F., Magda Ivonne. Química de Alimentos Manual para el laboratorio. Armenia : Universidad del Quindío, Septiembre, 2000.

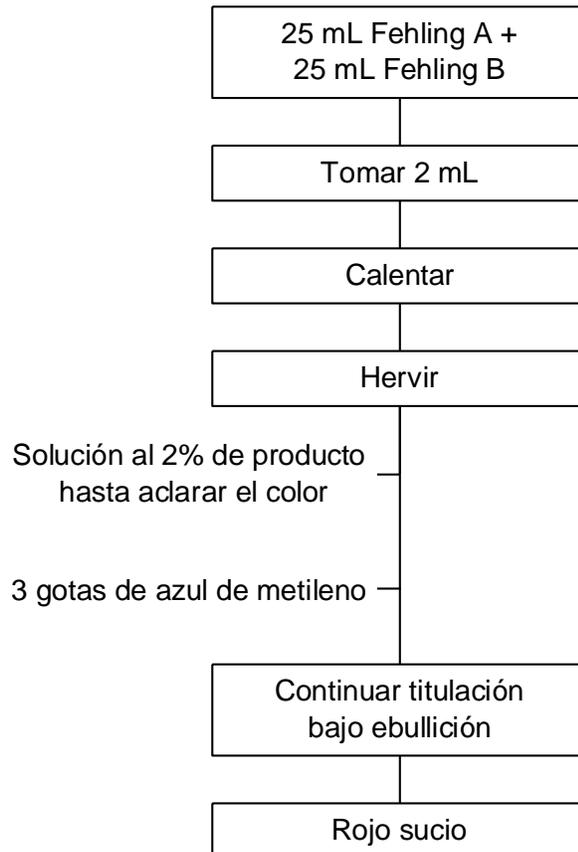
a.

Preparación de la muestra



b.

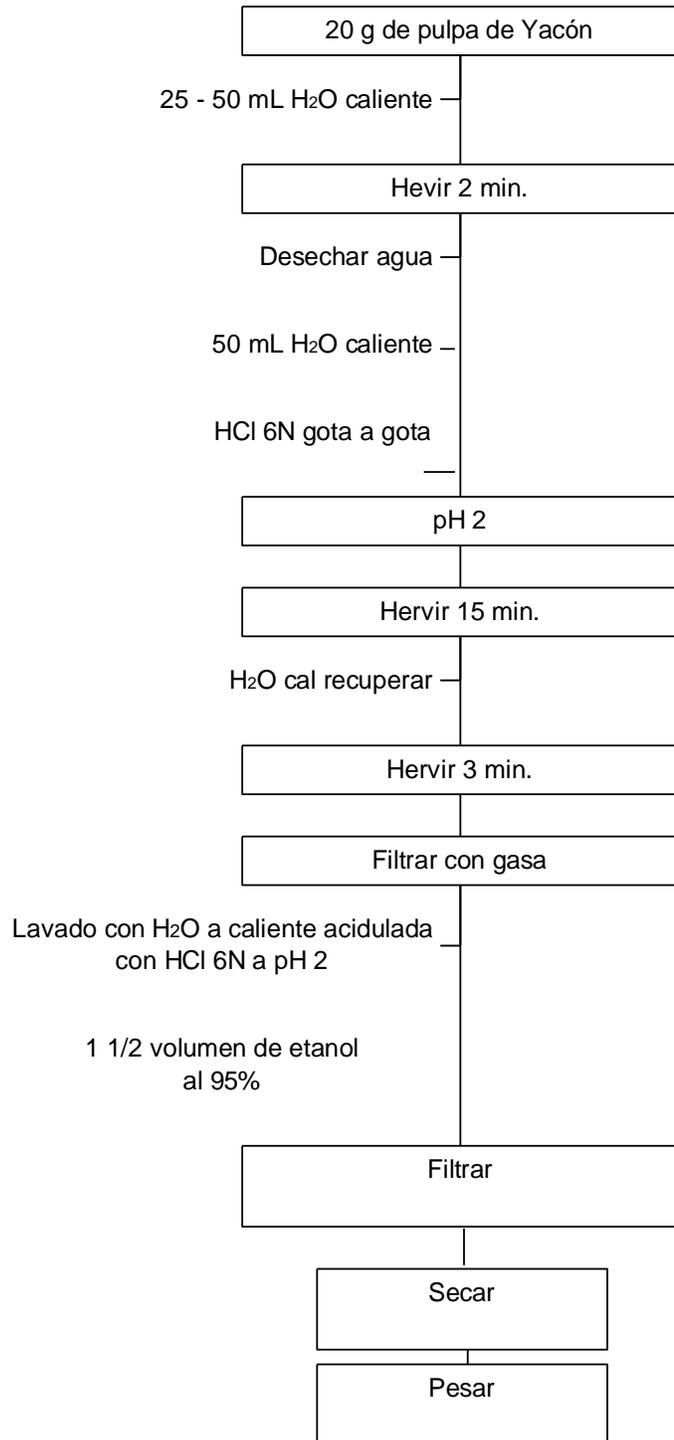
Análisis del azúcar invertido



% Azúcar invertido = De acuerdo a la cantidad en mL de la solución al 2% de producto consumida en la titulación. Calcular el contenido por medio de la tabla del Anexo Z.

ANEXO N. DETERMINACIÓN DE PECTINA.

Fuente: PINZÓN F., Magda Ivonne. Química de Alimentos Manual para el laboratorio. Armenia : Universidad del Quindío, Septiembre, 2000.



Cálculo:

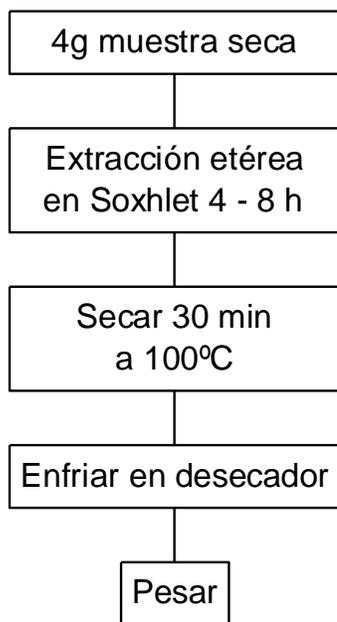
$$\% \text{ Pectina} = \frac{m_s}{m_f} \times 100$$

m_s = peso (g) muestra seca

m_f = peso (g) muestra fresca

ANEXO P. DETERMINACIÓN DE GRASA CRUDA.

Fuente: HART, Leslie, JOHNSTONE, Harry. Análisis Moderno de los Alimentos. Zaragoza : Editorial Acribia, 1991. p. 3, 280-282



Repetir procedimiento hasta peso consante

Cálculo:

$$\% \text{ Grasa} = \frac{m_s}{m_f} \times 100$$

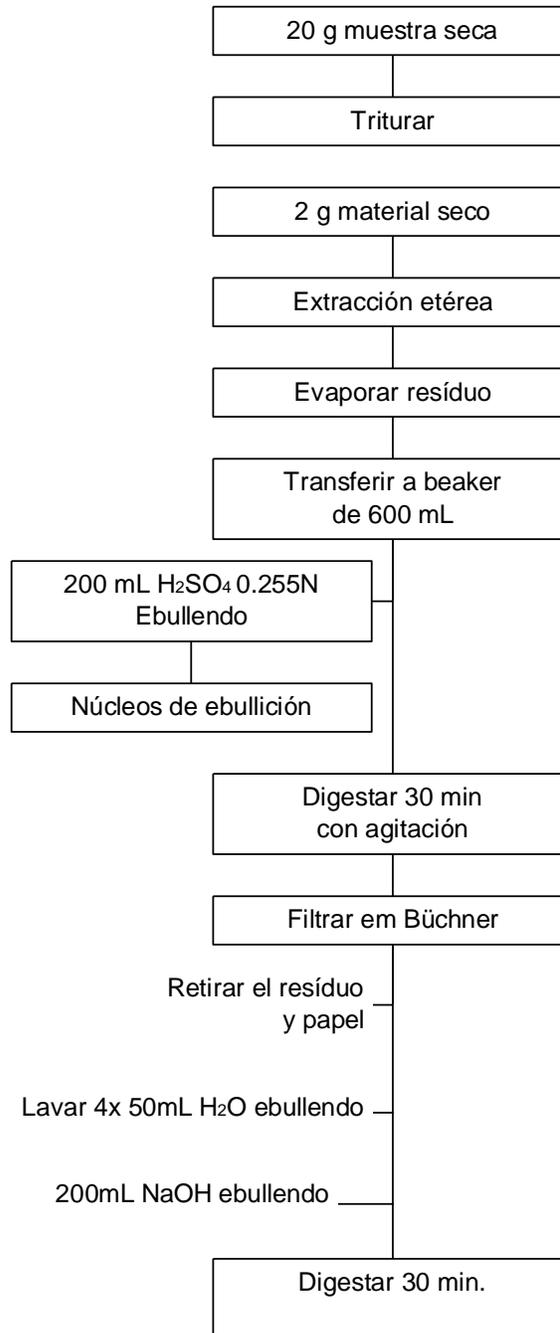
m_s = peso (g) muestra seca

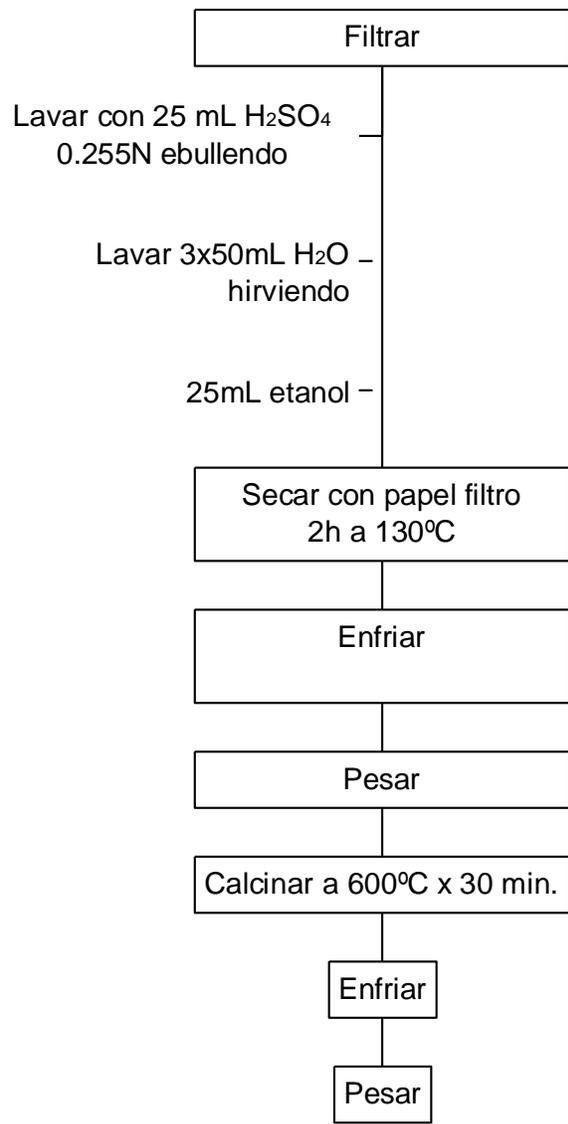
m_f = peso (g) muestra fresca

ANEXO Q. DETERMINACIÓN DE FIBRA CRUDA.

Fuente: HART, Leslie, JOHNSTONE, Harry. Análisis Moderno de los Alimentos. Zaragoza : Editorial Acribia, 1991. p. 3, 280-282

Preparación de la muestra





Cálculo:

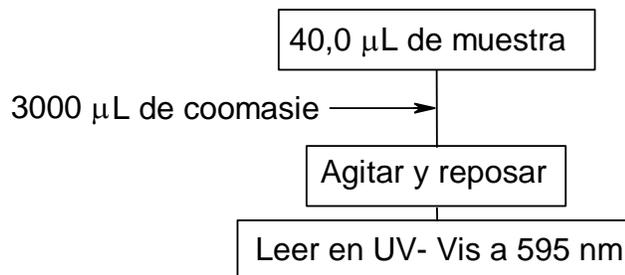
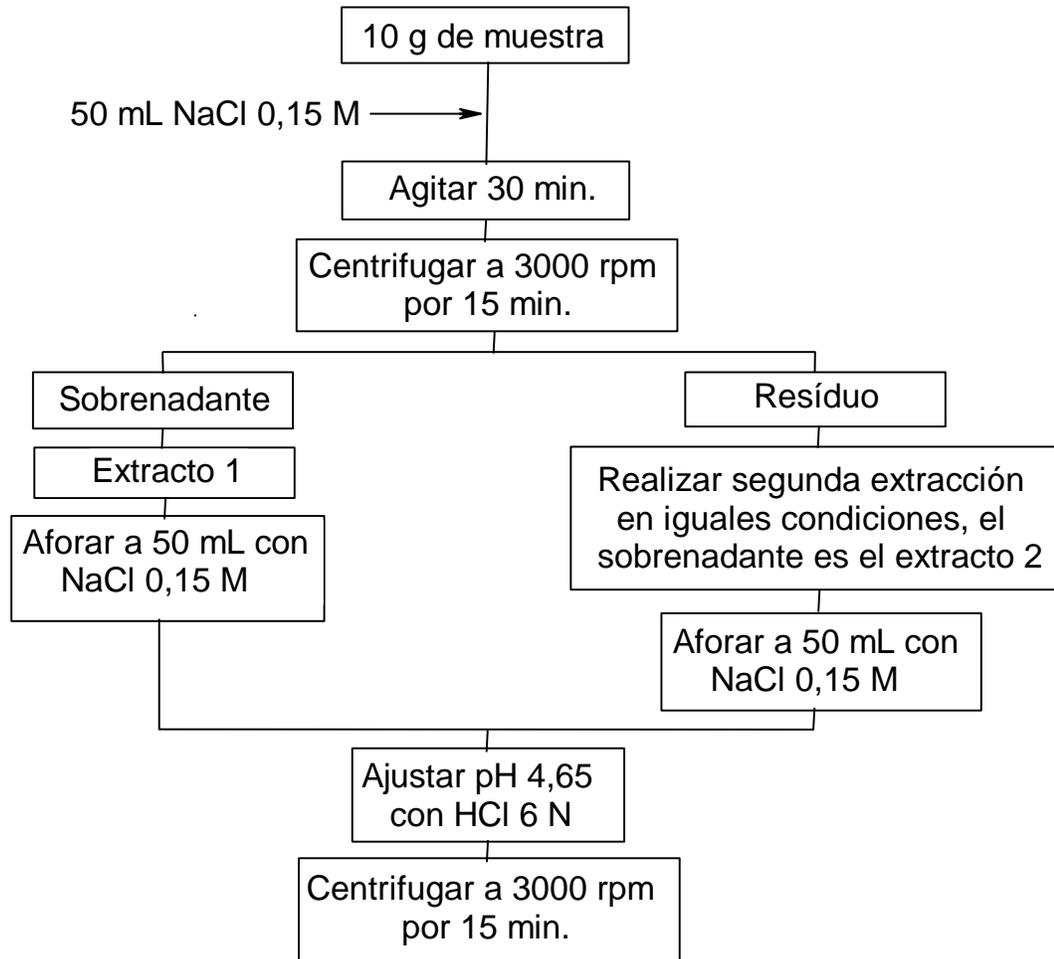
$$\% \text{ Fibra cruda} = \frac{m_r - m_c}{m_d} \times 100$$

m_r = peso (g) residuo

m_c = peso (g) muestra calcinada

m_d = peso (g) muestra desengrasada

ANEXO R. DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA. Método de Bradford.



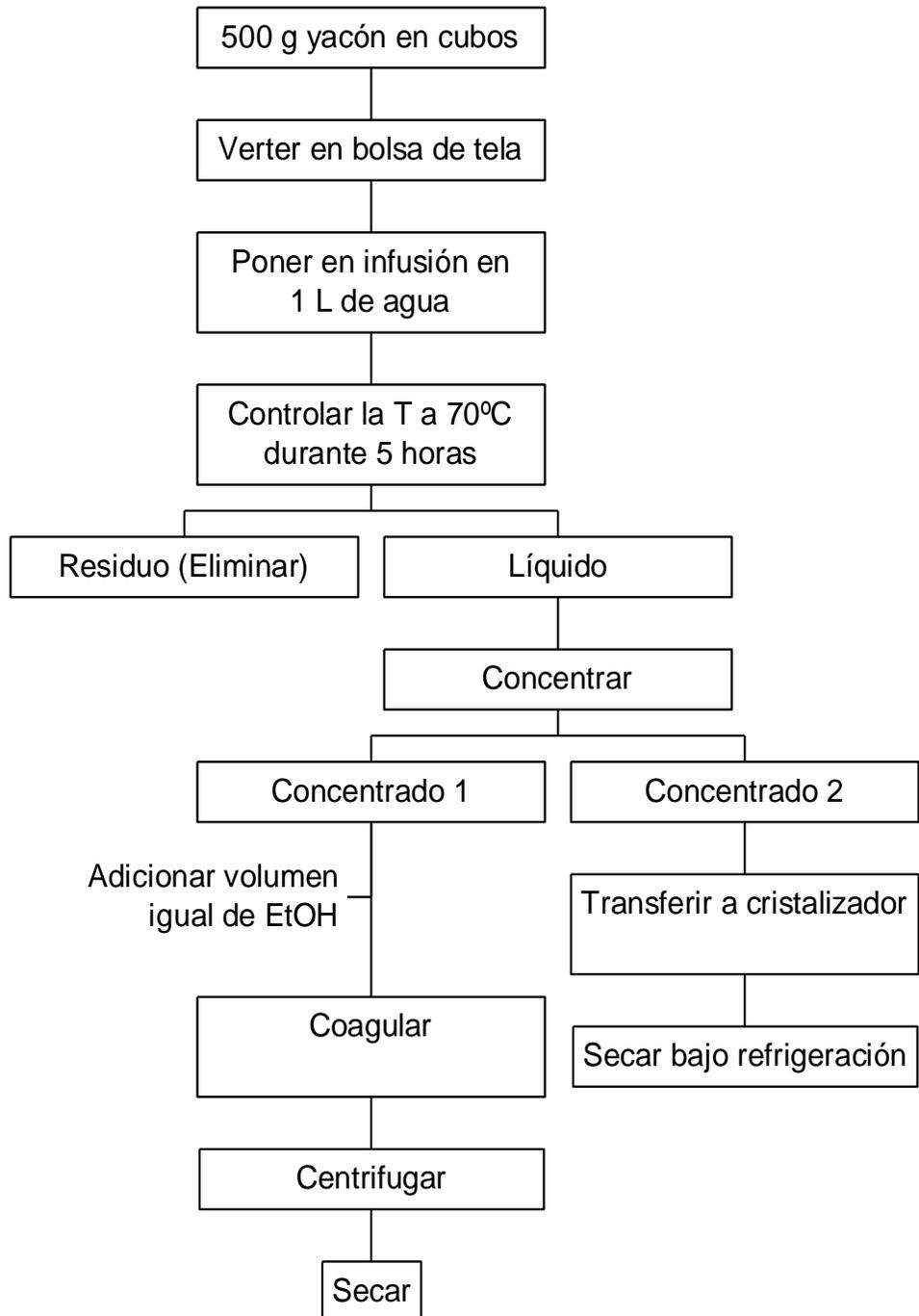
ANEXO S. RESULTADOS PARA LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DEL YACÓN

Fuente: Autores

ENSAYO	MUESTRA	% Pectina	ACIDEZ g/100 mL	V (mL)0 promedio	% Azúcar INVERTIDO	% Grasa	% Fibra	% Proteína
1	1	0,3092	2,0309	43,2	52,2	0,7459	2,0606	0,7178
	2	0,4383	2,3425	34,3	51,7	0,8053	2,0800	0,7576
	3	0,6567	2,3656	39,4	52,0	0,7682	2,1460	-
2	1	0,2533	1,2924	40,0	52,0	0,7493	2,3487	0,4598
	2	0,2767	1,2693	39,8	52,0	0,7890	2,9591	0,7469
	3	0,2518	1,4540	40,8	52,0	0,8444	2,6214	-
3	1	0,2206	3,0464	58,9	-	1,6879	3,2497	0,7204
	2	0,2496	2,6425	60,6	-	1,7118	3,2200	0,6775
	3	0,2541	2,5040	60,4	-	1,5618	3,5183	-
4	1	0,2574	4,3950	33,9	51,7	0,3765	7,4724	1,1334
	2	0,2294	5,0311	33,2	51,7	0,1777	7,5183	1,1926
	3	0,1778	4,3372	32,3	51,6	0,6320	7,3646	-
5	1	0,5163	5,3203	65,1	-	0,6084	3,7390	0,6408
	2	0,4018	4,6263	69,9	-	0,7297	4,0326	0,9386
	3	0,5456	5,2624	68,4	-	0,7426	3,9767	-

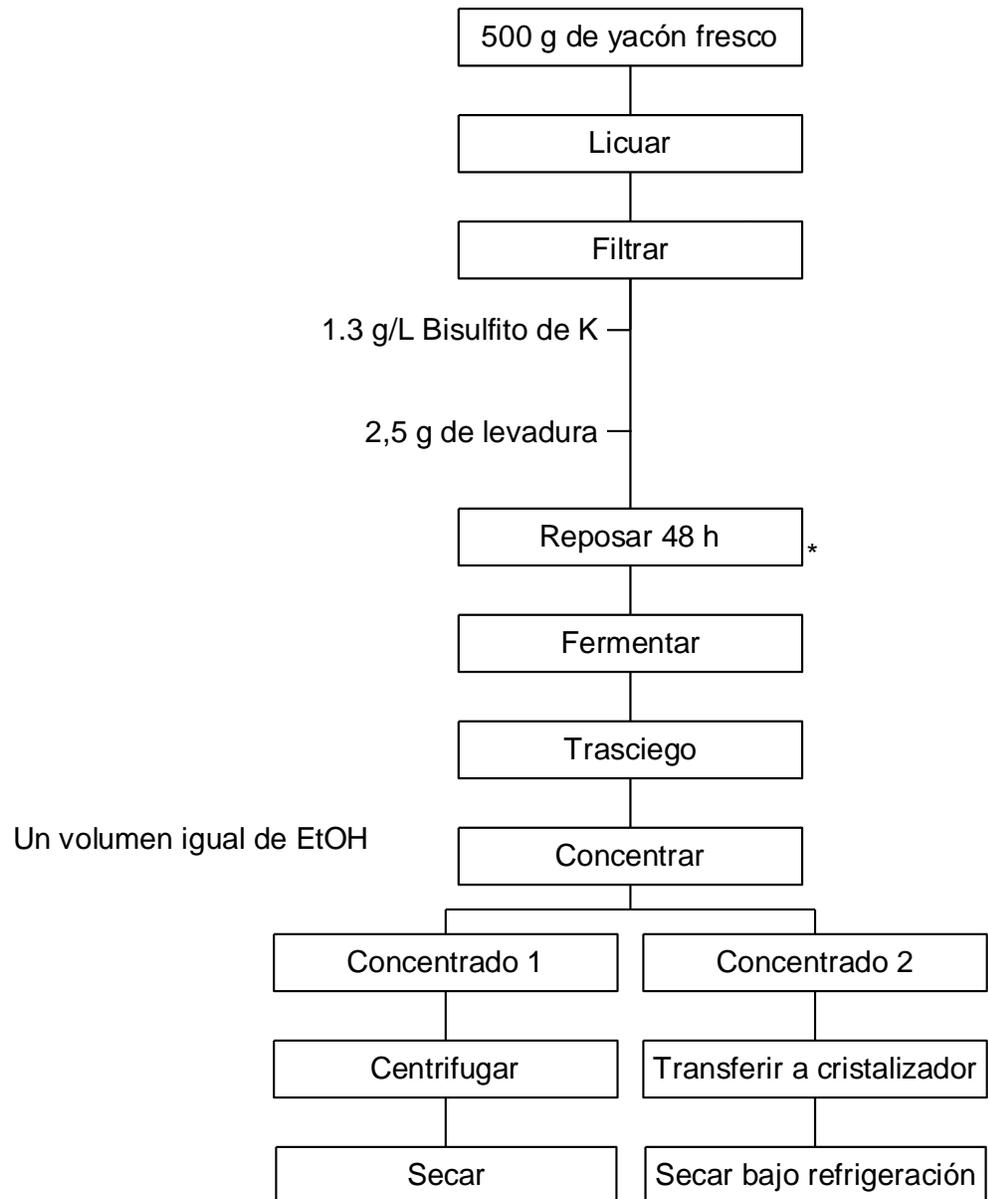
ANEXO T. PROCEDIMIENTO POR INFUSIÓN

Fuente: Adaptación del diagrama de la Figura 5. Esquema general para la extracción de glicanos por los autores.



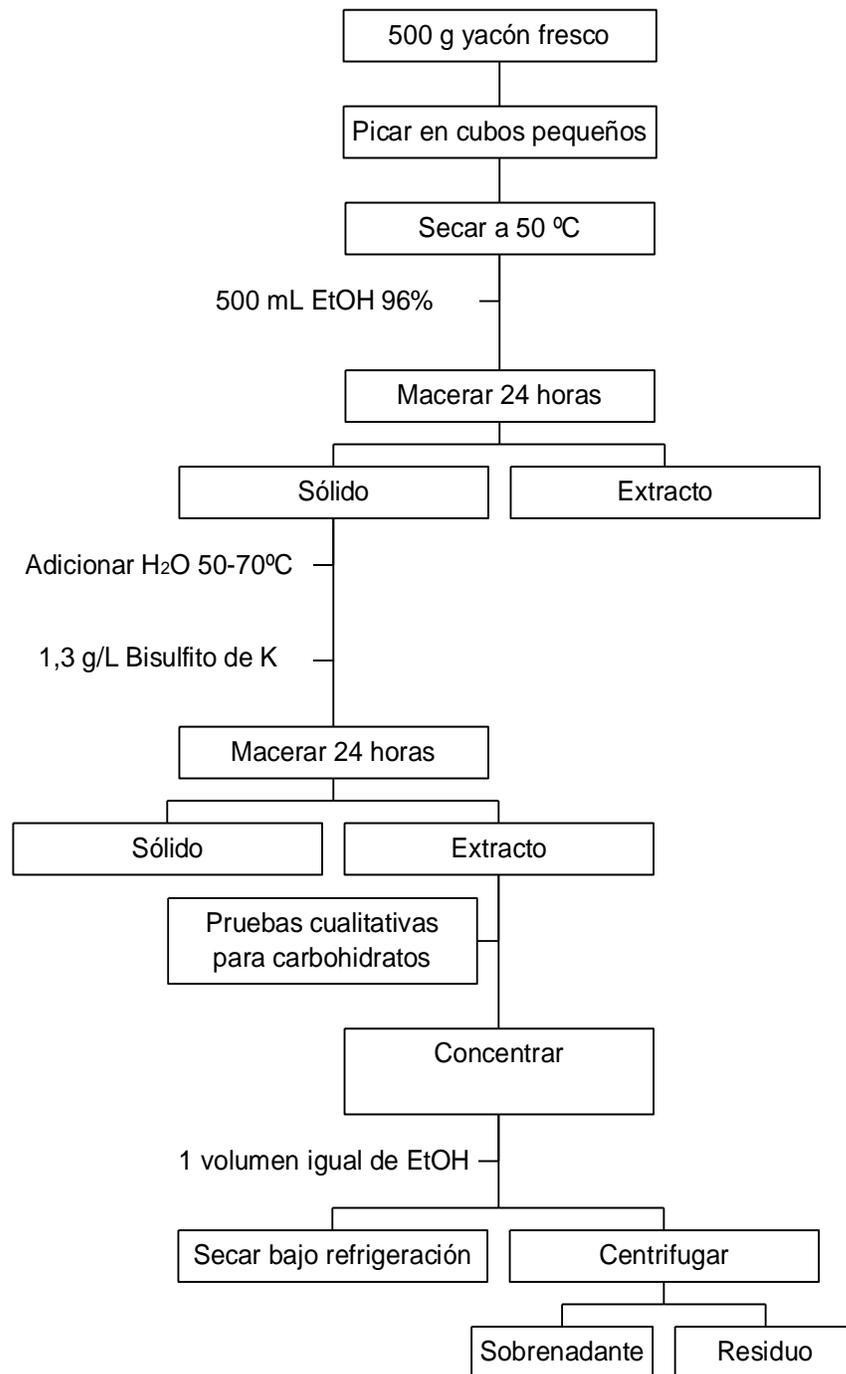
ANEXO U. PROCEDIMIENTO POR FERMENTACIÓN

Fuente: Adaptación de la Figura 5. Esquema general para la extracción de glicanos por los autores.



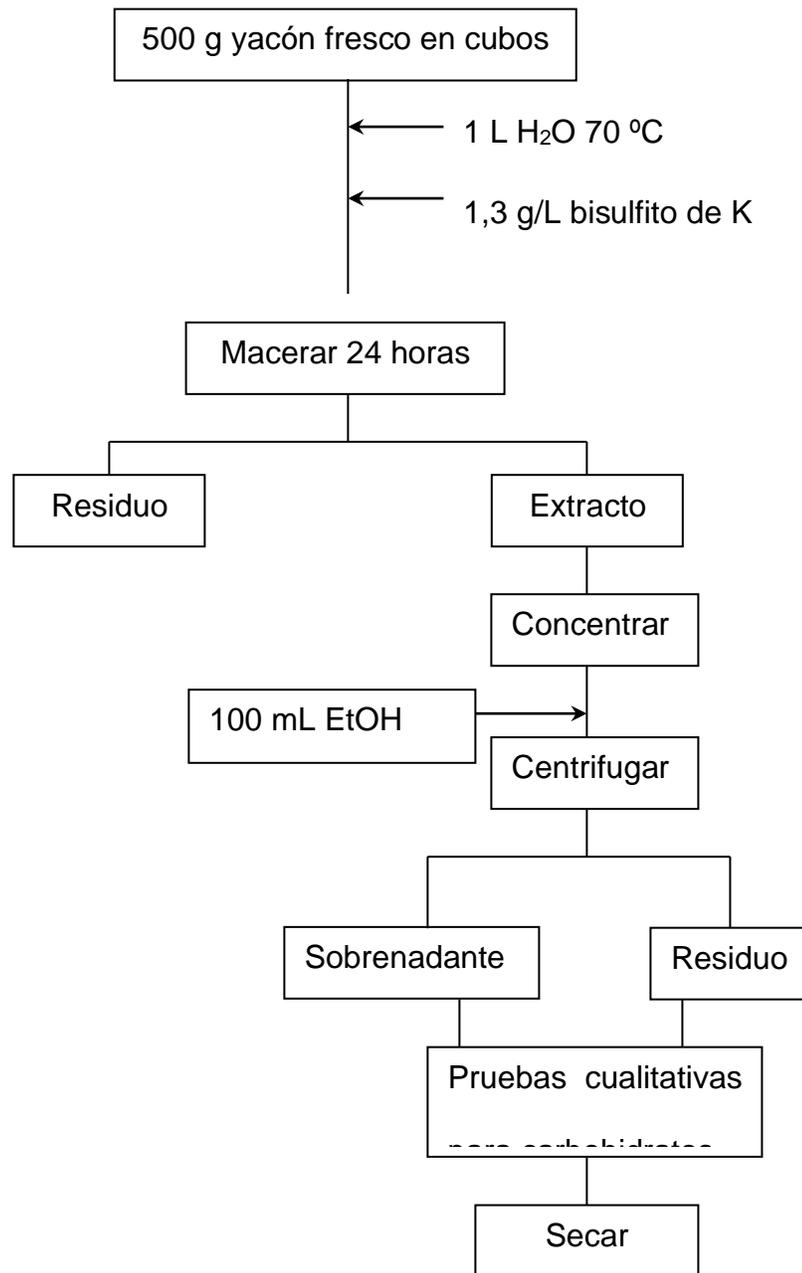
ANEXO V. PROCEDIMIENTO POR MACERACIÓN ETANÓLICA

Fuente: Adaptación de la Figura 5. Esquema general para la extracción de glicanos por los autores.



ANEXO W. PROCEDIMIENTO POR MACERACIÓN ACUOSA

Fuente: Adaptación de la Figura 5. Esquema general para la extracción de glicanos por los autores.



ANEXO X. DATOS PARA EL CÁLCULO DE VISCOSIDAD

Fuente: Autores.

Viscosidad	t ₁	t ₂	t ₃	t medio
1	13,16	13,10	13,15	13,137
2	28,83	28,88	28,83	28,847
3	77,14	77,41	77,66	77,403

Cálculo:

$$V = K (t - \nu)$$

V = Viscosidad cinemática

K = Constante del instrumento, para este caso

$$K = 0,1 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-2}$$

t = tiempo de paso en segundos

ν = Corrección

ANEXO Y. DATOS DE SECADO DEL YACÓN A 110 °C

Fuente: autores

t (min)	X	% H2O (g H2O/g ss)	% humedad	N Kg/m2 (h)
0	0,999	1255,956	92,625	63413,794
0,5	13,549	12,549	92,619	2,268
1	13,504	12,504	92,595	6,161
1,5	13,383	12,383	92,528	7,744
2	13,232	12,232	92,442	6,375
2,5	13,107	12,107	92,370	7,787
3	12,954	11,954	92,280	7,316
3,5	12,810	11,810	92,194	6,974
4	12,674	11,674	92,110	7,744
4,5	12,522	11,522	92,014	7,915
5	12,367	11,367	91,914	6,888
5,5	12,232	11,232	91,824	7,872
6	12,077	11,077	91,720	7,830
6,5	11,924	10,924	91,613	7,145
7	11,784	10,784	91,514	7,573
7,5	11,635	10,635	91,405	7,231
8	11,493	10,493	91,299	6,974
8,5	11,357	10,357	91,195	8,001
9	11,200	10,200	91,071	6,503
9,5	11,072	10,072	90,968	7,487
10	10,925	9,925	90,847	7,145
10,5	10,785	9,785	90,728	8,172
11	10,625	9,625	90,588	5,776
11,5	10,512	9,512	90,487	7,273
12	10,369	9,369	90,356	6,546
12,5	10,241	9,241	90,235	7,145
13	10,101	9,101	90,100	6,846
13,5	9,966	8,966	89,966	6,846
14	9,832	8,832	89,829	7,188
14,5	9,691	8,691	89,681	6,461
15	9,565	8,565	89,545	6,803
15,5	9,431	8,431	89,397	6,632
16	9,301	8,301	89,249	6,674
16,5	9,170	8,170	89,095	6,760
17	9,038	8,038	88,935	6,632
17,5	8,908	7,908	88,774	6,204
18	8,786	7,786	88,618	6,846
18,5	8,652	7,652	88,442	5,947
19	8,535	7,535	88,284	6,632
19,5	8,405	7,405	88,103	6,503
20	8,278	7,278	87,919	6,118
20,5	8,158	7,158	87,742	7,188
21	8,017	7,017	87,526	5,605
21,5	7,907	6,907	87,353	6,632
22	7,777	6,777	87,141	5,990

22,5	7,659	6,659	86,944	6,161
23	7,539	6,539	86,735	4,364
23,5	7,453	6,453	86,583	7,787
24	7,300	6,300	86,302	6,289
24,5	7,177	6,177	86,067	5,904
25	7,061	6,061	85,838	6,204
25,5	6,940	5,940	85,590	5,862
26	6,825	5,825	85,347	5,605
26,5	6,715	5,715	85,107	6,161
27	6,594	5,594	84,835	5,776
27,5	6,481	5,481	84,570	5,990
28	6,363	5,363	84,285	5,562
28,5	6,254	5,254	84,011	5,562
29	6,145	5,145	83,727	5,776
29,5	6,032	5,032	83,421	5,391
30	5,926	4,926	83,126	5,862
30,5	5,811	4,811	82,792	5,733
31	5,699	4,699	82,453	4,920
31,5	5,602	4,602	82,150	5,904
32	5,487	4,487	81,774	5,434
32,5	5,380	4,380	81,413	5,477
33	5,273	4,273	81,034	5,263
33,5	5,169	4,169	80,656	5,177
34	5,068	4,068	80,268	2,096
34,5	5,027	4,027	80,107	8,001
35	4,870	3,870	79,466	5,348
35,5	4,765	3,765	79,014	4,963
36	4,668	3,668	78,577	5,006
36,5	4,570	3,570	78,116	5,134
37	4,469	3,469	77,623	4,664
37,5	4,378	3,378	77,156	5,220
38	4,275	3,275	76,609	4,407
38,5	4,189	3,189	76,127	4,963
39	4,091	3,091	75,559	5,263
39,5	3,988	2,988	74,926	3,765
40	3,914	2,914	74,453	4,878
40,5	3,819	2,819	73,814	4,150
41	3,737	2,737	73,244	4,492
41,5	3,649	2,649	72,598	4,578
42	3,560	2,560	71,907	4,107
42,5	3,479	2,479	71,256	4,578
43	3,389	2,389	70,495	4,065
43,5	3,310	2,310	69,785	4,407
44	3,223	2,223	68,974	3,936
44,5	3,146	2,146	68,213	4,150
45	3,065	2,065	67,369	4,065
45,5	2,985	1,985	66,498	3,637
46	2,914	1,914	65,678	4,107
46,5	2,833	1,833	64,702	3,594
47	2,763	1,763	63,802	3,851

47,5	2,687	1,687	62,785	3,808
48	2,612	1,612	61,721	3,551
48,5	2,543	1,543	60,673	3,337
49	2,477	1,477	59,634	3,380
49,5	2,411	1,411	58,525	3,594
50	2,341	1,341	57,276	3,252
50,5	2,277	1,277	56,080	1,027
51	2,257	1,257	55,688	5,434
51,5	2,150	1,150	53,492	2,995
52	2,091	1,091	52,186	3,123
52,5	2,030	1,030	50,744	2,695
53	1,977	0,977	49,427	3,038
53,5	1,918	0,918	47,857	2,824
54	1,862	0,862	46,306	2,610
54,5	1,811	0,811	44,789	2,695
55	1,758	0,758	43,130	2,310
55,5	1,713	0,713	41,626	2,524
56	1,664	0,664	39,889	2,353
56,5	1,617	0,617	38,174	2,396
57	1,570	0,570	36,325	2,054
57,5	1,530	0,530	34,649	2,182
58	1,487	0,487	32,769	1,711
58,5	1,454	0,454	31,218	1,626
59	1,422	0,422	29,676	1,797
59,5	1,387	0,387	27,889	1,583
60	1,356	0,356	26,238	1,626
60,5	1,324	0,324	24,461	1,540
61	1,294	0,294	22,698	1,326
61,5	1,268	0,268	21,112	1,412
62	1,240	0,240	19,350	1,198
62,5	1,216	0,216	17,793	0,342
63	1,210	0,210	17,337	0,898
63,5	1,192	0,192	16,115	1,027
64	1,172	0,172	14,674	1,925
64,5	1,134	0,134	11,834	0,898
65	1,117	0,117	10,443	0,770
65,5	1,102	0,102	9,216	0,727
66	1,087	0,087	8,025	0,642
66,5	1,075	0,075	6,948	0,513
67	1,065	0,065	6,068	0,513
67,5	1,055	0,055	5,171	0,471
68	1,045	0,045	4,334	0,385
68,5	1,038	0,038	3,638	0,428
69	1,029	0,029	2,852	0,342
69,5	1,023	0,023	2,215	0,257
70	1,018	0,018	1,731	0,257
70,5	1,013	0,013	1,243	0,214
71	1,008	0,008	0,832	0,214
71,5	1,004	0,004	0,418	0,214
72	1,000	0,000	0,000	0,000

ANEXO Z. FACTORES PARA CALCULAR EL CONTENIDO DE AZÚCAR INVERTIDO.

Fuente: RAUCH, George H. Fabricación de mermelada. Primera edición, Zaragoza : Acibia S.A., 1987. p. 96.

Solución requerida de azúcar (c.c.)	Soluciones conteniendo también azúcar invertido:					
	Sin sacarosa		1 gramo de sacarosa por 100 ml.		5 gramos de sacarosa por 100 ml.	
	Factor azúcar invertido(?)	Azúcar invertido por 100 ml. (mg.)	Factor azúcar invertido(?)	Azúcar invertido por 100 ml. (mg.)	Factor azúcar invertido(?)	Azúcar invertido por 100 ml. (mg.)
15	50,5	336	49,9	333	47,6	317
16	50,6	316	50,0	312	47,6	297
17	50,7	298	50,1	295	47,6	280
18	50,8	282	50,1	278	47,6	264
19	50,8	267	50,2	264	47,6	250
20	50,9	254,5	50,2	251,0	47,6	238,0
21	51,0	242,9	50,2	239,0	47,6	226,7
22	51,0	231,8	50,3	228,2	47,6	216,4
23	51,1	222,2	50,3	218,7	47,6	207,0
24	51,2	213,3	50,3	209,8	47,6	198,3
25	51,2	204,8	50,4	201,6	47,6	190,4
26	51,3	197,4	50,4	193,8	47,6	183,1
27	51,4	190,4	50,4	186,7	47,6	176,4
28	51,4	183,7	50,5	180,2	47,7	170,3
29	51,5	177,6	50,5	174,1	47,7	164,5
30	51,5	171,7	50,5	168,3	47,7	159,0
31	51,6	166,2	50,6	163,1	47,7	153,9
32	51,6	161,3	50,6	158,1	47,7	149,1
33	51,7	156,6	50,6	153,3	47,7	144,5
34	51,7	152,2	50,6	148,9	47,7	140,3
35	51,8	147,9	50,7	144,7	47,7	136,3
36	51,8	143,9	50,7	140,7	47,7	132,5
37	51,9	140,2	50,7	137,0	47,7	128,9
38	51,9	136,6	50,7	133,5	47,7	125,5
39	52,0	133,3	50,8	130,2	47,7	122,3
40	52,0	130,1	50,8	127,0	47,7	119,2
41	52,1	127,1	50,8	123,9	47,7	116,3
42	52,1	124,2	50,8	121,0	47,7	113,5
43	52,2	121,4	50,8	118,2	47,7	110,9
44	52,2	118,7	50,9	115,6	47,7	108,4
45	52,3	116,1	50,9	113,1	47,7	106,0
46	52,3	113,7	50,9	110,6	47,7	103,7
47	52,4	111,4	50,9	108,2	47,7	101,5
48	52,4	109,2	50,9	106,0	47,7	99,4
49	52,5	107,1	51,0	104,0	47,7	97,4
50	52,5	105,1	51,0	102,0	47,7	95,4

ANEXO 1. ACTIVIDAD DEL AGUA Y CRECIMIENTO DE MICROORGANISMOS EN LOS ALIMENTOS.

Fuente: CHEFTEL, Jean-Claude y Henry. Introducción a la bioquímica y Tecnología de los Alimentos. Primera edición. España : Acribia S.A., 1976. Volumen I, p. 67.

Rango de la a_w	Microorganismos generalmente inhibidos por la a_w más baja de este rango	Alimentos generalmente comprendidos dentro de este rango
1,00-0,95	<i>Pseudomonas</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Proteus</i> , <i>Shigella</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , algunas levaduras	Alimentos altamente perecederos (frescos), frutas enlatadas, verduras, carne, pescado, leche, salchichas cocidas y pan; alimentos que contienen hasta aproximadamente 40 % (p/p) de sacarosa o 7 % de cloruro sódico
0,95-0,91	<i>Salmonella</i> , <i>Vibrio parahaemolyticus</i> , <i>C. botulinum</i> , <i>Serratia</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Pediococcus</i> , algunos mohos y levaduras (<i>Rhodotorula</i> , <i>Pichia</i>)	Algunos quesos (Cheddar, Swiss, Muenster, Provolone), carne curada (jamón de York), algunos zumos de frutas concentrados; alimentos que contienen 55 % (p/p) de sacarosa o 12 % de ClNa
0,91-0,87	Muchas levaduras (<i>Candida</i> , <i>Torulopsis</i> , <i>Hansenula</i>), <i>Micrococcus</i>	Embutidos fermentados (salami), dulces esponjosos, quesos secos, margarina; alimentos que contienen 65 % (p/p) de sacarosa (saturados) o 15 % de ClNa
0,87-0,80	Mayoría de mohos (penicilios micotoxigénicos), <i>Staphylococcus aureus</i> , mayoría de sp <i>Saccharomyces (bailii)</i> , <i>Debaryomyces</i>	Mayoría de zumos de frutas concentrados, leche condensada edulcorada, jarabe de chocolate, jarabe de arce y frutas, harina, arroz, legumbres conteniendo 15-17 % de humedad, tarta de fruta, jamón <i>country-style</i> , pasta de azúcar
0,80-0,75	Mayoría de bacterias halófilas, aspergilos micotoxigénicos	Compota, mermelada, mazapán, frutas glaseadas, algunos pasteles de gelatina
0,75-0,65	Mohos xerofílicos (<i>Aspergillus chevalieri</i> , <i>A. candidus</i> , <i>Walleimia sebi</i>), <i>Saccharomyces bisporus</i>	Productos de avena conteniendo aprox. el 10% de humedad, nuegados, dulce de chocolate, pasteles de gelatina, jaleas, mielazas, azúcar de caña sin refinar, algunas frutas desecadas, frutos en nuez
0,65-0,60	Levaduras osmofílicas (<i>Saccharomyces rouxii</i>), pocos mohos (<i>Aspergillus echinulatus</i> , <i>Monascus bisporus</i>)	Frutas desecadas conteniendo 15-20 % de humedad, algunos tofes y caramelos, miel
0,50	No proliferación microbiana	Pastas conteniendo aproximadamente 12 % de humedad, especias conteniendo aproximadamente 10 % de humedad
0,40	No proliferación microbiana	Polvo de huevo entero conteniendo aproximadamente el 5 % de humedad
0,30	No proliferación microbiana	Galletas, bizcochos, cortezas de pan y similares conteniendo 3-5% de humedad
0,20	No proliferación microbiana	Leche entera en polvo conteniendo 2-3% de humedad, verduras desecadas conteniendo aproximadamente 5 % de humedad, palomitas de maíz conteniendo aproximadamente 5 % de humedad, galletas <i>country-style</i> , bizcochos

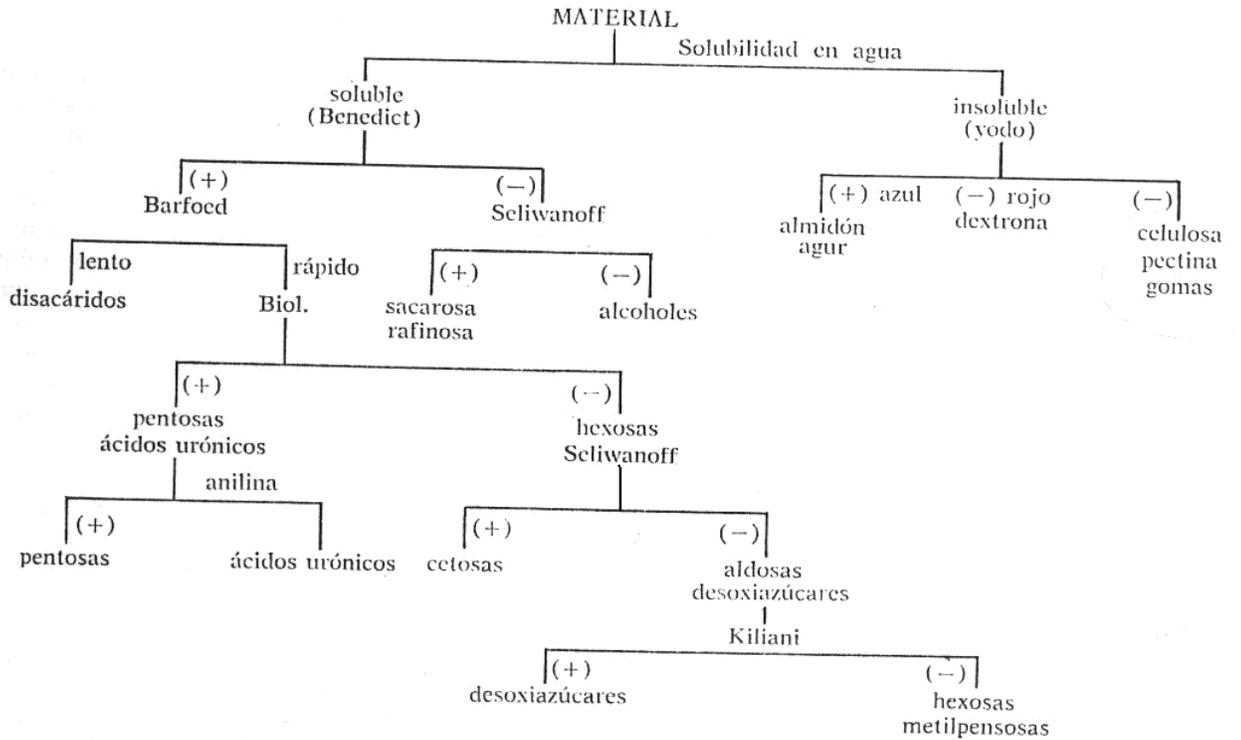
ANEXO 2. pH DE DIVERSOS ALIMENTOS

Fuente: HAYES, G. D. Manual de datos para ingeniería de Alimentos. Primera edición. España : Acribia S.A., 1987. p. 68.

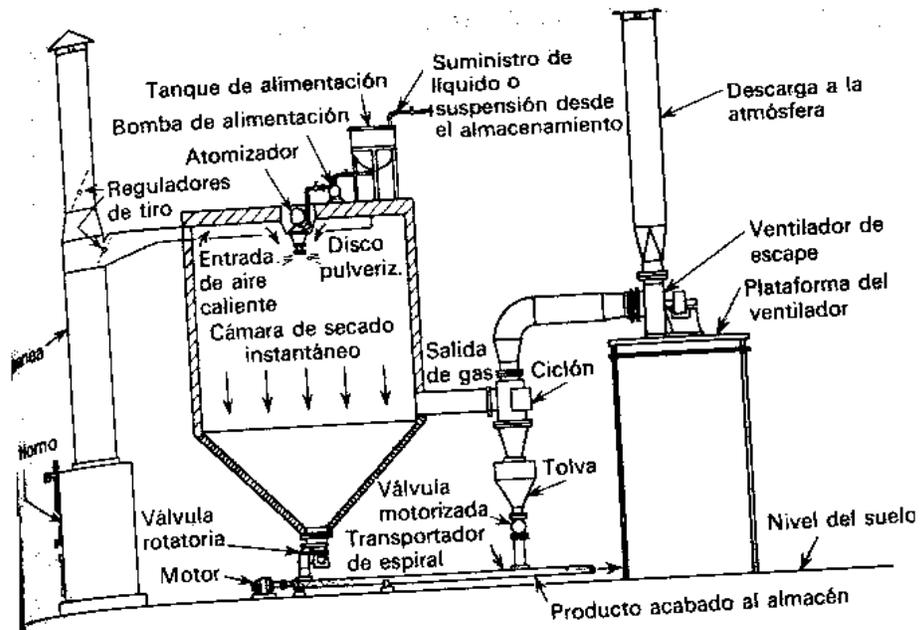
Alimento	pH	Alimento	pH
Limones	2.3-2.6	Queso (Port Salut)	5.2-5.5
Vinagre	2.4-2.8	Sopas	5.3
Vino	2.8-3.2	Patatas	5.4-5.8
Ciruelas, grosellas	2.9-3.2	Espárragos	5.5
Olivas	3.1	Alubias con carne de cerdo	5.5
Pepinos	3.1	Carnes	5.5-6.5
Manzanas	3.0-3.3	Espinacas	5.5-5.6
Escabeches	3.0-3.3	Coliflor	5.6-5.7
«Apple butter» *	3.3	Queso duro	5.6-6.2
Pomelo	3.4	Judías verdes	5.7
Compota de manzana	3.8	Salchichas Frankfurt	5.8
Zumo de piña	3.5	Pescado	6.0
Col ácida	3.5-4.0	Jamón	6.1
Naranjas	3.2-3.8	Guisantes	6.1-6.4
Fresas	3.3-3.4	Sardinas	6.1-6.4
Melocotones	3.4-3.6	Salmón	6.2-6.4
Cerezas	3.4-4.0	Ostras	6.2-6.5
Uvas pasas	3.6-4.2	Corn beef	6.3
Albaricoques	3.7-3.8	Judías verdes (lima)	6.4
Zumo de naranja	3.9	Maíz a la nata	6.3-6.5
Yogurt/queso fresco	4.0-4.5	Carne de ave	6.4-6.6
Cerveza	4.1-4.3	Setas	6.4
Calabacín	4.2	Leche	6.5-6.7
Zumo de ciruelas	3.9	Legumbres (escaldado alcalino)	6.5-7.5
Zumo de tomate	4.3	Gambas	6.8-7.0
Queso	4.8	Maíz	6.9
Nabo/coles	5.1-5.3	Pollo	7.3
Alubias de riñón	5.2-5.4	Crackers sodadas	7.5

ANEXO 3. MARCHA DE MELITZER PARA LA INVESTIGACIÓN DE AZÚCARES (MONOSACÁRIDOS)

DOMÍNGUEZ, X. A. Métodos de investigación fitoquímica. Primera edición. Centro Regional de Ayuda Técnica. México : Limusa S.A., 1973



ANEXO 4. EQUIPO DE SECADO DE PULVERIZACIÓN CON FLUJO PARALELO, SECADO POR SPRAY.



ANEXO 5. EJEMPLARES DE YACÓN DE UNA MISMA PLANTA



ANEXO 6. FOTOGRAFÍAS DE CULTIVO DE YACÓN.

Finca Los Girasoles Km 1 Via Pueblo Tapao.



