

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y TEXTIL



**“ OBTENCION DE OLIGOFRACTANOS A PARTIR DE
LA RAIZ DE YACON ”**

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Químico

Presentado por

Herbert Telésforo Hernández Uculmana

LIMA – PERU

2009

**Dedico este trabajo a mis padres y hermanos
por el apoyo y su ayuda incondicional.**

Mi sincero agradecimiento al Ing. Enrique Neira por su valiosa asesoría y permanente colaboración en el desarrollo del presente trabajo.

A los profesores que contribuyeron a mi formación en la Facultad de Ingeniería Química.

A mi Alma Mater y sobre todo a Dios nuestro creador por darme las fuerzas para seguir adelante.

INDICE DE TESIS

	Pag.
CAPITULO I	
INTRODUCCION.	8
CAPITULO II	
DESCRIPCION BOTANICA.	10
2.1 Yacón.	10
2.2 Descripción morfológica.	20
2.3 Composición química y valor nutricional.	29
2.4 Los oligofructanos.	33
2.5 Potencial industrial del yacón.	36
CAPITULO III	
DESARROLLO EXPERIMENTAL	40
3.1 Caracterización de la materia prima.	40
3.2 Métodos de análisis.	
3.2.1 Análisis físico-químico de la materia prima.	40
3.3 Obtención de jarabe de oligofructanos.	47
3.3.1 Selección y lavado.	48
3.3.2 Pelado.	49
3.3.3 Trozado.	50
3.3.4 Tratamiento térmico.	51
3.3.5 Primera extracción.	54
3.3.6 Segunda extracción.	56
3.3.7 Filtración.	56
3.3.8 Centrifugación.	57
3.3.9 Concentración.	60
3.3.10 Pasteurización.	60
3.4 Análisis físico-químico del extracto antes de la concentración.	61
3.4.1 Tratamiento térmico y extracción en agua.	61
3.4.2 Tratamiento térmico en agua y extracción mecánica.	63
3.4.2.1 Hidrólisis ácida del extracto.	63
3.4.3 Tratamiento térmico a vapor y extracción mecánica.	64
3.5 Caracterización del producto.	66
3.5.1 Determinación de parámetros para obtención de oligofructanos.	66
3.5.2 Condiciones de operación.	67
3.6 Análisis físico-químico del producto.	68
3.7 Flujos de materia en cada etapa del proceso.	68
3.7.1 Trozado y tratamiento térmico.	68
3.7.2 Extracción mecánica.	69
3.7.3 Filtración y centrifugación.	70

3.7.4	Segunda extracción.	70
3.7.5	Filtración y centrifugación.	71
3.7.6	Concentración.	72
	Diagrama de flujo nivel laboratorio.	73
CAPITULO IV		
CALCULOS PARA LA PRODUCCION DE OLIGOFRUCTANOS A NIVEL PILOTO.		74
4.1	Condiciones de operación.	74
4.2	Balance de materia.	74
4.2.1	Tratamiento térmico.	74
4.2.2	Extracción.	75
4.2.3	Filtración.	77
4.2.4	Centrifugación.	77
4.2.5	Segunda extracción.	78
4.2.6	Filtración y centrifugación.	78
4.2.7	Concentración.	78
4.3	Balance de energía.	80
4.3.1	Tratamiento térmico.	80
4.4	Selección de equipo.	82
4.4.1	Cálculo de las características de los tanques de proceso.	88
4.4.2	Especificaciones de los tanques de almacenamiento.	89
4.4.3	Especificaciones de las bombas.	91
	Diagrama de flujo planta piloto.	92
	Diagrama de flujo de proceso planta piloto.	93
4.5	Costo de procesamiento.	94
4.5.1	Costo primo mensual de procesamiento de extracto concentrado de oligofructanos.	95
CAPITULO V		
RESULTADOS Y DISCUSION.		96
5.1	Caracterización de la materia prima.	96
5.2	Caracterización del producto.	96
5.3	Parámetros de operación.	97
5.4	Rendimientos.	98
5.5	Conclusiones y recomendaciones.	99
CAPITULO VI		
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.		100
GLOSARIO.		102
APENDICE.		104

RESUMEN

Los oligofruktanos ó fructooligosacáridos (FOS) , son carbohidratos formados por cadenas de dos a nueve moléculas de fructosa y una de glucosa terminal, los cuales entre otros se obtienen a partir de la raíz del yacón. Actualmente se conoce de los grandes beneficios a la salud de los FOS, por lo que viene siendo utilizado tanto en el Perú como en otras partes del mundo en diversos tipos de alimento, en especial como un edulcorante natural de bajas calorías. Su contenido de agua esta entre el 80 y 90 % del peso de las raíces frescas y los carbohidratos constituyen aproximadamente el 90 % del peso seco de las raíces recién cosechadas, de los cuales entre 50 y 70 % son FOS, el resto de carbohidratos lo conforman la fructosa, glucosa y sacarosa.

El desarrollo experimental a realizar en laboratorio previo a la obtención del jarabe de oligofruktanos requiere de análisis químicos y fisico-químicos de la materia prima tales como : cenizas, proteínas, acidez titulable, pH, antocianinas y sólidos solubles como fructosa equivalente. Las etapas consideradas para esta operación son : selección y lavado de la materia prima, pelado, trozado y tratamiento térmico, primera extracción, segunda extracción, filtración, centrifugación, concentración y pasteurización. Para el tratamiento térmico se realiza un escaldado a vapor para no diluir el extracto obtenido en las siguientes etapas como la segunda extracción en la que se utiliza agua como medio de extracción, ya que la primera extracción es mecánica, es necesario dos etapas de filtración tanto en tela como a través de papel de filtro utilizando vacío para obtener un extracto libre de sólidos en suspensión, sin embargo es necesario también centrifugar para obtener cierta clarificación del extracto y poder así realizar los correspondientes análisis químicos. Se aplica el método de Lane & Eynon utilizando reactivo de Fehling para encontrar la concentración de azúcares reductores en el extracto é indirectamente la concentración de FOS realizando medidas antes y después de una hidrólisis ácida del extracto. Finalmente una concentración del extracto utilizando vacío

para alcanzar una temperatura lo suficientemente baja para evitar hidrólisis de los FOS y conseguir un jarabe concentrado rico en FOS y los carbohidratos fructosa, glucosa y sacarosa. Obtenido el producto final se aplica el método de Miller para encontrar la concentración de azúcares reductores y FOS, éste relaciona absorbancia-concentración utilizando espectrofotometría UV-VIS. La pasteurización del jarabe y envasado en frasco de vidrio permite la conservación del mismo.

Un balance de materia y energía y teniendo en cuenta las condiciones de operación para el proceso seguido en laboratorio, permite diseñar el proceso de obtención de oligofructanos a nivel de planta piloto y un perfil de los equipos para cada etapa de tal forma de poder seleccionar los mismos de los diferentes fabricantes que existen en el mercado.

Resultados y conclusiones.

- El producto final es un jarabe concentrado de oligofructanos y carbohidratos fructosa, glucosa y sacarosa además de otros componentes.
- La concentración final del jarabe es de 30 ° brix y pH = 6,7 aproximadamente.
- La concentración de oligofructanos es 12,6 %.
- La relación del peso de oligofructanos a la materia prima es de 8,7 % aproximadamente.
- El rendimiento de extracción es del 58 %.
- En la etapa de tratamiento térmico se utiliza vapor para obtener mejores resultados en el producto final.
- La extracción mecánica también favorece la obtención del producto final por no necesitar de agua.
- La temperatura en la concentración al vacío se debe mantener por debajo de los 50 °C para impedir en lo posible una hidrólisis de los FOS.

CAPITULO I. INTRODUCCION.

Los oligofructanos son oligosacáridos naturales de la fructosa, los cuales se encuentran en la raíz de yacón, son aislados además de otras fuentes vegetales naturales como las dalias, la raíz de achicoria y el topinambur, sin embargo se le encuentra también en una gran cantidad de alimentos como el ajo,cebolla, lechuga, alcachofa jerusalem, plátano, arroz, trigo entre otros.

Esta planta se conoció desde la época incaica en los Andes, pero la información es escasa sobre usos tradicionales de la raíz de yacón. Generalmente esta raíz es consumida cruda, tiene un agradable sabor dulce y muy refrescante, también se consume sancochado u horneado, en la cocción estos permanecen dulces y ligeramente tostados. En poblados andinos frecuentemente se rallan, se exprimen y al filtrarlos se obtiene una bebida dulce y fresca. Algunas veces cuando esta muy concentrado se forman bloques de azúcar.

Actualmente en el Perú se conocen diversas propiedades y usos que se da a este tubérculo principalmente debido a los oligofructanos o fructooligosacáridos (FOS) y a la cantidad de agua que contienen, es así que en años recientes se ha incrementado la demanda y el consumo de yacón a tal punto que muchos productores se dedican a su cultivo con el propósito de comercializarlos en los principales centros de demanda, por ello la industria agroalimentaria ha promovido el diseño de nuevos alimentos cuyos componentes tomados en cantidades suficientes favorecen el control del peso, reducir riesgo de enfermedades y mantener una mejor calidad de vida. Estos nuevos alimentos resultan generalmente compuestos por edulcorantes artificiales importados para la industria de jugos, mermeladas y bebidas, ante esta situación una alternativa se presenta en la sustitución de estos por edulcorantes hipocalóricos como los oligofructanos a partir de productos naturales como el yacón, productos que

tienen uso creciente hoy en día por ser naturales y ecológicos, es decir cultivados empleando técnicas adecuadas libres de pesticidas y obtener grandes producciones y cuyo procesamiento requiere cada vez mayor investigación con el fin de poder competir en costos.

CAPITULO II.

EL YACON.

DESCRIPCION BOTANICA.

2.1 Yacon. (*smallanthus sonchifolius*)

(*polymnia sonchifolia*)

La raíz de yacón se produce principalmente en la zona andina y la selva del Perú, fue una planta cultivada antiguamente por los Incas, el cual constituyó como parte de su dieta alimentaria y medicinal. Algunos investigadores como Weberbauer identifica la especie en tumbas preincaicas, Engel en 1987 menciona que el yacón apareció en el Perú hace mas de 5 500 años. Es también tubérculo común en países sudamericanos en altitudes medianas que van de los 1 000 a los 3 600 msnm. considerado como una planta indígena de América tropical-andina.

Las raíces son tuberosas, fusiformes u ovaladas, grandes alargadas, (figura 1) con pulpa dulce, debido principalmente a los oligofructanos y azúcares simples, son exteriormente de color crema, blanquecino o púrpura, de acuerdo a los diferentes ecotipos existentes y que se extienden hasta 0,8 m alrededor de la planta y 0,6 m de profundidad, produciendo hasta 23 raíces con un diámetro de 12 cm y una longitud de hasta 30 cm y se puede alcanzar rendimientos en raíces de 2 a 4 kg / planta en promedio a mas de 38 ton / ha. Estas raíces presentan su mas alta concentración de oligofructanos (hasta 80 % del peso seco) luego de la cosecha ya que conforme pasa el tiempo y mas si son expuestas al sol estos carbohidratos son descompuestos y transformados en azúcares simples como fructosa principalmente seguidos de glucosa y sacarosa.

El yacón es una herbácea cuya clasificación taxonómica podemos ver en el cuadro 1, este tubérculo puede multiplicarse por semillas o rizomas, cuyo tallo mide hasta 2,10 m de alto y 2,05 cm de diámetro en la parte mas desarrollada,

tallo fofo con manchas púrpuras, si proviene de semilla, consta de un solo tallo principal, a veces ramificado desde la base, otras veces, solo con ramas pequeñas en la parte superior. Si la planta proviene de propágulo o semilla vegetativa, consta de varios tallos (4 – 12).

Las hojas de color verde oscuro, son pecioladas de base trunca, estas pueden llegar a medir hasta 22 cm de longitud y un ancho de 15 cm, poseen pilosidades de 1 a 1,5 mm. En cada tallo se producen entre 13 a 16 pares de hojas, hasta el inicio de la floración, después de la floración la planta solo produce hojuelas pequeñas,(figura 2). Según estudios se han encontrado lactonas, flavonoides, keuvenoides, sesquiterpenos y otras sustancias no estudiadas con actividades antioxidantes y citoprotectoras. Las hojas son comestibles y con alto contenido de proteínas (11-17 %) en base seca. Son muy susceptibles a heladas y granizadas.

Cuadro 1 Clasificación taxonómica del yacón.

Superreino	: Eucaryotes.
Reino	: Planta.
Subreino	: Embryophyta.
Phylum	: Trachophyta.
Superclase	: Angiospermae.
Clase	: Dicotyledoneae.
Orden	: Asterales.
Familia	: Compositae.
Género	: Polymnia.
Especie	: Sonchifolia.

Se recomienda hacer cosechas escalonadas, conforme las hojas van madurando, dejando un par de hojas en cada tallo, así se evita pérdida de hojas por ataque de hongos, insectos o que se ensucien, a la vez se permite que la planta siga produciendo hojas, sin sufrir retraso.

Es de inflorescencia racimosa de tipo cabezuela, pequeña de color amarillo anaranjada,(figura 3).

El fruto del yacón que en este caso viene a ser a la vez la semilla es de color negro a marrón con epidermis lisa y endocarpio sólido, cuyo pericarpio se desprende con un ligero frotamiento.



Figura 1 La raíz del yacón.



Figura 2 Plantación del yacón.

Entre la raíz y el tallo aéreo, se forma una cepa o corona que es una masa de forma irregular de tejido parenquimático y con abundantes yemas vegetativas, de la cual se extraen los propágulos para la siembra. La abundancia y tamaño depende del tipo de suelo y la resistencia de la planta a factores climáticos como sequías, estos factores hacen que se presenten diversos ecotipos clonales de acuerdo a la coloración de la epidermis como el amarillo (crema), rosado, moteado (jaspeado) y blanco, cuyas características específicas se presentan en los cuadros 2,3,4 y 5.



Figura 3 Flor del yacón.

Cuadro 2 Características del ecotipo.

Yacón amarillo (*smallanthus sonchifolius*)

<p>Nombre quechua : Kello llacón Tipo de crecimiento : erecto No. de tallos : 3 a 6 tallos /planta Color de hojas : verde oscuro Color de flor : amarillo oscuro Período vegetativo : 250 – 260 días Rendimiento : entre 2 a 3 kg / planta Tuberización : temprana.</p>	<p>Características de la raíz comestible Forma : fusiforme No. de raíces : 16 a 20 raíces / planta Color de la piel : amarillo oscuro Tipo de piel : liso Color de la pulpa : amarillo Palatabilidad : ligeramente dulce.</p>
---	--

Cuadro 3 Características del ecotipo.

Yacón rosado (*smallanthus sonchifolius*)

<p>Nombre quechua : Puca llacón Tipo de crecimiento : semi-erecto No. de tallos : 3 a 5 tallos / planta Color de hojas : verde oscuro Color de flor : amarillo anaranjado Período vegetativo : 220 -240 días Rendimiento : 3 a 4 kg /planta Tuberización : temprana</p>	<p>Características de la raíz comestible Forma : fusiforme No. de raíces : 12 a 18 raíces /planta Color de la piel : rosado Tipo de piel : liso Color de pulpa : rosado jaspeado Palatabilidad : dulce.</p>
---	--

Cuadro 4 Características del ecotipo.

Yacón moteado (*smallanthus sonchifolius*)

<p>Nombre quechua : Checche llacón Tipo de crecimiento : semi-erecto No. de tallos : 4 a 9 tallos /planta Color de hojas : Verde Color de flor : amarillo anaranjado Período vegetativo : 250 a 260 días Rendimiento : entre 2 a 3,5 kg /planta Tuberización : rápida muy temprana</p>	<p>Características de la raíz comestible Forma : fusiforme No. de raíces : 10 a 16 raíces/planta Color de la piel : Rosado jaspeado Tipo de piel : liso Color de pulpa : moteado rosado Palatabilidad : dulce</p>
--	--

Cuadro 5 Características del ecotipo.

Yacón blanco (*smallanthus sonchifolius*)

<p>Nombre quechua : Yurac llacón Tipo de crecimiento : erecto No. de tallos : 3 a 5 tallos /planta Color de hojas : verde claro Color de flor : amarillo Período vegetativo : 260 a 280 días Rendimiento: 0,9 a 2,1 kg/planta Tuberización : intermedia.</p>	<p>Características de la raíz comestible Forma : semi-esférica oblonga No. de raíces : 7 a 10 raíces /planta Color de la piel : crema Tipo de piel : ligeramente liso Color de la pulpa : blanco crema Palatabilidad : ligeramente dulce.</p>
--	--

La época de siembra está comprendida entre los meses de Setiembre a Octubre, pero se puede realizar en cualquier época del año, con un período vegetativo alrededor de siete meses a un año. Cuando las flores se marchitan y mueren es tiempo de cosechar los tubérculos. Como alimento las raíces tuberosas son dulces y mejor si han sido soleadas un tiempo. También se pueden consumir cocidas y horneadas; y como bebida refrescante el extracto.

En el Perú se distribuye en la costa, sierra y selva alta, en algunos lugares como en el Cuzco es conocido con el nombre de yakhun, en Ancash como racón y en Piura como yacón, también es conocido en las regiones de Cajamarca, Amazonas, Lambayeque, La Libertad, San Martín, Ancash, Huanuco, Lima, Pasco, Junín, Huancavelica, Apurímac, Arequipa y Puno. Se cultiva en Venezuela donde se le conoce con el nombre de jiquima, y Colombia con el nombre de jiquimilla, en Bolivia se le encuentra en Tarija, Chuquisaca, Cochabamba y La Paz, en Ecuador donde crece en forma silvestre en lugares como Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo y Loja, en el norte de Argentina como Salta y Jujuy.(figura 4). Introducida a Italia donde se ha logrado rendimientos de 38 quintales por Há. (Calvino, 1940, citado por León 1964); en Nueva Zelanda y en 1985 fue introducida al Japón.

La propagación del yacón en forma tradicional se realiza en porciones de cepa o corona. Después de la cosecha se corta la cepa en trozos, cada uno con varias yemas con o sin brote y se siembran directamente en campo. Existen otras formas de reproducción como

a-) Por brotes enraizados en la misma cepa y luego desgajados. Para esto se deja las cepas en campo, se le aplica agua para que broten, aproximadamente al mes o mes y medio, se han formado brotes con raíces, los cuales se trasplantan en campo.

b-) Por estacas o esquejes de tallo. Se toman tallos antes de que entren en floración, se cortan en pedazos con dos o mas nudos y se ponen a enraizar en arena o tierra. A los 45 días aproximadamente las estacas han brotado y enraizado y se pueden trasplantar.



Figura 4 Areas de cultivo de yacón en los Andes.

c-) Por nudos individuales. Se cortan nudos y se colocan en arena o en tierra mas humus, a los 60 dias aproximadamente se han formado nuevas plantas.

d-) En laboratorio (in vitro). Esto solo lo pueden hacer instituciones que poseen laboratorio adecuado.

e-) Por semilla. Las pocas semillas viables que produce el yacón, se pueden sembrar para producir nuevas plantas.

El yacón es una planta que responde bien a los asociados, al parecer así evolucionó bajo domesticación. Un asocio muy difundido en el norte es con maíz. La tecnología fue descrita por la comunidad de Chapolan y Socchedon en Contumazá en el departamento de Cajamarca. Aquí el maíz y el yacón se siembran en Junio, bajo riego, en surcos intercalados o en plantas de cada especie intercaladas en cada surco. De Noviembre a Diciembre el maíz ha producido choclo y además forraje para el ganado, se cosecha el maíz y el yacón queda solo en el campo, justamente en la etapa en que este último necesita mas espacio. Esta tecnología fue válida experimentalmente en la Universidad Nacional de Cajamarca.

La raíz del yacón tiene un gran futuro industrial ya que con un adecuado primer procesamiento puede proporcionar un jarabe con alta concentración de oligofruktanos ó fructooligosacáridos (FOS), polímeros de la fructosa, un tipo de oligosacáridos, (figura 5) y luego un concentrado de fructosa, pues es una planta con mayor contenido de este carbohidrato. Este producto tiene la posibilidad de ser usado en la elaboración de alimentos dietéticos. Los oligofruktanos y la fructosa son muy adecuados para enfermos y diabéticos, es una de las pocas plantas conocidas que las contiene en cantidades aprovechables industrialmente.

La cosecha de la raíz se realiza entre los 8 y 12 meses de acuerdo al lugar y el cultivar. El indicador es el amarillamiento de las hojas, pero sobre todo las inflorescencias y tallos empiezan a secarse. Otro indicador para el agricultor es cuando aparecen rajaduras en el suelo alrededor de la planta.

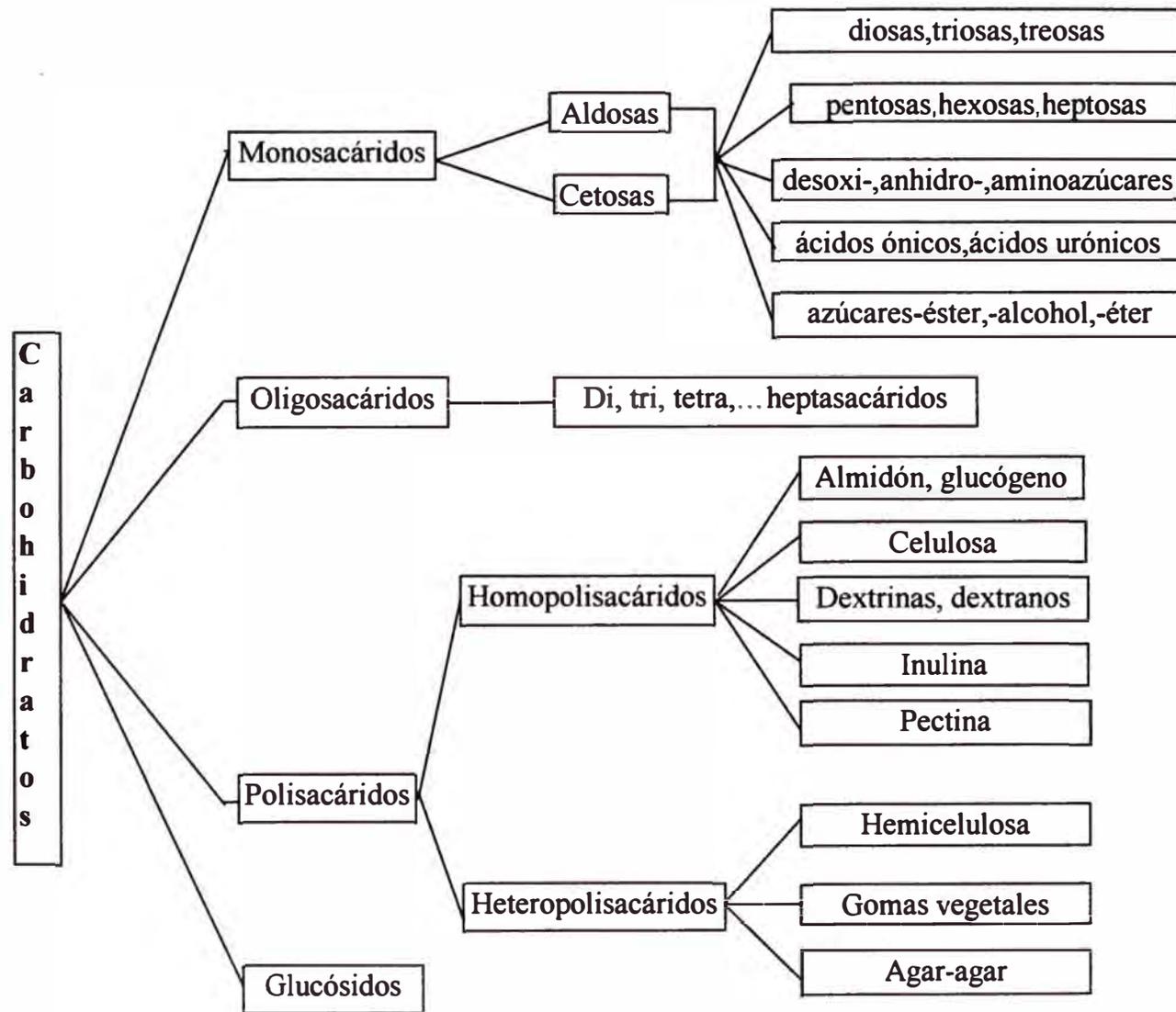


Figura 5 Clasificación de los carbohidratos (sacáridos).

2.2 Descripción morfológica.

Desde el año 1993, varias instituciones de los países andinos retomaron ó iniciaron un trabajo sostenido de conservación de germoplasma de yacón y otras tuberosas. Además de la Universidad Nacional de Cajamarca, otras instituciones que conservan germoplasma de yacón son las universidades de Huánuco, Huancayo, Ayacucho, Cerro de Pasco y Agraria La Molina. Se calcula que en diferentes instituciones de Ecuador, Bolivia y Perú se mantienen 400 accesiones de yacón.

La caracterización morfológica con descriptores de alta capacidad discriminatoria, permitió agrupar el germoplasma en morfotipos. El morfotipo se define como un grupo de muestras o accesiones de una especie, que presenta caracteres cualitativos, que lo diferencian de otros grupos. Para el caso de plantas cultivadas, un morfotipo es sinónimo de cultivar, el cual es plenamente descrito e identificado por los agricultores. Los caracteres principales que diferencian a los morfotipos o cultivares son : ramificación del tallo, color de tallo, color de pulpa y corteza de raíz, forma de lámina de la hoja, color de brote y número y profundidad de dientes de ligula de la flor femenina.

La mayor variabilidad en términos de formas cultivadas o morfotipos, esta tanto en el norte(Cajamarca, Amazonas, Piura, Lambayeque y la Libertad), como en el sur(Cuzco, Apurímac y Puno).

Cuatro morfotipos son de mayor distribución y cultivo, nombrados como: morado por el color externo de la raíz, amarillo y blanco, por el color de la pulpa de la raíz y verde púrpura por el color del follaje. De este grupo al parecer, los tres primeros están distribuidos en toda la región andina. Haciendo una descripción genérica se tiene las raíces tuberosas, de las cuales hay varias en cada planta, son externamente de color púrpura opaco, internamente la raíz se presenta como un cuerpo carnoso anaranjado transparente.

La epidermis se forma de varias capas de células muy comprimidas, los tejidos corticales están formados por parénquima llenos de agua, (la raíz del yacón contiene 85 % de humedad), en las capas externas debajo de la

epidermis contiene abundante antocianina que dá el color purpúreo a esos tejidos, los tubérculos pueden variar considerablemente en su forma y tamaño y generalmente pesan de 200 g a 500 g ,pero pueden llegar a pesar hasta 2 kg, el color de la cáscara varía desde marrón oscuro al purpúreo opaco incluso el naranja.

Según Meza G. (1995) en el Perú se conocen 5 variedades de yacón. Sin embargo no se tienen estadísticas de producción por la variedad o tipo de yacón producidos.

En los últimos años gran parte de la producción se esta destinando a la venta según podemos ver como ejemplo para la región Puno (cuadro 6)

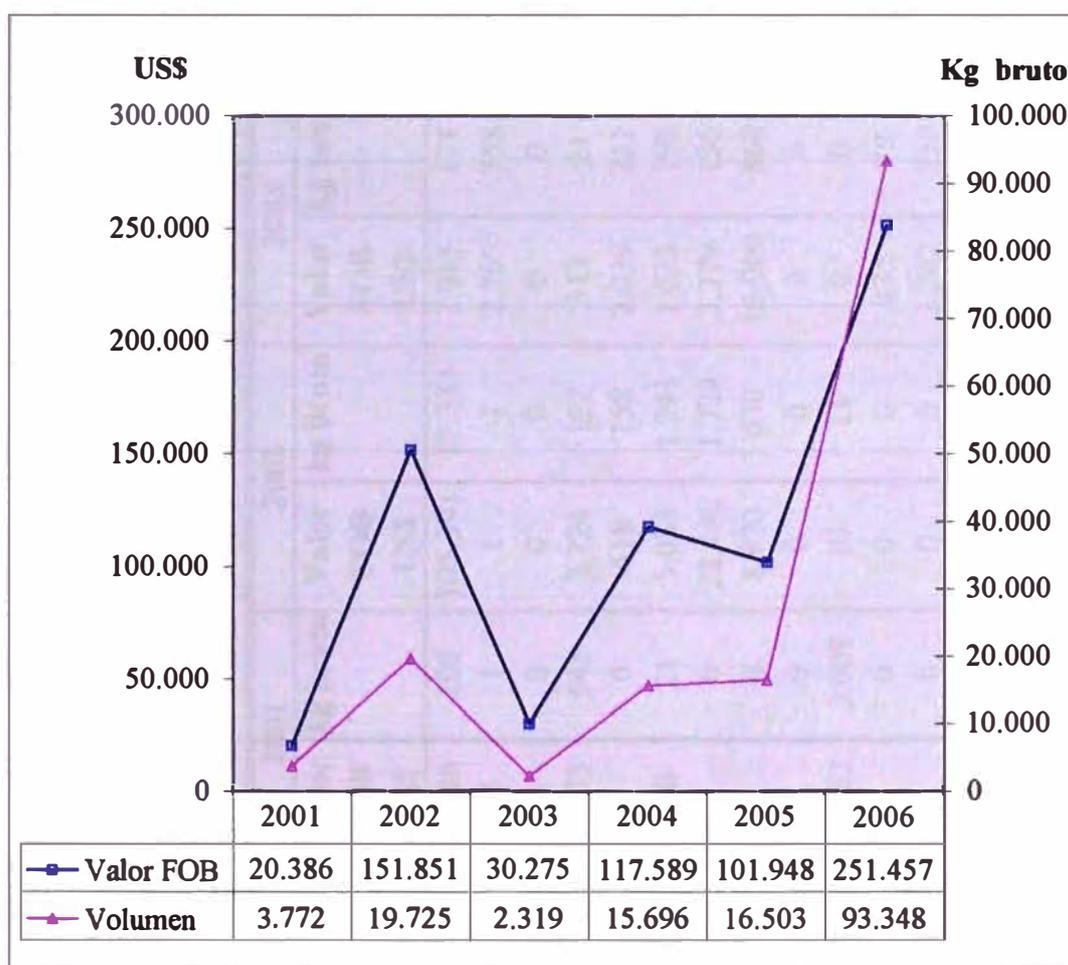
De acuerdo con fuentes de la Sunat dadas por Prompex. se tienen datos de producción para exportación, tipos de presentación y países de destino a partir del año 2001.

Cuadro 6 Distribución de la cosecha de yacón en la región Puno.

Rubro	kg	%
semilla.	258,2	9,69
Consumo.	114,6	4,3
Venta.	2224,3	83,47
Animales.	67,5	2,53
Total	2664,6	100,0

**Cuadro 7 Exportaciones de yacón en el Perú.
2001 - 2006**

Año	Valor FOB US\$	Valor unitario		
		Volumen kg bruto	promedio (US\$ / kg)	Variación % Valor FOB
2001	20.386	3.772	5,4	
2002	151.851	19.725	7,7	644,9
2003	30.275	2.319	13,1	-80,1
2004	117.589	15.696	7,5	288,4
2005	101.948	16.503	6,2	-13,3
2006	251.457	93.348	2,7	146,7

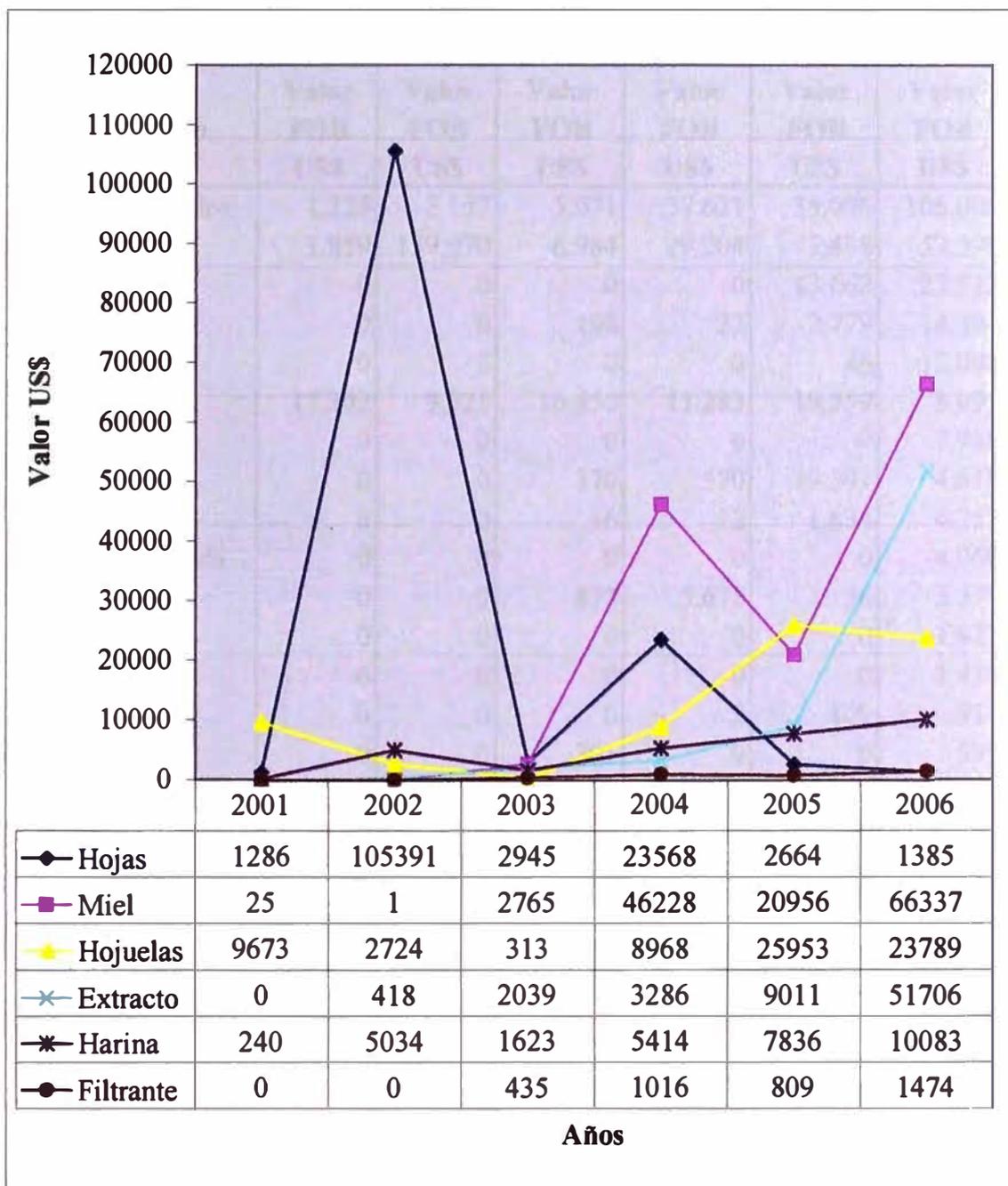


Fuente : Superintendencia Nacional de Administración Tributaria.
Elaboración : BIOCOMERCIO / PROMPEX.

**Figura 6 Evolución de las exportaciones de yacón.
2001 - 2006**

**Cuadro 8 Exportaciones de yacón según tipo de presentación.
2001 - 2006**

Presentación	2001		2002		2003		2004		2005		2006	
	Valor FOB US\$	kg bruto	Valor FOB US\$	kg bruto	Valor FOB US\$	kg bruto	Valor FOB US\$	kg bruto	Valor FOB US\$	kg bruto	Valor FOB US\$	kg bruto
Hojas	1.286	200	105.391	15.383	2.945	174	23.568	3.813	2.664	342	1.385	157
Miel	25	1	1	1	2.765	358	46.228	5.355	20.956	2.193	66.337	7.883
Embarque mixto	0	0	0	0	0	0	16.213	3.646	13.203	6.086	90.733	73.518
Hojuelas	9.673	541	2.724	127	313	21	8.968	812	25.953	2.408	23.789	2.179
Extracto	0	0	418	158	2.039	231	3.286	484	9.011	396	51.706	6.234
Harina	240	21	5.034	1.241	1.623	195	5.414	472	7.836	758	10.083	1.233
Deshidratado	0	0	22.450	1.724	3.779	136	2.096	161	4	2	0	0
Raíz	0	0	8.820	670	15.000	860	599	21	0	0	0	4
Cápsulas	0	0	0	0	0	0	5.986	264	10.595	434	1.095	62
Jugo	9.162	3.008	10	18	0	0	4	10	161	68	0	0
Filtrante	0	0	0	0	435	75	1.016	122	809	70	1.474	152
Mermelada	0	0	0	0	1.262	238	1	0	6	3	0	0
Present. no especific.	0	0	7.003	400	0	0	0	0	3	10	1.903	654
Otras presentaciones	0	0	0	3	114	31	4.210	535	10.747	3.732	2.951	1.271
	20.386	3.771	151.851	19.725	30.275	2.319	117.589	15.695	101.948	16.502	251.456	93.347



Fuente :Superintendencia Nacional de Administración Tributaria.

Elaborado : BIOCOMERCIO / PROMPEX

Figura 7 Exportaciones de yacón según tipo de presentación.

**Cuadro 9 Exportaciones de yacón según países de destino.
2001 - 2006**

Mercado	2001 Valor FOB US\$	2002 Valor FOB US\$	2003 Valor FOB US\$	2004 Valor FOB US\$	2005 Valor FOB US\$	2006 Valor FOB US\$
Estados Unidos	1.225	2.157	5.071	57.621	35.006	106.006
Japón	1.859	139.970	6.984	29.204	7.488	52.399
Brasil	0	0	0	0	13.662	27.713
Reino Unido	0	0	198	22	2.779	14.394
Suiza	0	3	0	0	46	12.098
Alemania	17.302	9.721	16.450	11.283	19.559	8.095
Guatemala	0	0	0	0	0	7.980
Canadá	0	0	370	570	19.391	4.618
Francia	0	0	16	12	1.634	4.257
Nueva Zelanda	0	0	0	0	0	4.060
España	0	0	872	5.678	56	3.377
Aruba	0	0	0	0	0	1.927
Honduras	0	0	0	0	0	1.430
Mexico	0	0	0	2	800	914
Argentina	0	0	301	0	0	695
Paises Bajos	0	0	0	8.721	0	576
Austria	0	0	0	0	256	280
República Checa	0	0	0	631	0	222
Chile	0	0	0	0	0	150
Australia	0	0	0	8	854	123
Islas Virgenes	0	0	0	0	0	50
Bélgica	0	0	0	0	0	45
Costa Rica	0	0	14	0	0	23
Venezuela	0	0	0	0	0	15
Hong Kong	0	0	0	3.578	406	0
Italia	0	0	0	240	0	0
	20.386	151.851	30.276	117.570	101.937	251.447

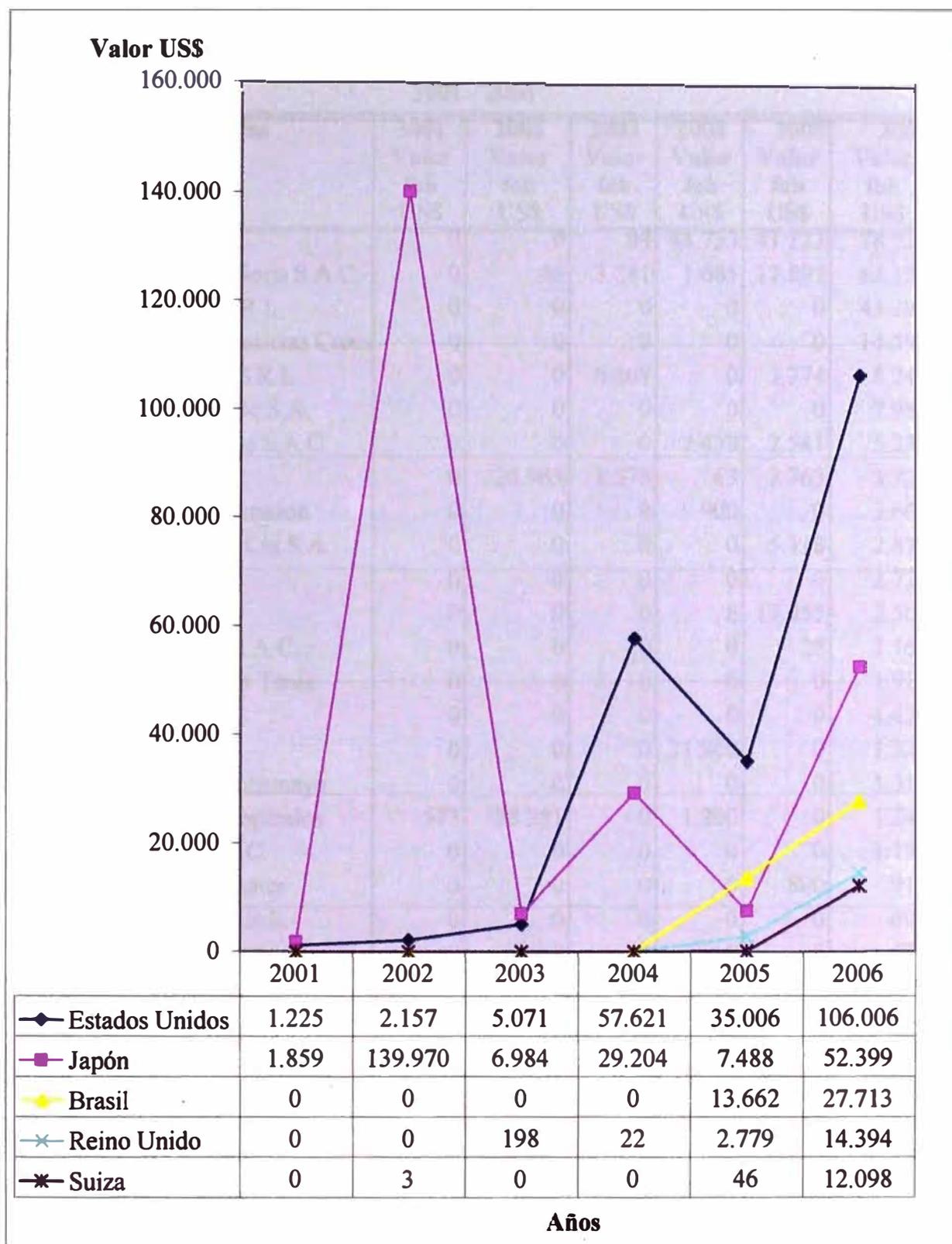


Figura 8 Evolución de las exportaciones de yacón según los cinco principales países de destino. 2001 - 2006

**Cuadro 10 Exportación de yacón de principales empresas.
2001 - 2006**

Empresa	2001 Valor fob US\$	2002 Valor fob US\$	2003 Valor fob US\$	2004 Valor fob US\$	2005 Valor fob US\$	2006 Valor fob US\$
Ecoandino S.A.C.	0	0	99	44.733	41.123	78.711
Agroindustrias Floris S.A.C.	0	86	3.281	1.685	17.897	63.151
Grupo Smar E.I.R.L.	0	0	0	0	0	43.290
Industrias Alimenticias Cuzco	0	0	0	0	0	14.592
Koken del Perú S.R.L.	0	0	6.669	0	3.774	8.245
Inversiones Yo Be S.A.	0	0	0	0	0	7.980
Peruvian Heritage S.A.C.	0	0	0	7.438	2.541	5.230
Cabex S.A.	0	20.963	1.578	63	2.763	3.728
Exportaciones Amazon	0	0	0	900	0	3.600
G W Yichang & Cia S.A.	0	0	0	0	5.118	2.872
Nextrade S.A.C.	0	0	0	0	0	2.728
Bupo S.A.C.	0	0	0	8	13.055	2.563
Herbs América S.A.C.	0	0	0	0	28	2.160
Paredes Gonzales Tania	0	0	0	0	0	1.927
Inkaflavor S.R.L.	0	0	0	0	0	1.430
CPX Perú S.A.	0	0	0	21.960	0	1.320
Industrial Chanchamayo	0	0	0	0	0	1.315
Deshidratados tropicales	573	28.351	0	1.200	0	1.245
Tradel Corp S.A.C.	0	0	0	0	0	1.193
Pronakar Inversiones	0	0	0	0	800	914
Amazon Sun E.I.R.L.	0	0	0	0	0	608
Agro Business Export	0	0	0	0	0	576
Andina Real S.A.C.	0	0	0	75	0	405
Yamano del Perú S.A.C.	0	0	0	0	0	299
C. Internacional de la papa	0	0	0	0	0	290
Importadora Luval	0	0	0	0	0	158
Peruvian Nature S & S	0	26	0	8.314	3.114	153
Ser. é Inv. Probior	0	0	0	0	0	150
Productos Oriundo	0	0	0	0	2	144
Ramirez Villavicencio Luisa	0	0	0	0	0	100
A-1 Industrial del Perú	0	0	0	3.128	5.375	0
Agribusiness Consult & M.	18.527	7.000	15.000	0	0	0
Agro export Topara S.A.C.	0	0	0	2.257	0	0
Alfil Andina S.A.C.	0	72.650	872	3.578	0	0
Tot	21.101	58.428	28.630	93.765	97.605	253.302

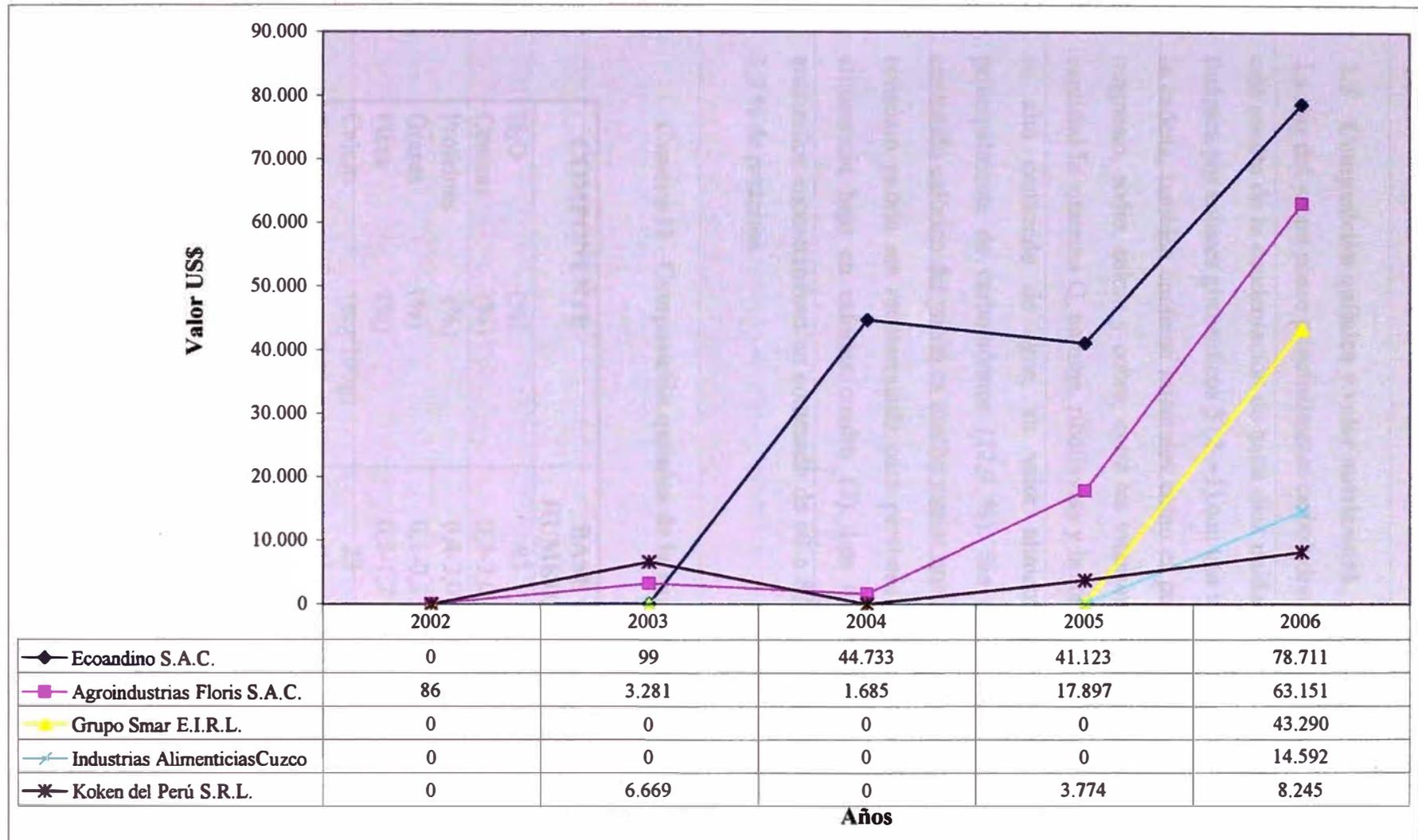


Figura 9 Evolución de las exportaciones de yacón según cinco empresas exportadoras.

2.3 Composición química y valor nutricional.

La raíz del yacón posee principalmente carbohidratos como los oligofructanos, este resulta de la condensación de hasta diez unidades de D-fructosa en forma furánica por enlaces glicosídicos β (2 \rightarrow 1), con una unidad de glucosa al final de la cadena, también contiene minerales como el potasio, fósforo, hierro, cinc, magnesio, sodio, calcio y cobre, entre las vitaminas se encuentran en mayor cantidad la vitamina C, tiamina, riboflavina y la niacina. (cuadro 11). Debido a su alto contenido de agua, su valor alimenticio es bajo y consiste principalmente de carbohidratos (12,9 %). Sin embargo debido a que el contenido calórico del yacón es mucho menor que la mayoría de alimentos, su consumo podría ser recomendado para personas que practican un régimen alimenticio bajo en calorías. (cuadro 12). Los tubérculos frescos han sido analizados encontrándose un contenido de 60 a 87 % de humedad y de 0,3 a 3,7 % de proteínas.

Cuadro 11 Composición química de la raíz de yacón.

COMPONENTE		BASE HUMEDA	BASE SECA
H ₂ O	(%)	93	
Cenizas	(%)	0,3-2,0	1,1-6,7
Proteínas	(%)	0,4-2,0	1,3-7,3
Grasas	(%)	0,1-0,3	0,4-1,0
Fibra	(%)	0,3-1,7	1,0-5,7
Calcio	(mg/100g)	23	
Fósforo	(mg/100g)	21	
Hierro	(mg/100g)	0,3	
Retinol	(mg/100g)	10	
Tiamina	(mg/100g)	0,01	
Riboflavina	(mg/100g)	0,10	
Niacina	(mg/100g)	0,33	
Ac. Ascórbico	(mg/100g)	13	
Caroteno	(mg/100g)	0,08	

Cuadro 12 Valor calórico de los azúcares del yacón.

Azúcar	Kcal / g
Sacarosa	4
Glucosa	4
Fructosa	4
FOS	1 – 1,5

Es destacable la estabilidad de estos glúcidos, esta depende sin embargo de la pareja de parámetros pH/temperatura. A pH bajo ó temperatura elevada estos edulcorantes son hidrolizados en glucosa y fructosa, a pH medio estos glucofructanos son estables a temperaturas elevada del orden de 140°C a 150°C, a pH bajo (inferiores a 3) la estabilidad no esta asegurada mas que a temperaturas inferiores o iguales a 70°C.

Otras fuentes naturales convencionales de donde se extraen los fructooligosacáridos (FOS) y la inulina, fructooligosacárido con un grado de polimerización de 20 a 60 monómeros de fructosa son la achicoria (*cichorium intybus*), el topinambur (*helianthus tuberosus*), ambas asteráceas como el yacón, la alcachofa jerusalem y las dalias. Sin embargo los fructooligosacáridos también se obtienen a escala industrial por medio de procesos enzimáticos a partir de la sacarosa, partiendo de un jarabe obtenido de remolachas que sufre una conversión enzimática a través de la fructosilfuranosidasa que se extrae del microorganismo *aspergillus niger* ó a partir de la inulina procedente de extractos de plantas (achicoria y alcachofa) gracias a la actividad hidrolítica de la inulinasa. La inulina es un polvo blanco que desempeña el papel de sustancia de reserva en los vegetales, es decir de material que será consumido en el siguiente período vegetativo, es higroscópico, consistente en agregados birrefringentes, es muy soluble en agua caliente, casi insoluble en alcohol absoluto y no reduce el reactivo de Fehling.

La hidrólisis ácida controlada de polisacáridos ú oligosacáridos producen mezclas reactantes a partir del cual numerosos oligosacáridos se han obtenido entre ellos los oligofructanos de 2, 3 ó 4 moléculas de fructosa, dando lugar a compuestos conocidos como questosa, nistosa, y fructosil-nistosa respectivamente,(fig. 10) y entre otros como irisan, graminan, inulobiosa, etc. Las condiciones para efectuar la hidrólisis de estos polímeros debe ser establecida por prueba y error ya que existen diferentes enlaces glicosídicos dando diferentes velocidades de hidrólisis. Si se conoce la constante de hidrólisis, entonces esta se puede utilizar para seleccionar las condiciones apropiadas para la hidrólisis de un polímero. Así tenemos que para un disacárido como la sacarosa tiene una constante de hidrólisis de $14600 \text{ k/a}_h \times 10^6 \text{ sg}^{-1}$ y una energía de activación de 25830 cal/mol.

La hidrólisis con ácidos diluidos se llevan a cabo generalmente con ácido clorhídrico o ácido sulfúrico en concentraciones que van de 0,01 N a 2 N y frecuentemente a alta temperatura, pero en algunos casos se puede efectuar a temperatura ambiente dependiendo de la fuerza del enlace.(cuadro 15). Si se emplean períodos de hidrólisis prolongados puede ocurrir una deshidratación del oligosacárido, en tales casos una metanólisis puede ser más satisfactoria para hidrolizar el polímero.

Cuadro 13 Composición de azúcares en diversas raices de yacón en relación al peso seco, procedentes del Perú, Bolivia Ecuador y Argentina.

Tipo de azúcar	Promedio(%)	Rango(%)
FOS	54	27 – 77
Sacarosa	12	9 – 17
Fructosa	8	3 – 18
Glucosa	3	2 - 5

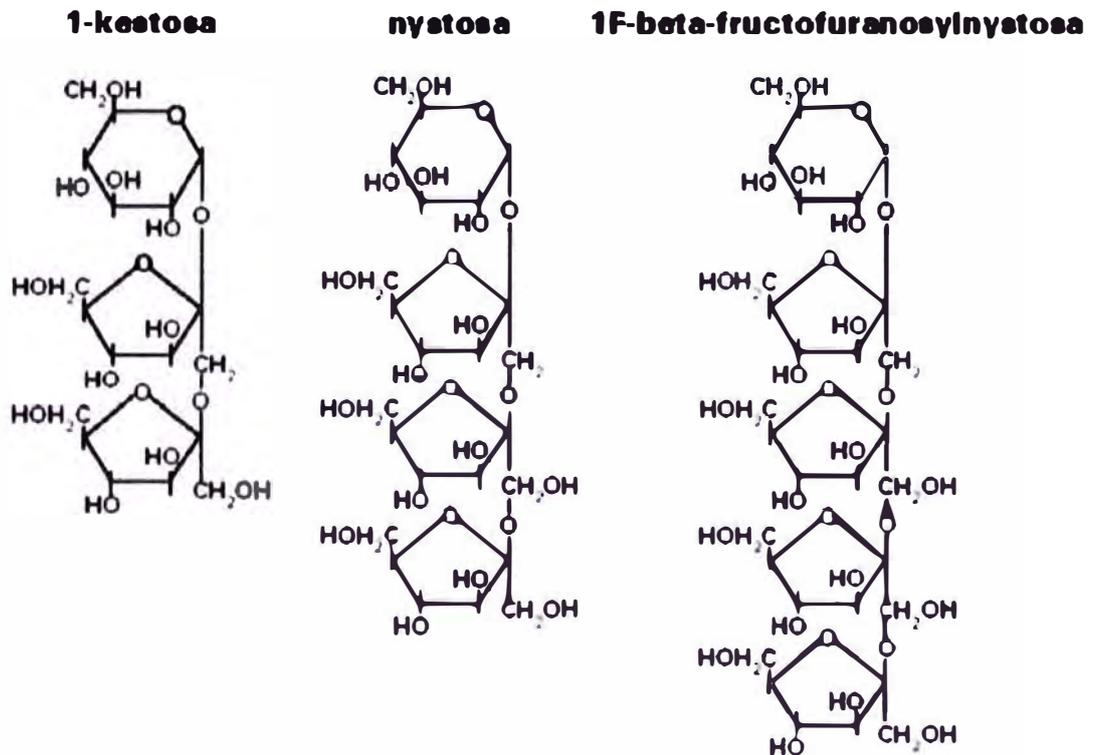


Figura 10 Estructura de los tres primeros oligofructanos.

Cuadro 14 Contenido de inulina y fructooligosacáridos(FOS) de algunos productos naturales.

Fuente	Inulina (%)	FOS (%)
Alcachofa Jerusalem	16-20	12-15
Raíz de achicoria	15-20	8,0-11
Ajo	9,0-16	3,5-6,5
Diente de león	12-15	9,5-12
Lechuga	3,0-10	2,5-8,0
Alcachofa globe	3,0-10	0,3-1,0
Cebolla	1,1-7,5	0,1-7,5
Trigo	1,0-4,0	1,0-4,0
Espárrago	2,0-3,0	2,0-3,0
Arroz	0,5-1,0	0,5-1,0
Plátano	0,3-0,7	0,3-0,7

(*) porcentajes expresados en base húmeda.

Cuadro 15 Condiciones de hidrólisis de polisacáridos.

Polímero	Tipo de oligosacárido	Concentración del ácido	Temperatura °C	Tiempo Hr.
Amilosa	Malto	0,33 N. H ₂ SO ₄	100	2
Inulina	inulo	0,01 N. HCl	70	0,5

2.4 Los oligofruktanos.

Los oligofruktanos son carbohidratos formados por moléculas de fructosa y se encuentran en plantas como el yacón (raíz), achicoria(raíz), las dalias(raíz), cebollas, ajos, espárragos, plátano y alcachofas entre muchos otros. Se componen de una cadena de fructosa con una unidad de glucosa terminal, la longitud de esta cadena puede variar de 2 a 60 monómeros. Estructuralmente están unidos a través de enlaces glicosídicos, los cuales son rápidamente hidrolizados en solución ácida para dar los monosacáridos correspondientes.

Por lo general los carbohidratos formados de 2 a 10 monómeros con estructura química definida se clasifican como oligosacáridos.(figura 11). Existen diversos tipos de oligosacáridos considerados como funcionales : los fructooligosacáridos, galactooligosacáridos, isomaltooligosacáridos, oligosacáridos obtenidos de la soya. Los fructooligosacáridos se definen entonces como una fracción de oligosacáridos con grado de polimerización menor de 20, aunque comercialmente suelen tener un promedio de 9.

Los oligosacáridos se utilizan frecuentemente como ingredientes alimentarios en la formulación de alimentos funcionales. Sin embargo para que un oligosacárido sea considerado como funcional debe cumplir dos requisitos; no debe ser descompuesto durante la digestión y además debe ser utilizado principalmente por las bacterias que habitan en el intestino grueso de los seres humanos. El concepto de alimentos funcionales originalmente introducido en Japón se refiere a aquel alimento o ingrediente alimentario que produce un efecto fisiológico beneficioso independiente de su valor nutritivo.

Estos polímeros de la fructosa se clasifican en tres tipos. El primer grupo son las inulinas, fructanos lineales unidos principalmente por enlaces beta (2→1). Todos los fructanos presentes en las plantas dicotiledóneas y en algunas monocotiledóneas son de este tipo, su representante mas sencillo es la 1-kestosa. Se progresa en la serie agregando moléculas de fructosa encadenados a la primera, este grupo de oligofructanos son los presentes en el yacón. El segundo grupo de fructanos presentes en muchas monocotiledóneas se denominan levanos y son también lineales, pero las uniones de fructosa son predominantemente beta (2→6). El tercer grupo de fructanos posee ambos tipos, beta (2→1) y beta (2→6) y son por lo tanto ramificados. Se encuentran presentes en los pastos y cereales, por lo que se denominan graminanos. Los enlaces glicosídicos β (2→1) no pueden ser hidrolizados por enzimas digestivas humanas, por ello muestran los efectos nutricionales típicos de las “fibras alimentarias” o sustancia prebiótica por sus efectos fisiológicos, ya que favorece el crecimiento de bacterias intestinales potencialmente beneficiosas como las bifidobacterias y limitando el desarrollo de bacterias patógenas responsables de generar el cáncer de colón.

Los fructooligosacáridos actúan también de forma positiva sobre los niveles de colesterol, pero de forma diferente la oligofructosa reduce el nivel de triglicéridos. Esta comprobado que la ingestión de 8 g de fructooligosacáridos al día por enfermos diabéticos durante 14 días reduce los niveles de glucógeno en la sangre. Como consecuencia de esta vía metabólica, los oligofructanos aportan muchas menos calorías que las grasas o el azúcar : 1 kcal/g y 1,5 kcal/g respectivamente.

Las presentaciones comerciales de los oligofructanos consisten en cuatro jarabes y uno en forma de polvo, diferenciándose entre ellos por el contenido de oligofructanos y azúcares. La forma mas pura contiene 95 % de oligofructanos y 5 % de mono y disacáridos, disponibles en jarabe y polvo, los restantes jarabes contienen 85 %, 60% y 30% de oligofructanos. (en base seca).

Cuadro 16 Contenido de fructanos en diferentes plantas.

Nombre científico	nombre común	fructano	%
<i>Cichorium intybus</i>	achicoria	inulina	16-20
<i>Helianthus tuberosus</i>	jerusalem artichoke	inulina	15-20
<i>Dalia sp.</i>	dalia	inulina	14
<i>Smallanthus sonchifolius</i>	yacón	oligofructano	9-12
<i>Allium sativum</i>	ajo	inulina	9-11
<i>Allium cepa</i>	cebolla	inulina	2-6
<i>Asparagus officinalis</i>	espárrago	inulina	2-3
<i>Triticum</i>	trigo	inulina	1-6
<i>Musa spp</i>	plátano	inulina	0,3-0,7

2.5 Potencial industrial del yacón.

Actualmente existe una demanda cada vez creciente del yacón como raíz fresca y otra como fuente de fructooligosacáridos para endulzar bebidas dietéticas y jarabe de fructosa, también como fuente de inulina se emplea entre otros en alimentación como sustituto de grasas y modificante de la textura. En concentraciones bajas las soluciones de inulina son viscosas, mientras que en concentraciones del 30 % forman un gel consistente similar a los observados en alginatos, carragenatos, etc.

Las características del gel son dependientes de la temperatura, agitación, longitud de cadena y concentración de inulina. Los usos industriales también abarcan la sustitución de grasas como “mayonesas light”, quesos bajos en calorías, reducir el contenido calórico (sucedáneos del chocolate), retención de agua en pastelería, panificación, embutidos, evitar la formación de cristales en heladería, emulsionar (margarinas) y en general para modificar la textura y cremosidad de algunos alimentos.

Se pueden encontrar ya numerosos productos comerciales en el mercado Europeo que contienen inulina ú oligofruktosa tales como yogures y otros productos fermentados, bebidas lácteas y quesos frescos. En España ya se comercializa una leche descremada, enriquecida con fibras vegetales, en Bélgica una bebida láctea con vitaminas y fibras bifidogénicas. En Alemania un jugo de frutas enriquecido con fibra y vitaminas y Suiza una leche simbiótica que contiene un cultivo prebiótico y la fibra prebiótica inulina. Muchos otros productos alimenticios como cereales para el desayuno, carnes entre otros pueden beneficiarse con las características tecnológicas y nutricionales de la inulina y oligofruktosa.

Existen también preparados comerciales de inulina que se expenden bajo el nombre de Raftilina los que contienen 92 %, 99,5 % y 100 % de inulina. De igual forma existe el producto con el nombre Raftilosa, el cual contiene fructooligosacáridos obtenidos por hidrólisis enzimática de la inulina, el cual se expende en forma de jarabe al 60 % y 95 % y una en polvo con 95 % de fructooligosacáridos. Ambos productos son comercializados por la firma ORAFI Ltda. de Bélgica, también se pueden encontrar los fructooligosacáridos como productos de otras empresas bajo nombres como Neosugar, Actilight y Nutraflora. En las siguientes figuras podemos ver extracto, jarabe y mermelada de yacón así como infusión y cápsulas de las hojas del yacón elaboradas por empresas peruanas exportadoras de diversas presentaciones de yacón tanto en valor como en cantidad.



Figura 12 Extracto, jarabe y mermelada de yacón.



Figura 13 Infusión y cápsulas de las hojas del yacón.

CAPITULO III. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

3.1 Caracterización de la materia prima.

La raíz se obtiene en un estado de madurez normal, desde los centros de acopio o mercado, ésta presenta solidez, frescura, pulpa de color uniforme, con una visible diferenciación entre una corteza de aproximadamente 1,5 mm debajo de la cáscara con color diferente a la pulpa mas interna. Por análisis de otros autores esta corteza tiene un contenido mayor de antocianinas que la pulpa interior.

Sensorialmente la pulpa tiene un sabor ligeramente dulce y contiene gran cantidad de agua, al ser expuesta al aire a los pocos minutos adquiere lentamente un pardeamiento, según estudios reportados debido a dos causas : acción de enzimas presentes responsables de la degradación de los oligofructanos y azúcares superiores y/o la oxidación de pigmentos (antocianinas) presentes tanto en la cáscara como en la corteza debajo de esta.

3.2 Métodos de análisis.

Entre los métodos considerados tenemos los análisis químicos, fisico-químicos, análisis instrumental como refractometría y espectrofotometría UV-VIS .

Como pruebas preliminares de análisis químicos para conocer la cantidad de azúcares se aplica la prueba para azúcares reductores de Lane y Eynon con reactivo de Fehling, sin embargo para los análisis del producto final se aplica el método de Miller para azúcares reductores, é indirectamente se encuentra la concentración de los oligofructanos, este método hace uso de la espectrofotometría UV-VIS. Ambos métodos se describen en el apéndice.

3.2.1 Análisis Fisico-químico de la materia prima.

Para los análisis realizados a la materia prima sin tener en cuenta su estado de madurez o procedencia del mismo se consideran:

A.- Cenizas totales. (AOAC 1990).

Es la materia inorgánica que queda después de calcinar la materia orgánica, generalmente no son las mismas sustancias inorgánicas presentes en el alimento original, sino que estos están formados por las interacciones químicas de los constituyentes con pérdidas debido a volatilizaciones.

El valor principal de esta prueba es que se trata de un método sencillo para determinar la calidad de ciertos alimentos.

Procedimiento.

Tomar una muestra de 5-7 g en un crisol. Como la muestra tiene demasiada agua, inicialmente se coloca en estufa por espacio de 2 a 3 hr.

Se registra la masa en g del crisol vacío: (m_1)

Masa en g del crisol con la muestra tras la incineración: (m_2).

Masa en g del crisol con la muestra inicialmente:(m_3).

Donde $P = m_3 - m_1$; P peso de la muestra en g.

Después de secar en la estufa por 3 hr, colocar el crisol con la muestra en la mufla a una temperatura de 550 °C hasta peso constante por aproximadamente 1,5 hr.

Al final retirar el crisol cuidadosamente tapado con una luna de reloj, enfriar y registrar el peso. En este momento la muestra presenta un color completamente blanco.

$$\% \text{ Cenizas} = (m_2 - m_1) \times P \times 100$$

B.- Proteínas. (AOAC 1990).

Se utiliza el método micro-Kjeldahl, el cual determina la materia nitrogenada total, tanto las no proteínas como las proteínas verdaderas.

El método Kjeldahl consta de las siguientes etapas : digestión, destilación y titulación.

Digestión.

Se toma de 2 a 4 g de muestra y se transfiere a un matraz Kjeldahl, se agrega de 1 a 2 g de mezcla de catalizador (100 g de sulfato de potasio, 20 g sulfato de cobre) y 25 mL de ácido sulfúrico concentrado.

Calentar suavemente en una cámara de digestión hasta ebullición moderada agitando constantemente por espacio de una hora o mas hasta que el color de la solución sea azul pálido, enfriar la solución y transferir a un matraz volumétrico de 100 mL y enrazar con agua destilada.

Realizar la misma operación para un blanco sin la muestra.

Destilación.

Se realiza en el equipo diseñado para esta operación donde una corriente de vapor de agua agitará una mezcla de la solución obtenida en la digestión con hidróxido de sodio al 10 % y liberará amoníaco, el cual junto con el vapor a través del condensador se recibirá en un erlenmeyer.

Titulación.

Finalmente se titula la solución obtenida en la destilación con ácido clorhídrico 0,01 N.

El nitrógeno total o proteína bruta (% N), se calcula con la siguiente expresión :

$$\% N = \text{gasto ácido} \times N(\text{ácido}) \times 0,014 \times 100$$

Y a su vez la cantidad de proteínas (%P), se obtiene multiplicando el % N por un factor empírico, que en este caso es 6,25.

$$\% P = \% N \times 6,25.$$

C.- Acidez titulable. (AOAC 1990).

Se realiza la titulación de una solución diluida, a partir de una extracción en agua de un peso determinado de muestra fresca.

Se utiliza NaOH 0,1 N como base y fenolftaleína como indicador.

La cantidad de ácido se expresa como porcentaje de ácido cítrico.

$$\% \text{ Acidez} = V \times N \times E \times 10A \times 100$$

Donde : V volumen en mL de NaOH.

N normalidad del NaOH.

E miliequivalente (factor).

A peso de la muestra (g).

D.- pH

El pH se determina por lectura directa de pH-metro.

E.- Antocianina.

Se realiza un análisis de espectrofotometría UV – VIS, para verificar la presencia de antocianinas, sobre todo en la cáscara de yacón que es la parte donde se encuentra en mayor cantidad .

Los antocianos ó antocianinas representan una parte importante tanto cuantitativa como cualitativamente de los flavonoides (cuadro 17), poseen la estructura de tres anillos y el mismo origen biosintético, pero difieren en que absorben fuertemente en la región visible del espectro. Su estructura corresponde a heterósidos formados por la combinación de un aglicón (antocianidina) y de un azúcar (generalmente la glucosa). Las diferencias entre los antocianos individuales se encuentran en el número de grupos hidroxilo de la molécula y el grado de metilación de estos grupos hidroxilo (que son los factores que caracterizan a las diferentes antocianidinas), de la naturaleza y el número de azúcares ligados a la molécula y de su posición de

unión y en la naturaleza y número de ácidos alifáticos ó aromáticos unidos a los azúcares en la molécula. Las antocianinas sufren de una inestabilidad inherente por lo que debe tenerse muchas precauciones durante su manipuleo o su procesamiento, así tenemos factores que influyen en la estabilidad de las antocianinas como el pH, temperatura, presencia de oxígeno, así como la interacción con otros componentes como ácido ascórbico y copigmentos.

El método usual de extracción es por maceración de la muestra con una solución de metanol al 1 % HCl (en etanol en caso de utilizarlos para alimentos), dejándolo por 24 horas en refrigeración.

Las antocianinas son identificadas por sus propiedades de absorción en la región visible. Las antocianinas simples en solución ácida tienen dos máximos de absorción principales, uno en la región visible entre 465 – 550 nm y otro más pequeño en el UV alrededor de los 275 nm.

Procedimiento.

Mezclar 10 g aproximadamente de cáscara de yacón previamente lavadas con 50 ml de solución etanol – HCl al 1 % , colocar en un frasco oscuro y dejar en refrigeración hasta el día siguiente, al cabo del cual filtrar la solución con papel filtro,(figura 14) y realizar las diluciones respectivas para proceder con las lecturas en el equipo de espectrofotometría.

Cuadro 17 Clasificación de los compuestos fenólicos.

Compuestos no flavonoides	ácidos fenólicos	ácidos benzoicos
		ácidos cinámicos
	estilbenos	resveratrol
Compuestos flavonoides	flavonoles	
	flavanoles	taninos o proantocianidinas
	antocianidinas	y
	antocianos	



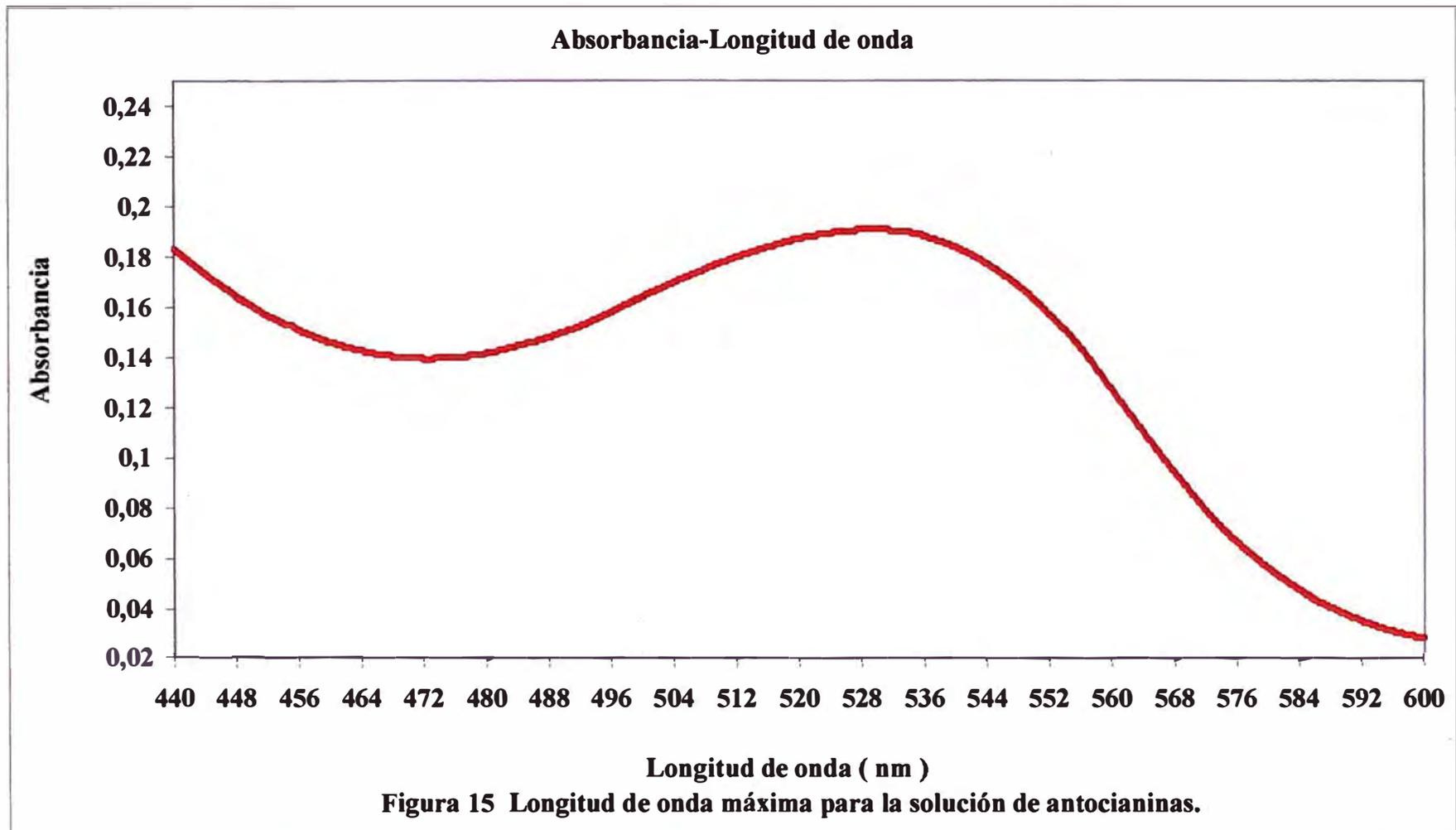
Figura 14 Muestra etanol-HCl conteniendo antocianinas.

Cuadro 18 Picos máximos de absorción de la muestra obtenida.

Muestra (mL)	Dilución Et-HCl (mL)	Absorbancia	$\lambda_{\text{máx.}}$ (nm)
2	5	0,0806	533
2	10	0,0706	527
2	-	0,1910	530

Cuadro 19 Longitud de onda máximas de antocianinas comunes.

antocianina	$\lambda_{\text{máx.}}$ (nm)	antocianina	$\lambda_{\text{máx.}}$ (nm)
Pelargonidin- 3,7- diglucósido	497	Cianidin- 3,5- diglucósido	522
Pelargonidin- 3,5- diglucósido	504	Cianidin- 3- glucósido	523
Pelargonidin- 3- glucósido	506	Malvidin- 3- glucósido	534
Pelargonidin- 7- glucósido	508	Delfinidin- 3- glucósido	534
Pelargonidin- 5- glucósido	513		



F.- Sólidos solubles. (AOAC 1990)

Método refractométrico.

Se realiza una medida de los sólidos solubles totales como fructosa equivalente, directamente del zumo del tubérculo utilizando el refractómetro de Abbe .

Procedimiento.

Realizar un corte sobre el tubérculo y extraer zumo de la pulpa directamente presionando esta con una vagueta y extrayéndolo con una micropipeta. Colocar unas cuantas gotas sobre el prisma del instrumento y tomar la medida del índice de refracción. Tener en cuenta la temperatura a 20 °C. (Ver tabla en apéndice.)

Cuadro 20 Análisis físico-químico de la materia prima en base húmeda.

Cenizas. (%)	0,34
Proteínas. (%)	0,57
Acidez titulable. (%)	0,27
pH	6,5
Antocianina.	positivo
Sólidos solubles. (%)	12,8

3.3 Obtención de jarabe de oligofructanos.

El procedimiento para la obtención del jarabe de yacón es a nivel laboratorio y se consideran las siguientes etapas, teniendo en cuenta mas de una alternativa de operación en algunas de las etapas.

- Selección y lavado.
- Pelado.
- Trozado

- Tratamiento térmico.
- Primera extracción.
- Segunda extracción.
- Filtración.
- Centrifugación.
- Concentración.
- Pasteurización.

3.3.1 Selección y lavado.

El lavado de la materia prima se realiza con agua fría, teniendo en cuenta que estos se encuentren sanos y en buenas condiciones, asegurándose de extraer todos los restos de tierra que normalmente vienen adheridos. Es posible utilizar también soluciones antisépticas como de cloruro de benzalconio ú otras y enjuagar bien con agua pura. Desechar los que tengan signos de descomposición. Escoger tubérculos de una misma cosecha para tener una concentración de oligofructanos mas uniforme. En general la materia prima debe tener cierta dureza al tacto, ya que si esta blanda y presenta arrugas en la cáscara esta se encuentra en estado de madurez avanzado, el color de la pulpa cambia debido a una hidrólisis enzimática de los azúcares superiores hasta dar fructosa. Esta situación se verifica realizando medidas de sólidos solubles al extracto del tubérculo de diferentes estados de maduración. (cuadro 21).

Cuadro 21 Azúcares reductores en tubérculos de diferentes estados de maduración.

Tiempo post-cosecha aproximado(días).	Indice de refracción.	% azucares reductores. (fructosa)
5	1,342	6,2
20	1,349	10,9
30	1,348	10,2

Para tomar el extracto del yacón, con diferentes estados de madurez, presionar la pulpa con una bagueta sobre el tubérculo en corte reciente y con una micropipeta colocar unas gotas del extracto sobre el prisma del refractómetro y tomar las medidas a 20 grados centígrados. Las medidas de índice de refracción se verifican para soluciones de fructosa, de acuerdo a la tabla adjunta en el apéndice.



Figura 16 Muestras de yacón de menor a mayor (der. a izq.) estados de maduración post-cosecha.

3.3.2 Pelado.

La cáscara del yacón es bastante blanda y delgada a tal punto que se puede retirar con la uña, sin embargo debajo de esta existe una corteza de color blanco de aproximadamente 1 a 1,5 mm. de espesor que se diferencia de la pulpa mas interna que es generalmente de color anaranjado claro (de acuerdo a la variedad). Esta operación es manual con el uso de un cuchillo, teniendo en cuenta de poder retirar la corteza mencionada anteriormente donde se halla la mayor cantidad de antocianina y así evitar la posterior oxidación de estas catalizada por las enzimas, sustancias que son necesarias inactivar antes de

proceder a la extracción. De la experiencia se conoce que al retirar la cáscara y corteza al tubérculo, este pierde de 25% a 30% de su peso original.

3.3.3 Trozado.

El trozado de la pulpa se hace simultáneamente con la operación del tratamiento térmico, debido que al cortar la pulpa de yacón y permanecer al aire esta empieza a pardear, a menos que se conserve en agua fría, según se observa en la figura 17 a los 30 minutos y la figura 18 después de 1 hora, también es posible conservar en agua fría acidulada pero el inconveniente es la hidrólisis de los oligofructanos, finalmente también se puede conservar en atmósfera libre de oxígeno. Por tal motivo el trozado de la pulpa se realiza en el mismo instante en el que se hace el tratamiento térmico. Esta operación también se realiza manualmente con el uso de un cuchillo, el trozado de la pulpa se realiza uniformemente de 0,5 cm. de espesor y sirve también para poder triturarlos después en un mortero y realizar una nueva extracción o pasarlos por un extractor.



Figura 17 Trozo de yacón en agua y expuesto al aire a los 30 minutos.

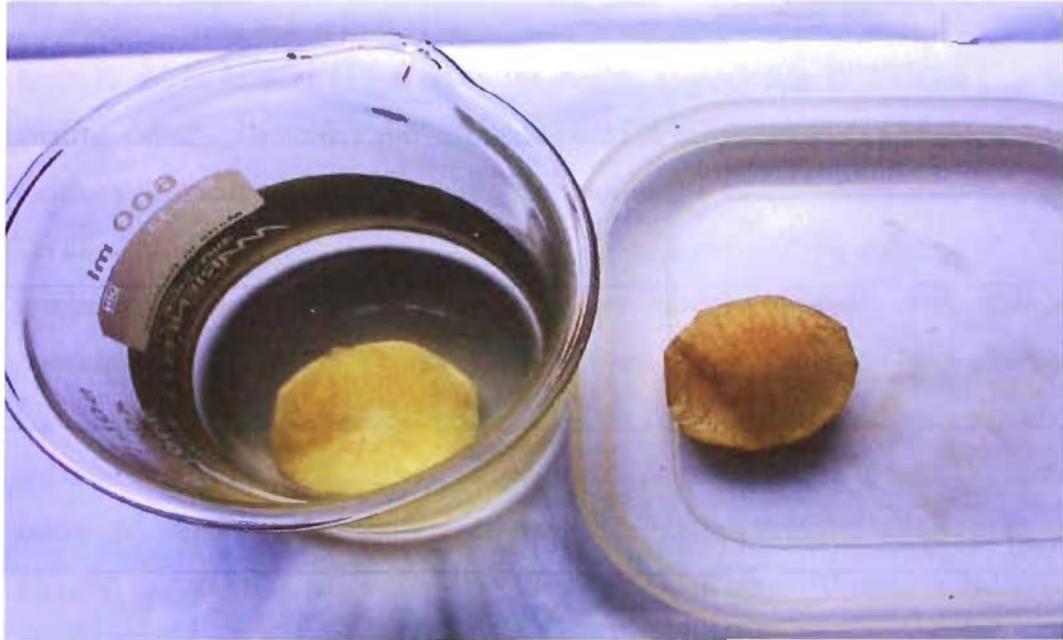


Figura 18 Trozo de yacón después de 1 hora.

3.3.4 Tratamiento térmico.

Si bien no se ha identificado el tipo de enzima que se encuentra en el yacón, se sabe que estas se encuentran en frutas, verduras, tubérculos y son las responsables del pardeamiento enzimático cuando estas son sometidas a daño mecánico como el pelado y trozado, pero se conoce del tipo de enzimas que se encuentran en los tejidos vegetales como las polifenoloxidasas (grupo genérico que incluye a enzimas peroxidases) cuya proteína contiene cobre y esta cataliza la oxidación de compuestos fenólicos (antocianinas) a quinonas y estos a su vez oxidan por el oxígeno del aire sobre el tejido en corte reciente y formar por polimerización pigmentos oscuros del tipo melanoide. Como sustrato responsable en el caso del yacón tenemos a los antocianos-flavonoides, pues estos se encuentran en mayor proporción en la cáscara y debajo de ella.

Si bien los productos de esta reacción no son tóxicos, cambian la apariencia, propiedades organolépticas y nutricionales cuando actúan, produciendo cambios irreversibles y obtener productos indeseables que es necesario evitar debido a su importancia comercial.

El pardeamiento se produce como consecuencia de tres factores : la enzima, el sustrato oxidable y el oxígeno, de los cuales controlando la actividad de la enzima y/o el oxígeno del aire se puede evitar el pardeamiento enzimático. Las enzimas se pueden inactivar por el calor, aditivos o componentes naturales de los alimentos.

Inicialmente se realiza la inactivación por calor, aplicando el escaldado convencional en agua, colocando el yacón trozado en un baño de agua caliente (70 °C) y calentando hasta ebullición por un lapso de 5 a 6 minutos, al cabo del cual se filtra y la pulpa se encuentra lista para la primera extracción. Esta operación tiene el inconveniente de perder sustancias solubles en el agua en especial los oligofruktanos que son muy solubles en agua caliente, motivo por el cual es necesario considerar esta agua en el extracto final.

Primera alternativa.

Se hace necesario buscar una alternativa al proceso de inactivación de enzimas, para poder superar el inconveniente del escaldado convencional, por tal motivo se realizan pruebas con inhibidores químicos, la cual consiste en mantener en una solución de 0,1 % de ácido ascórbico y de 0,2 % ácido cítrico los trozos del tubérculo una vez pelados y cortados. Sin embargo el pH de esta solución, baja el pH del extracto en la siguiente etapa y esto incrementa la hidrólisis de los fructooligosacáridos, lo que no es muy conveniente para conseguir el producto final.

Segunda alternativa.

Un escaldado a vapor supera los inconvenientes anteriores, por tal motivo la aplicación de esta operación a la inactivación de enzimas es recomendado, teniendo en cuenta que el consumo de energía se incrementa con respecto a los anteriores en la producción de vapor. Para tal fin se utiliza un recipiente de tipo autoclave,(figura 20) sobre él se coloca el yacón trozado directamente en la parte superior de una bandeja perforada donde entra en contacto con el vapor.

El tiempo necesario para el tratamiento térmico varía entre 8 a 10 minutos dependiendo de la madurez del tubérculo, geometría del corte y características del equipo. Luego de este procedimiento se enfrían rápidamente y los trozos están listos para la etapa de extracción.

La aplicación de este método aumenta la cantidad de azúcares disueltos en el extracto y por lo tanto aumenta el rendimiento en la extracción.

En esta etapa se hace necesario el control del tiempo de inactivación enzimática o tratamiento térmico con el propósito de tener la certeza de que el proceso se ha realizado correctamente.

En el apéndice se describen un método para determinar la actividad de la polifenoloxidasas y un método para la determinación de la actividad de la peroxidasa tanto cuantitativo como cualitativo.

Cuadro 22 Enzimas como agentes de deterioro de vegetales.

Tipo de agente	Efectos
Clorofilazas Antocianinas	Pérdida de color.
Polifenoloxidasas	Pardeamiento enzimático. Descenso del valor nutritivo. Pérdida de calidad comercial.
Peroxidasas	Alteración de sabor y aroma. Pardeamiento.
Pectinmetilesterasa Poligalacturonasa	Ablandamiento de tejidos. Pérdida de firmeza.
Acidoascorbio-oxidasas	Destrucción de vitamina C.

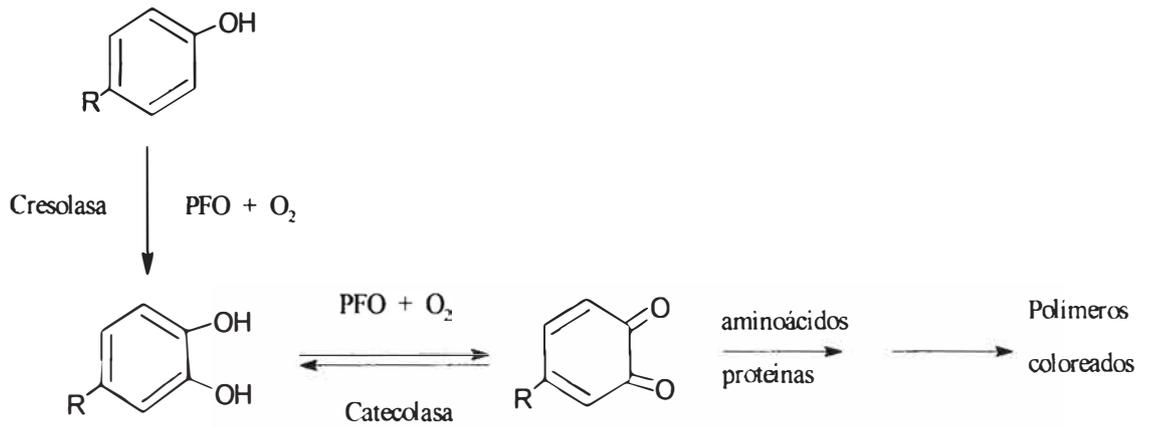


Figura 19 Esquema simplificado del inicio del pardeamiento enzimático por acción de la polifenoloxidasas.



Figura 20 Autoclave, equipo acondicionado para el tratamiento térmico.

3.3.5 Primera Extracción.

Una vez terminado el tratamiento térmico y enfriado la materia prima se realiza la primera extracción. Esta consiste en colocar en agua en una relación 1:2 peso:volumen los trozos del yacón y calentarlos hasta ebullición por 12 a 15

minutos. Mediante esta operación se obtiene una solución de oligofructanos y azúcares reductores que será necesario concentrar en la medida que requiera de mas agua para extraer dichos azúcares.

Primera alternativa.

Con el objetivo de obtener una solución de oligofructanos con la menor cantidad de agua, toda vez que la materia prima es un tubérculo con alto contenido de agua (alrededor de 80 a 90 %), se hace necesario cambiar la naturaleza del proceso a uno de tipo mecánico a través de un extractor,(ver figura 22), de tal forma que se obtiene por un lado un extracto mas concentrado y por otro de una cantidad de pulpa reducida en tamaño con una cantidad de azúcares remanentes que es necesario extraer en un siguiente tratamiento con agua caliente.



Figura 21 Producto obtenido de la primera extracción.



Figura 22 Extractor utilizado en el laboratorio.

3.3.6 Segunda extracción.

De haber seguido cualquiera de los métodos de la primera extracción, es posible extraer aún una cantidad de azúcares en una segunda extracción, realizando un pulpeado en mortero ó tomar directamente la pulpa del extractor (ver figura 23) y colocar en agua desionizada en una proporción 1:1 (peso-volumen) en un recipiente, agitar y calentar hasta $80^{\circ} - 85^{\circ} \text{ C}$ por 10 – 15 minutos.

3.3.7 Filtración.

El producto obtenido de la primera extracción requiere de una secuencia de filtración a través de papel de filtro rápido y lento utilizando vacío. Sin embargo al obtenido en la segunda extracción requiere de una filtración en tela previo al papel de filtro, ambos extractos son finalmente mezclados y filtrados a través de papel de fibra de vidrio siempre utilizando vacío, obteniendo de esta forma un extracto libre de sólidos en suspensión. La pulpa agotada y exprimida

después de la segunda extracción se desecha y puede ser aprovechada como alimento para animales.

3.3.8 Centrifugación.

Producto de esta operación en una centrífuga a 4 800 rpm. sobre el extracto filtrado obtenido en la etapa previa se obtiene una cierta clarificación del extracto, que de otra forma también se puede obtener una clarificación más efectiva, totalmente transparente haciendo uso de carbón activado en polvo malla 325.

Al final de esta etapa, el extracto esta en condiciones para poder realizar las primeras pruebas de azúcares reductores por el método de Lane & Eynon usando reactivo de Fehling, este método es una forma indirecta de conocer la cantidad de oligofructanos ó azúcares superiores presentes en una determinada extracción, realizándo una medida de los azúcares reductores antes y después de una hidrólisis ácida.

De igual forma se realiza una medida del índice de refracción a 20 °C de los sólidos solubles en el extracto como fructosa equivalente, utilizando refractómetro de Abbe, ya que este monosacárido se encuentra en mayor cantidad en el tubérculo, seguido de pequeñas cantidades de glucosa y sacarosa.



Figura 23 Pulpa de yacón obtenida en la primera extracción.



Figura 24 Segunda extracción a partir de la pulpa.



Figura 25 Filtración del extracto al vacío.



Figura 26 Centrifuga usada para la clarificación del extracto.



Figura 27 Extracto final obtenido en condiciones de ser concentrado.

3.3.9 Concentración.

Una vez obtenido el extracto de yacón totalmente filtrado y algo clarificado y realizar las respectivas pruebas para el análisis de azúcares, se procede a concentrarlo para obtener el jarabe.

Hasta la etapa de extracción del proceso es posible que se haya producido hidrólisis de los azúcares superiores en cierto grado debido a la temperatura alcanzada, sobre todo en la segunda extracción. Para poder reducir esto a un mínimo es necesario mantener un pH medio de 6,5- 7,0 desde el tratamiento térmico y etapas de extracción para luego fijar en lo posible un pH = 7,0 para la etapa de concentración, ya que trazas de ácido pueden concentrarse lo suficiente al final de esta etapa como para producir hidrólisis de los azúcares superiores, así como trazas de álcali pueden modificar o destruir los azúcares reductores. De acuerdo con esto para la concentración de una solución levemente ácida se neutraliza previamente con carbonato de calcio (libre de álcalis) y si la solución es alcalina se acidifica primero con ácido acético diluido para luego agregar carbonato de calcio. Al final de la concentración se separa la materia insoluble por filtración.

Esta operación se realiza en un rotavapor utilizando un vacío de tal forma que se consiga la ebullición del extracto a 50 °C como máximo, el calentamiento se realiza en baño maría y el enfriamiento en el condensador con agua fría. De esta forma controlando los parámetros pH-temperatura garantiza un mínimo de hidrólisis o ataque por álcalis.

3.3.10 Pasteurización.

La pasteurización se realiza finalmente, calentando el extracto concentrado hasta la temperatura de 95 ° C por 2 minutos y envasando luego el extracto en un frasco de vidrio y cerrándolo herméticamente, para luego someterlo a un enfriamiento rápido con el fin de crear un vacío en el interior, lo cual proporciona un medio adecuado para su conservación.

En estas condiciones se han mantenido muestras por períodos prolongados de hasta un año, en ambiente fresco.



Figura 28 Rotavapor, equipo utilizado para la concentración del extracto.

3.4 Análisis físico-químico del extracto antes de concentrar.

Para comprobar el efecto que ocasionan los cambios realizados en obtener el extracto final y justificar cada una de las alternativas tomadas en las diferentes etapas, se realizan las medidas del pH, índice de refracción, azúcares reductores y oligofructanos del extracto antes de la etapa de concentración.

3.4.1 Tratamiento térmico y extracciones en agua.

Preparación del extracto.

Tomar peso de muestra seleccionada y lavada . w1 : 302 g.

Tomar peso de pulpa de yacón (pelado). w2 : 220 g.

Tratamiento térmico y primera extracción.

Relación peso-volumen (1:2). v1: 440 mL.

Temperatura inicial 70 °C y calentar hasta ebullición por 15 minutos, filtrar y enfriar.

Verificar acidez del extracto. pH = 6,7

Triturar pulpa en mortero para segunda extracción.

Segunda extracción con agua.

Relación peso-volumen (1:1) v2 : 180 mL.

Calentar a 85 °C por 10 minutos.

Filtrar en tela y comprobar acidez. pH = 6,7 .

Volumen final del extracto. v1 + v2 vf : 530 mL

Análisis de azúcares.

Tomar 100 mL del extracto anterior, clarificar con acetato de plomo neutro (aprox. 300 mg), agitar, llevar a centrifuga y separar solución sobrenadante clarificada para análisis de azúcares reductores por el método de Lane & Eynon.(apéndice A-1). Agregar unas gotas de solución de oxalato de potasio con el fin de precipitar un exceso de plomo si hubiera, llevar a centrifuga y separar solución sobrenadante. Verificar acidez y conservar en refrigeración.

Cuadro 23 Parámetros pH / temperatura.

Etapas	pH	Temperatura °C
Tratamiento térmico.	6,8	100
Primera extracción.	6,7	100
Segunda extracción.	6,7	85

Cuadro 24 Concentración de azúcares en el extracto.

Análisis	
Índice de refracción/fructosa equivalente (%).*	1,346 / 9
Azúcares reductores. (%)	5,3
Peso azúcares reductores/peso materia prima (%)	9,9

* Ver tabla en apéndice.

3.4.2 Tratamiento térmico en agua y extracción mecánica.

Preparación del extracto.

Realizar el tratamiento térmico en agua caliente en proporción (1:2) peso-volumen por espacio de 7-8 minutos, filtrar los trozos de yacón y enfriar rápidamente.

Realizar la primera extracción en un extractor mecánico, donde se obtiene el extracto directamente del yacón y separado de la pulpa, filtrar el extracto con papel de filtro utilizando vacío.

Realizar una segunda extracción en agua caliente a la pulpa obtenida del extractor en la primera extracción en una proporción (1:1) peso-volumen y calentar a 85° C por 10 minutos, filtrar en tela y papel de filtro. Desechar la pulpa.

Mezclar los productos de ambas extracciones, filtrar en papel de fibra de vidrio y llevar a centrífuga para clarificar el extracto. Utilizar acetato de plomo para clarificar y realizar los análisis.

3.4.2.1 Hidrólisis ácida del extracto.

Esta operación permite obtener los monosacáridos fructosa y en menor proporción glucosa a partir de los oligofructanos y demás azúcares superiores y poder cuantificarlos de manera indirecta a través de un análisis de azúcares reductores antes y después de la hidrólisis.

Procedimiento.

Volumen de extracto v1 : 5 mL.

El extracto debe de estar libre de sólidos en suspensión.

Volumen de ácido v2 : 50 mL de HCl al 5 %.

Calentar en baño maría y a reflujo a 65°-70° C por dos horas, controlando no exceder esta temperatura.

Neutralizar con NaOH al 10 %.

Diluir a 100 mL con agua desionizada.

Cuadro 25 Parámetros pH / temperatura.

Etapas	pH	Temperatura °C
Tratamiento térmico.	6,8	100
Primera extracción.	6,7	20
Segunda extracción.	6,7	85

Cuadro 26 Concentración de azúcares reductores y oligofruktanos.

Análisis.	
Índice de refracción/fructosa equivalente. (%).*	1,352/13.
Azúcares reductores. (%)	7
Oligofruktanos y azúcares superiores. (%)	2,8
Peso oligofruktanos/Peso materia prima. (%)	5,7

* ver tabla en apéndice.

3.4.3 Tratamiento térmico a vapor y extracción mecánica.

Preparación del extracto.

Peso de yacón seleccionado y lavado. 2 560 g.

Peso de yacón pelado 1 950 g.

Trozado del yacón y tratamiento térmico utilizando vapor a 100°C por espacio de 8 minutos en autoclave, retirar y enfriar rápidamente.

Peso del yacón después del tratamiento. 1 660 g.

Para establecer el tiempo del tratamiento se aplica el método de Neveski a muestras obtenidas a diferentes tiempos. (ver apéndice A-4).

Realizar la primera extracción en extractor mecánico y filtrar en papel de filtro en vacío.

Volumen del extracto. 1 097 mL.

Volumen del extracto después de filtrado. 1 025 mL.

Peso de pulpa en el extractor. 510 g.

Con pulpa del extractor de la primera extracción realizar la segunda extracción en agua caliente en proporción (1:1) peso-volumen a 85 ° C por espacio de 10 minutos, filtrar en tela y papel de filtro usando vacío.

Mezclar ambos extractos y filtrar en papel de fibra de vidrio.

Llevar a centrifuga a 4800 rpm. para clarificar el extracto.

Volumen total del extracto 1 485 mL.

Medir índice de refracción del extracto.

Realizar análisis de azúcares reductores por el método de Miller (ver apéndice A-3).

**Cuadro 27 Datos absorbancia-concentración
azúcares reductores.**

Antes de la hidrólisis.	
Absorbancia	Concentración(mg/mL).
0,4608	0,238
0,4713	0,242
Después de la hidrólisis.	
1,1649	0,517
1,1870	0,526

Para la determinación de los oligofruktanos previamente realizar una hidrólisis ácida del extracto según 3.4.2.1 y posteriormente una nueva medida de los azúcares reductores por el método de Miller.

Cuadro 28 Parámetros pH / temperatura.

Etapa	pH	Temperatura °C
Tratamiento térmico.		100
Primera extracción.	6,5	20
Segunda extracción.	6,7	85

Cuadro 29 Concentración de azúcares reductores y oligofruktanos en el extracto.

Análisis.	
Índice de refracción/fructosa equivalente. (%).*	1,36/18
Azúcares reductores. (%).	16,8
Oligofruktanos y azúcares superiores. (%).	8
Peso oligofruktanos/Peso de materia prima. (%).	5

* ver tabla en apéndice.

3.5 Caracterización del producto.

3.5.1 Determinación de parámetros para la obtención de oligofruktanos.

La elaboración del producto final en base a las experiencias realizadas provee información a tener en cuenta en cada una de las etapas del proceso con el objetivo de obtener la mayor cantidad de oligofruktanos, tal y como se encuentran inicialmente, es decir en la materia prima. En la medida que esto se pueda realizar controlando sobre todo pH, temperatura y medios de extracción, se pueden establecer las mejores condiciones de extracción. Sin embargo se conoce por otros estudios que la cantidad de oligofruktanos puede variar según la procedencia (tipo de suelo y clima), el número de cosecha y el grado de maduración de la raíz del yacón.

Luego de procesar la materia prima por las diferentes etapas y realizar los análisis respectivos al zumo obtenido se procede a la concentración del mismo, esta operación da como resultado las características del producto final. Así se obtiene un extracto de un color pardo intenso como resultado de la evaporación del agua hasta una concentración en azúcares determinada para su comercialización. Su consistencia es viscosa y sabor muy dulce. Envasar en frasco de vidrio para su posterior pasteurización y análisis microbiológico.

Medir índice de refracción del extracto concentrado y pH.

Se aplica el método de Miller para el análisis de azúcares reductores y oligofruktanos.

3.5.2 Condiciones de operación.

Cuadro 30 Condiciones de operación para la obtención del producto.

Etapas del proceso	Medio	T (°C)	Tiempo(min)	pH
Tratamiento térmico	Vapor	100	8-10	
Primera extracción	Extractor mecánico	20		
Segunda extracción	Agua caliente	85	15	6,7-7
Concentración	Rotavapor al vacío	50		7
Pasteurización	Baño maría	95	2-3	

**Cuadro 31 Datos absorbancia – concentración
azúcares reductores del extracto concentrado.**

Antes de la hidrólisis.	
Absorbancia.	Concentración (mg / mL).
0,7847	0,367
0,7759	0,363
0,7998	0,373
Después de la hidrólisis.	
1,5630	0,6754
1,5728	0,6793
1,5781	0,6814

3.6 Análisis físico-químico del producto.

Extracto concentrado de oligofruktanos y azúcares reductores.

Cuadro 32 Análisis físico-químico del producto.

Índice de refracción/fructosa equivalente. (%)	1,424/53
pH	6,7
Azúcares reductores. (%)	29,5
Oligofruktanos y azúcares superiores. (%)	12,6
Peso de oligofruktanos/peso de materia prima. (%)	8,7
Rendimiento. (%)	58

3.7 Flujos de materia en cada etapa del proceso.

Los flujos de materia se realizan de acuerdo a los resultados obtenidos en la experiencia de laboratorio y servirá para estimar las cantidades a procesar en cada una de las etapas a nivel planta piloto, así como la selección de los equipos.

Se considera 1 kg de materia prima seleccionada, lavada y pelada, etapas a realizarse manualmente. En la etapa de pelado de acuerdo a la experiencia de laboratorio la materia prima pierde de 24-25 % de su peso inicial. Por lo que se dispone de 760 g. de materia prima a ser procesada.

3.7.1 Trozado y tratamiento térmico.

En el tratamiento térmico se utiliza vapor saturado a 100 ° C, este calentamiento produce en la materia prima una pérdida de peso de 14,5-15 % debido a una deshidratación, de tal manera que se debe exponer el tiempo mínimo necesario para evitar esta pérdida de agua y a la vez inhibir la acción de las enzimas debido al pelado y trozado de la materia prima.

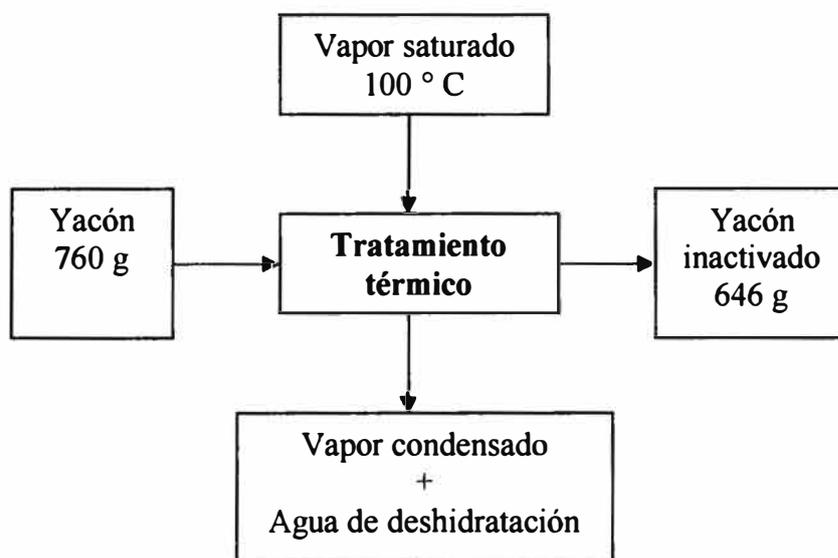


Figura 29 Tratamiento térmico de la materia prima.

3.7.2 Extracción mecánica .

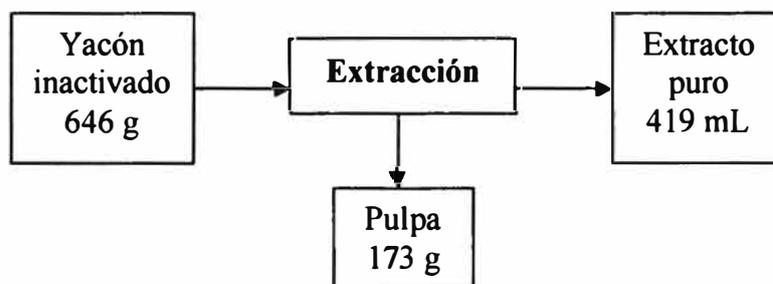


Figura 30 Extracción mecánica.

La relación obtenida en esta etapa es de 0,419 L de extracto puro por kg de yacón procesado. El proceso se realiza a temperatura ambiente y se obtiene como productos el extracto puro y la pulpa la cual representa aproximadamente un 25-26% del yacón inactivado. La pulpa obtenida esta en condiciones de poder realizar una segunda extracción con agua.

3.7.3 Filtración y centrifugación.

Se considera filtración en tela y a través de papel de filtro utilizando vacío, finalmente centrifugación a 4800 rpm. El porcentaje de sólidos retirados representa el 5% y el extracto tiene una densidad aproximada de 1,0577 g/mL.

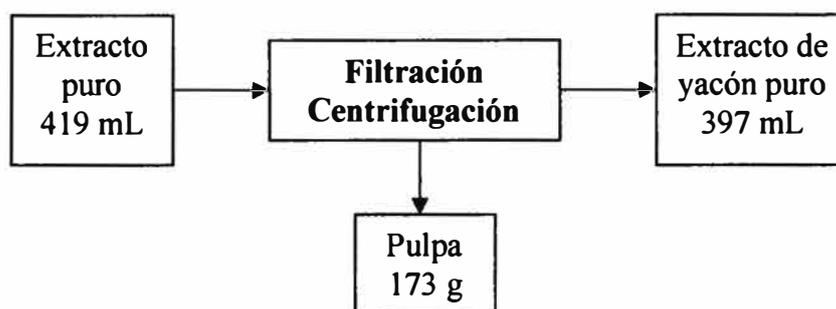


Figura 31 Filtración y centrifugación.

3.7.4 Segunda extracción.

Se realiza con agua desionizada a partir de la pulpa obtenida del extractor. En este punto se realiza una cuantificación de azúcares remanentes en la pulpa agotada de la segunda extracción, para ello se aplica el método de Miller.

Cuadro 33 Datos absorbancia-concentración azúcares reductores en la pulpa agotada.

Absorbancia	Concentración(mg/mL.)
1,1984	0,5308
1,1821	0.5244
1,1664	0,5182

El porcentaje de azúcares reductores remanentes en la pulpa agotada es de 3,2 %.

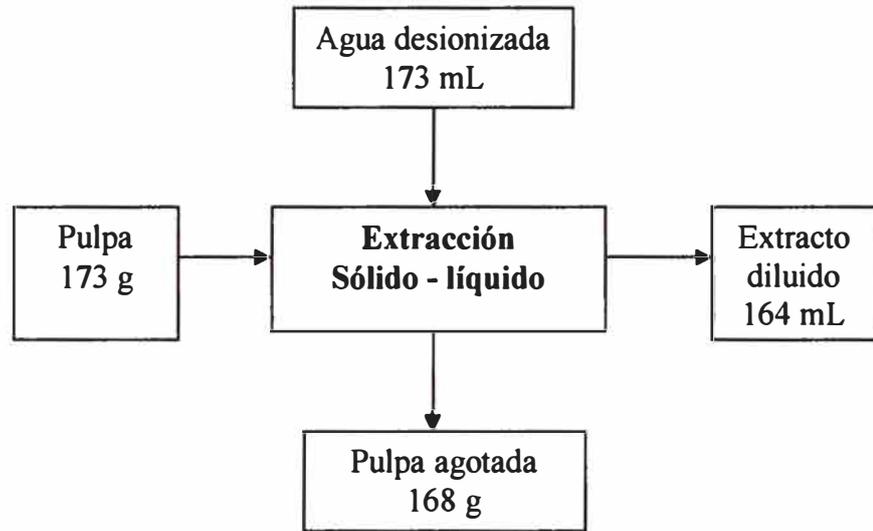


Figura 32 Segunda extracción .

3.7.5 Filtración y centrifugación.

La filtración se realiza a través de tela y papel de filtro utilizando vacío y finalmente una centrifugación a 4800 rpm. Obteniendo un extracto diluido con una densidad aproximada de 1,038 g / mL.

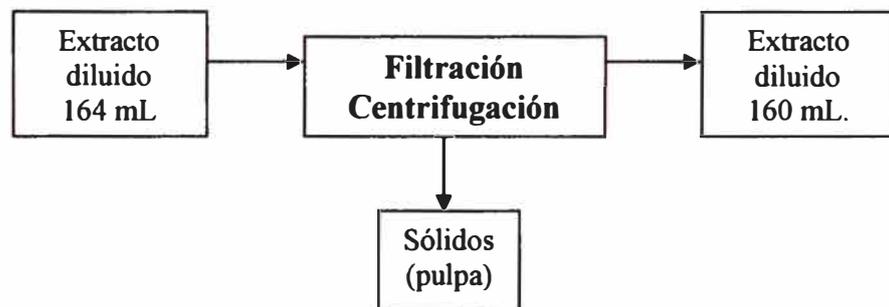


Figura 33 Filtración y centrifugación.

3.7.6 Concentración.

La mezcla de los extracto puro y el extracto diluido se concentran en el rotavapor manteniendo una temperatura de 50 ° C.

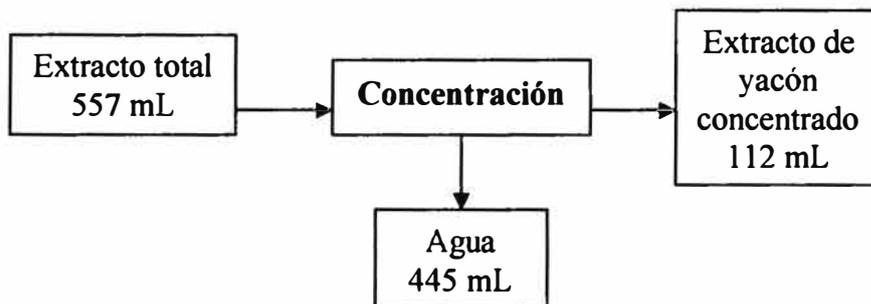


Figura 34 Concentración del extracto.

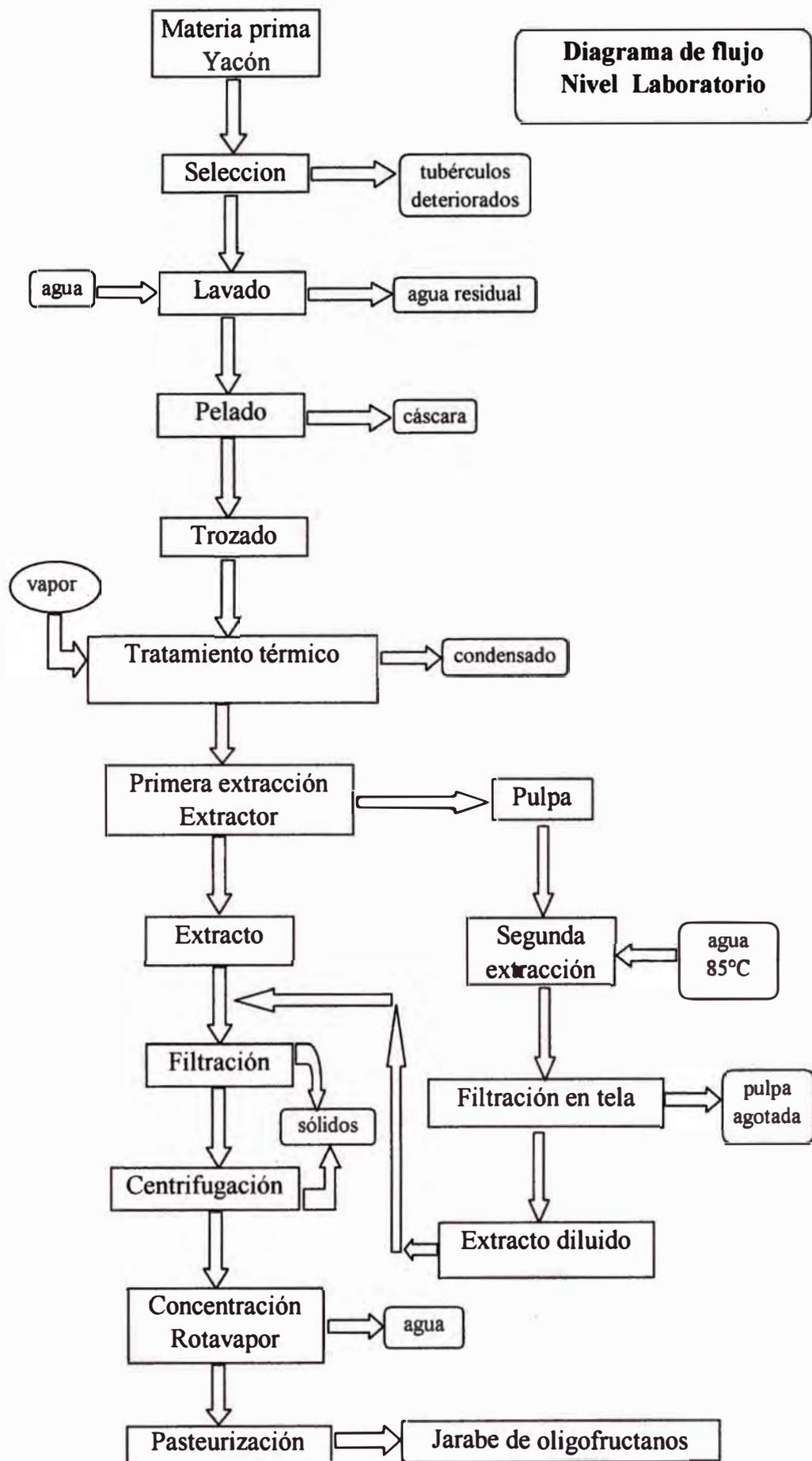


Figura 35 Diagrama de flujo nivel laboratorio.

CAPITULO IV. CALCULOS PARA LA PRODUCCIÓN DE OLIGOFRUCTANOS A NIVEL PILOTO.

El proceso a nivel planta piloto utiliza la información obtenida en el proceso realizado en el laboratorio. Se consideran las mismas operaciones efectuadas así como las condiciones de operación fijados en el laboratorio, la diferencia son los flujos y tiempos para cada una de estas operaciones, ya que los equipos son mas grandes. El proceso es por lotes.

4.1 Condiciones de operación.

Se consideran las mismas condiciones de operación de la experiencia de la etapa de laboratorio para los parámetros pH y temperatura.

Cuadro 34 Condiciones de operación del proceso.

Etapa del proceso	Medio	pH	T (° C)	Tiempo (min)
Tratamiento térmico	Vapor		100	8 -10
Primera extracción	Extractor mecánico		20	
Segunda extracción	Agua	6,7-7	85	
Concentración	Evaporador	7	50	
Pasteurización	calentamiento		95	2-3

4.2 Balance de materia.

4.2.1 Tratamiento térmico.

Se toma como base para el tratamiento de 500 kg de materia prima sin tener en cuenta la variedad ni la procedencia de la misma.

Para el tratamiento térmico se alimenta la materia prima seleccionada, lavada, pelada y trozada.

Para el lavado emplear soluciones desinfectantes con el fin de evitar alguna contaminación y finalmente enjuagar con abundante agua.

En el pelado se pierde aproximadamente un 24 % del peso de la materia prima en cáscaras, tanto el pelado como el trozado es manual empleando cuchillo.

Se recomienda colocar la materia prima trozada en agua para minimizar un posible pardeamiento previo al tratamiento térmico, no se debe mantener por mucho tiempo, sin embargo es necesario un análisis por el método de Neveski (apéndice A-4) después del tratamiento térmico.

El tratamiento térmico consiste en poner en contacto la materia prima con vapor saturado, por un tiempo determinado con el fin de poder inactivar las enzimas propias de estos tubérculos y evitar el pardeamiento. Realizar la alimentación de la materia prima con un dosificador, con el fin de dar el tiempo necesario de contacto con el vapor dentro del equipo.

Debido a la temperatura del vapor saturado (100 °C) la materia prima pierde agua por deshidratación, ya que es un tubérculo que contiene gran cantidad de agua (75% - 85%). La pérdida de peso es de 14,5 % – 15 %.

Por lo tanto del peso inicial se cuenta con 323 kg de materia prima en condiciones de procesar.

El peso de la materia prima después del tratamiento térmico es entonces

$$500 - 0,24 \times 500 = 380 \text{ kg}$$

$$380 - 0,15 \times 380 = 323 \text{ kg}$$

4.2.2 Extracción.

Es una etapa de extracción mecánica, para procesar 323 kg de materia prima procedente del tratamiento térmico.

Por cada kg de materia prima tratada se obtiene aproximadamente 648,6 mL de extracto puro. Para 323 kg de materia prima se obtienen 209,5 L de extracto puro.

La relación obtenida en la etapa es de 0,42 L de extracto puro por kg de yacón.

El proceso es a temperatura ambiente y se obtiene como productos el extracto puro y la pulpa, la cual representa un 26 % del yacón tratado. Realizar a la pulpa obtenida en la operación anterior una segunda extracción en agua caliente.

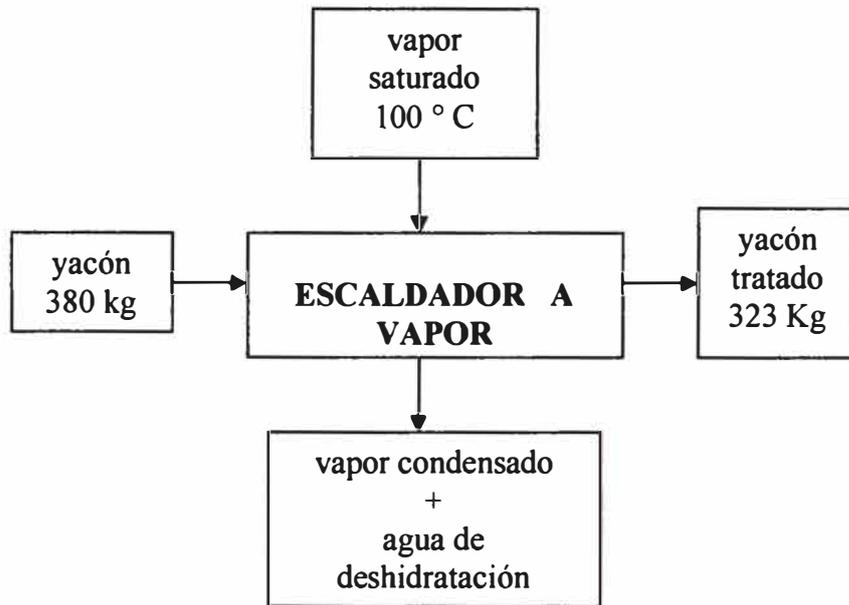


Figura 36 Tratamiento térmico en escaldador.

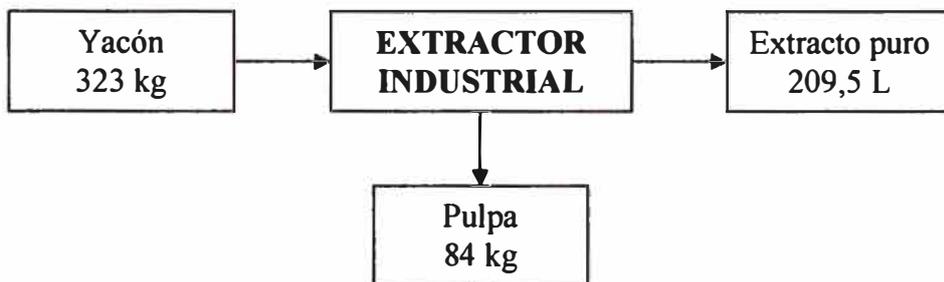


Figura 37 Extracción en extractor industrial.

4.2.3 Filtración.

Para la filtración se utiliza un filtro prensa de placas y marcos, cuyo flujo de alimentación será de acuerdo a las características del equipo seleccionado.

4.2.4 Centrifugación.

Al igual que la etapa de filtración la capacidad de carga del equipo seleccionado será la variable a fijar.

Esta operación se realiza con el propósito de retirar sólidos en suspensión del extracto y darle cierta clarificación para que esté en condiciones de poder realizar la concentración del extracto.

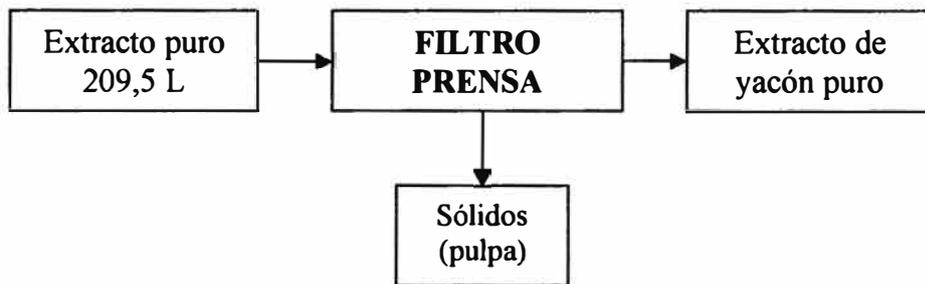


Figura 38 Filtración utilizando filtro prensa.

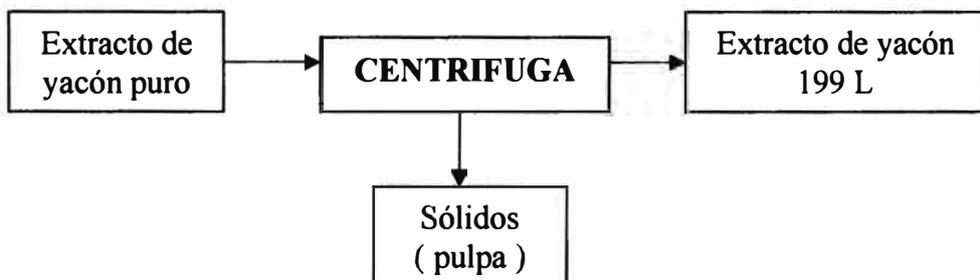


Figura 39 Centrifugación.

4.2.5 Segunda extracción.

La pulpa obtenida de la extracción mecánica está en condiciones de extraerle oligofruktanos y azúcares remanentes por medio de agua caliente. Este proceso de extracción sólido-líquido se realiza con agua desionizada en la relación 1: 1 peso-volumen.

4.2.6 Filtración y centrifugación.

Son etapas muy importantes para obtener el extracto final en buenas condiciones antes de poder mezclarlo con el extracto puro y concentrarlo, ya que liberan al extracto de sólidos en suspensión y le da cierta clarificación. Se realiza la filtración por medio de un filtro prensa de placas y marcos, tanto para el extracto puro como para el diluido y finalmente pasar a través de la centrífuga.

Utilizar un tanque de almacenamiento para el extracto a la salida del filtro prensa, del cual a su vez servirá para alimentar a la centrífuga.

4.2.7 Concentración.

Realizar esta operación al extracto final obtenido de la mezcla de ambas extracciones y se utiliza un evaporador de película fina al vacío con el fin de mantener la temperatura de trabajo por debajo de los 50 ° C, con la finalidad de conservar la mayor cantidad de oligofruktanos, ya que también se puede producir hidrólisis por elevación de la temperatura.

Se hace necesario también verificar el pH del extracto antes de la concentración para evitar posible hidrólisis de los oligofruktanos. Utilizar bomba a partir del tanque de recepción de la centrífuga al evaporador.

Volumen de extracto puro : 199 L

Volumen de extracto diluido : 80 L

Volumen de extracto total a concentrar : 279 L

Volumen aproximado al final de la concentración : 146 L

Concentración aproximada del extracto : 30 ° brix.

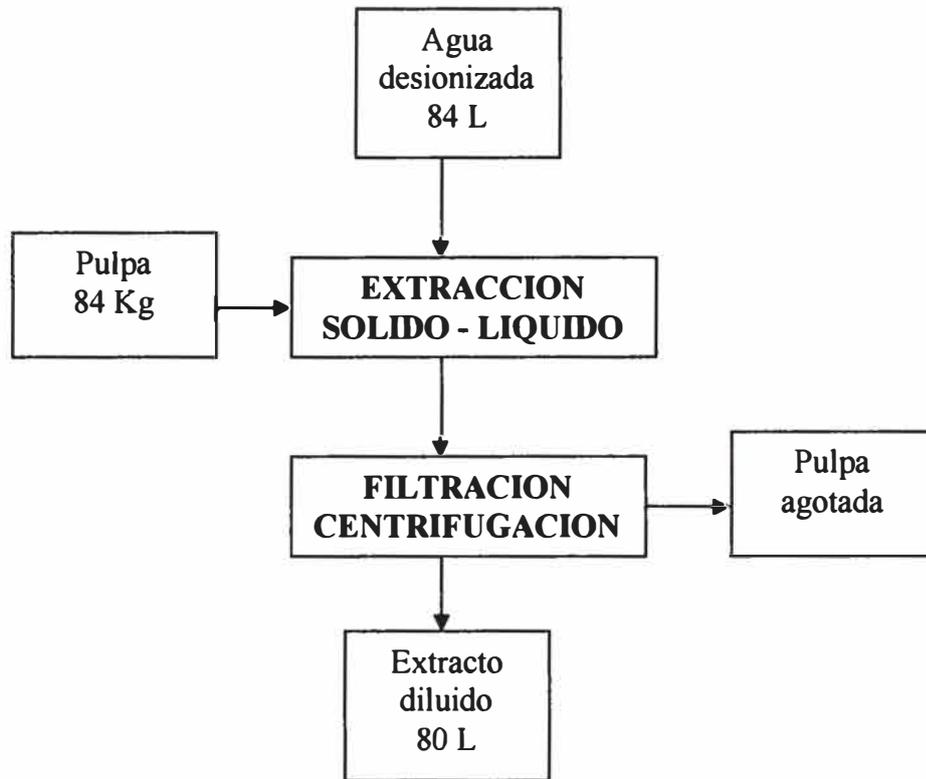


Figura 40 Segunda extracción, filtración y centrifugación.

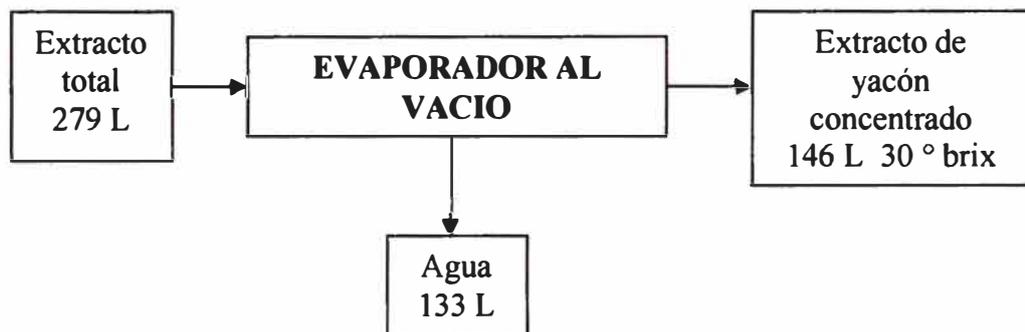


Figura 41 Concentración del extracto total.

4.3 Balance de energía.

Realizar el balance de energía, en base a los resultados obtenidos en el laboratorio para la etapa de tratamiento térmico, en cuanto a los requerimientos de calor de la materia prima.

Ambos balances sirven para poder seleccionar el equipo adecuado para cada operación.

4.3.1 Tratamiento térmico.

Se dispone de 380 kg de materia prima en condiciones de procesar.

Por cada kg de materia prima sometido a tratamiento térmico se utiliza 70,3 Kcal provenientes de vapor saturado a 100 °C.

Se necesitan entonces

$$70,3 \times 380 = 26714 \text{ Kcal}$$

Cálculo de la cantidad de vapor

$$m \times C_{p_w} \times (T_f - T_o) + m \times \lambda_w = 26714 \text{ Kcal}$$

$$m \times 1 \times (100 - 15) + m \times 539 = 26714 \text{ Kcal}$$

$$m = 42,8 \text{ kg de vapor de agua.}$$

Donde :

m masa de agua en Kg

C_{p_w} calor específico del agua Kcal / Kg °C

λ_w calor latente de vaporización del agua Kcal / kg

T_f temperatura final.

T_o temperatura inicial.

Si esta cantidad de vapor la alimentamos en un lapso de 3 horas, el flujo de vapor sería de 14,3 Kg / hr ó 0,24 Kg / minuto y la alimentación de la materia prima sería de 380 Kg / 180 minutos = 2,1 Kg / minuto, con estos datos aproximados podemos seleccionar el equipo mas adecuado para esta operación.

Cuadro 35 Balance de materia para el proceso planta piloto.

Etapas / Equipos	Componentes	Entra	Salida
Tratamiento térmico / Escaldador a vapor.	Yacón Vapor saturado Yacón tratado Vapor condensado + Agua deshidratación.	380 kg	323 kg
Extracción / Extractor industrial.	Yacón Extracto puro Pulpa.	323 kg	209,5 L 84 kg
Filtración-centrifugación / Filtro prensa-centrífuga.	Extracto puro Extracto clarificado Sólidos.	209,5 L	199 L
Segunda extracción / Tanque de extracción.	Pulpa yacón Agua.	84 kg 84 L	
Filtración-centrifugación / Filtro prensa-centrífuga.	Extracto diluido Pulpa agotada.		80 L
Concentración / Evaporador al vacío.	Extracto total Extracto concentrado Agua.	279 L	146 L

4.4 Selección de equipos.

Con la información obtenida en los balances de materia y energía y considerando las condiciones de operación establecidas para obtener el producto, se realiza la selección de los equipos principales para cada etapa del proceso así como también equipos auxiliares necesarios de acuerdo al diagrama de flujo.

Cuadro 36 Relación de principales equipos para la planta piloto.

Codigo	Equipo
F -111	Tanque de almacenamiento.
F - 211	Dosificador.
B - 110	Escaldador a vapor.
C - 210	Extractor mecánico.
F _ 212	Tanque de almacenamiento.
D - 310	Tanque de extracción.
H - 410	Filtro prensa.
F - 411	Tanque de almacenamiento.
L - 511	Bomba centrífuga.
H - 510	Centrífuga.
F - 512	Tanque de almacenamiento.
L - 611	Bomba centrífuga.
V - 610	Evaporador al vacío.
F - 612	Tanque pasteurizador.

Cuadro 37 Especificaciones del escaldador a vapor.

Marca : Didacta – Italia.

Código : B - 110

Función : Tratamiento térmico de la materia prima.

Operación : Batch.

Material : Acero inoxidable.

Flujo de vapor : 15 – 20 Kg / Hr

Presión de trabajo : 2 – 3 bar

Funcionamiento : Eléctrico 380 voltios, 230 vatios de potencia.

Medidas : 2,05x0,6x1,3 m

Peso : 162 Kg

Controles : Control de velocidad de exposición al vapor.



Figura 42 Escaldador a vapor o blancher.

Cuadro 38 Especificaciones del extractor industrial.

Marca : Turmix.

Código : C – 210

Función : Extracción del jugo de la materia prima.

Operación : Batch.

Material : Acero inoxidable.

Capacidad de trabajo : 80 – 160 L / Hr

Funcionamiento : Eléctrico 220 voltios.



Figura 43 Extractor industrial.

Cuadro 39 Especificaciones del filtro prensa.

Marca : Tecnoedu.

Código : H-410

Función : Filtración del extracto puro y diluido.

Operación : Batch.

Material : Acero inoxidable.

Características : Superficie filtrante nominal 0,22 m²

Bomba de alimentación de 18 L / min

Carga máxima de 2,0 bar

Motor de 0,25 Kw, 2 800 rpm.

Cuatro placas y cuatro marcos.

Funcionamiento : Eléctrico monofásico 220 – 240 voltios.

Peso : 120 Kg

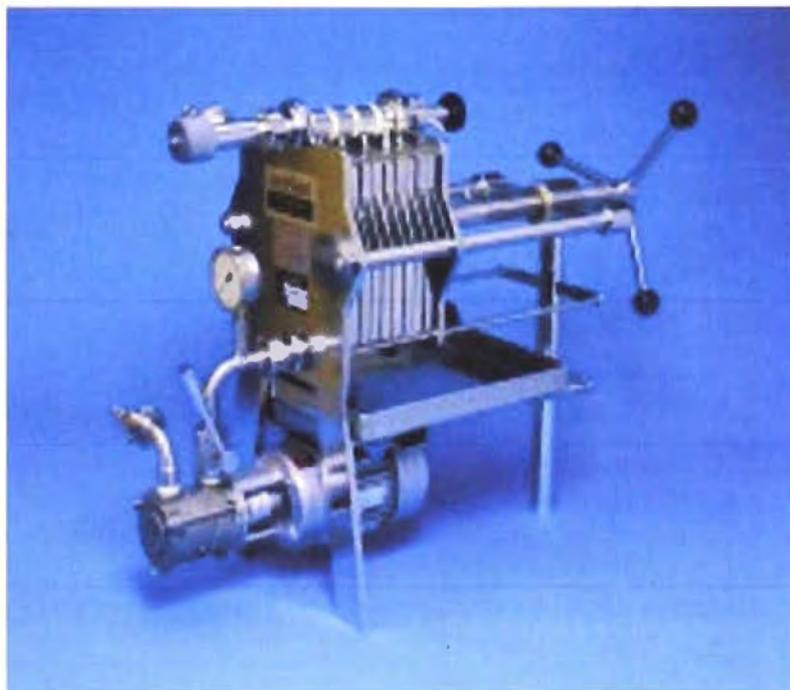


Figura 44 Filtro prensa de placas y marcos.

Cuadro 40 Especificaciones de la centrifuga.

Marca : Didacta – Italia.

Código : H – 510

Función : Clarificación del extracto.

Operación : Batch.

Material : Acero inoxidable.

Capacidad de trabajo : 150 L / Hr

Funcionamiento : 220 voltios, 350 vatios de potencia.



Figura 45 Centrifuga.

Cuadro 41 Especificaciones del evaporador al vacío.

Marca : Rototherm.

Código : V – 610

Función : Concentración del extracto.

Operación : Batch.

Material : Acero inoxidable.

Capacidad de proceso : De 12 – 18 L / Hr

Tipo : De película fina al vacío.

Características

Tanque de 18 L en acero inoxidable.

Bomba de pistón de 1/3 de HP.

Sistema de vacío de 0,48 torr

Requerimientos de agua del condensador de 11gpm

Sistema de calentamiento por agua de 17 gpm

Funcionamiento : Eléctrico 230 voltios.



Figura 46 Evaporador de película fina al vacío.

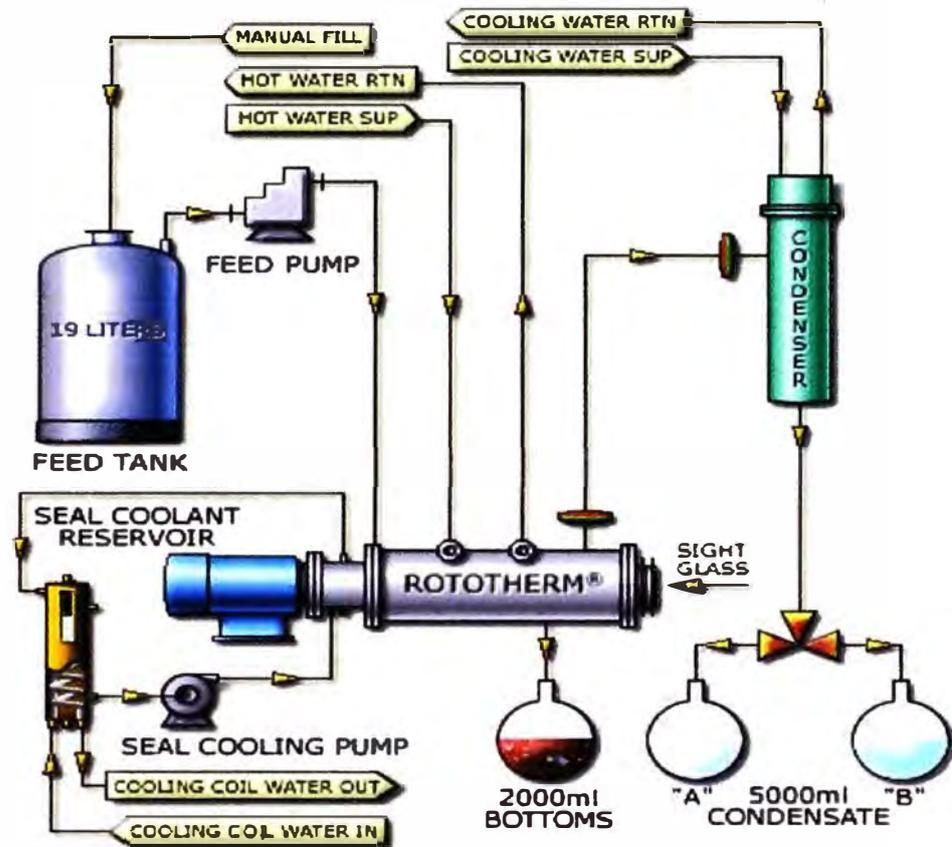


Figura 47 Diagrama esquemático del evaporador.

4.4.1 Cálculo de las características de los tanques de proceso.

La capacidad de los tanques de proceso se calcula utilizando la siguiente relación :

$$V_n = M \times 1/\rho$$

Donde :

M masa que ingresa al equipo en Kg

ρ densidad de la solución en Kg / m³

V_n volumen nominal expresado en m³

El volumen de diseño se obtiene utilizando un factor de seguridad sobre el volumen nominal calculado, este factor será de 20% en todos los casos, excepto para el tanque de la segunda extracción el cual será de 30%.

Se considera una relación de altura / diámetro de 1,5 derivado de características de tanques para operaciones similares.

Cuadro 42 Especificaciones del tanque de extracción.

Código	: D – 310
Función	: Segunda extracción a la pulpa obtenida del extractor.
Operación	: Batch.
Material	: Acero inoxidable AISI 304.
Capacidad	: $0,218 \text{ m}^3 = 7,69 \text{ pie}^3$
Diámetro	: $0,57 \text{ m} = 1,87 \text{ pie}$.
Altura	: $0,85 \text{ m} = 2,8 \text{ pie}$.
Tapa	: techo plano.
Tipo	: Vertical cilíndrico, tanque enchaquetado.
Funcionamiento	:
	Vapor saturado.
	Calentamiento con cocina semi-industrial a gas.
Control	: Control de temperatura,
	Tuberías y válvulas de acero inoxidable.

4.4.2 Especificaciones de los tanques de almacenamiento.

Cuadro 43 Especificaciones tanque de recepción.

Función	: Recepción de la materia prima.
Código	: F – 111
Operación	: Batch.
Tipo	: Vertical cilíndrico.
Material	: Acero inoxidable AISI 304.
Capacidad	: $0,472 \text{ m}^3 = 16,67 \text{ pie}^3$
Diámetro	: $0,75 \text{ m} = 2,46 \text{ pie}$.
Altura	: $1,1 \text{ m} = 3,6 \text{ pie}$.
Tapa	: Techo plano.

Cuadro 44 Especificaciones de tanque de recepción del extracto.

Función : Recepción del extracto puro.

Código : F – 212

Operación : Batch.

Tipo : Vertical cilíndrico.

Material : Acero inoxidable AISI 304.

Capacidad : $0,254 \text{ m}^3 = 8,98 \text{ pie}^3$

Diámetro : $0,6 \text{ m} = 1,97 \text{ pie}$.

Altura : $0,9 \text{ m} = 2,95 \text{ pie}$.

Tapa : Techo plano.

Cuadro 45 Especificaciones tanque de almacenamiento extracto.

Función : Recepción extracto total.

Código : F – 411 y F – 512

Operación : Batch.

Tipo : Vertical cilíndrico.

Material : Acero inoxidable AISI 304.

Capacidad : $0,338 \text{ m}^3 = 11,9 \text{ pie}^3$

Diámetro : $0,66 \text{ m} = 2,16 \text{ pie}$.

Altura : $0,99 \text{ m} = 3,25 \text{ pie}$.

Tapa : Techo plano.

Cuadro 46 Especificaciones tanque pasteurizador.

Función : Recepción de producto y pasteurizador.

Código : F – 612

Operación : Batch.

Tipo : Vertical cilíndrico.

Material : Acero inoxidable AISI 304.

Capacidad : $0,174 \text{ m}^3 = 6,16 \text{ pie}^3$

Diámetro : $0,53 \text{ m} = 1,74 \text{ pie}$.

Altura : $0,79 \text{ m} = 2,59 \text{ pie}$.

Tapa : Techo plano.

4.4.3 Especificaciones de las bombas.

Cuadro 47 Especificaciones de bomba centrífuga.

Código : L – 511 y L – 611

Función : Bombeo de extracto a centrífuga y al evaporador.

Tipo : Centrífuga.

Material : Acero inoxidable.

Potencia : 0,5 HP.

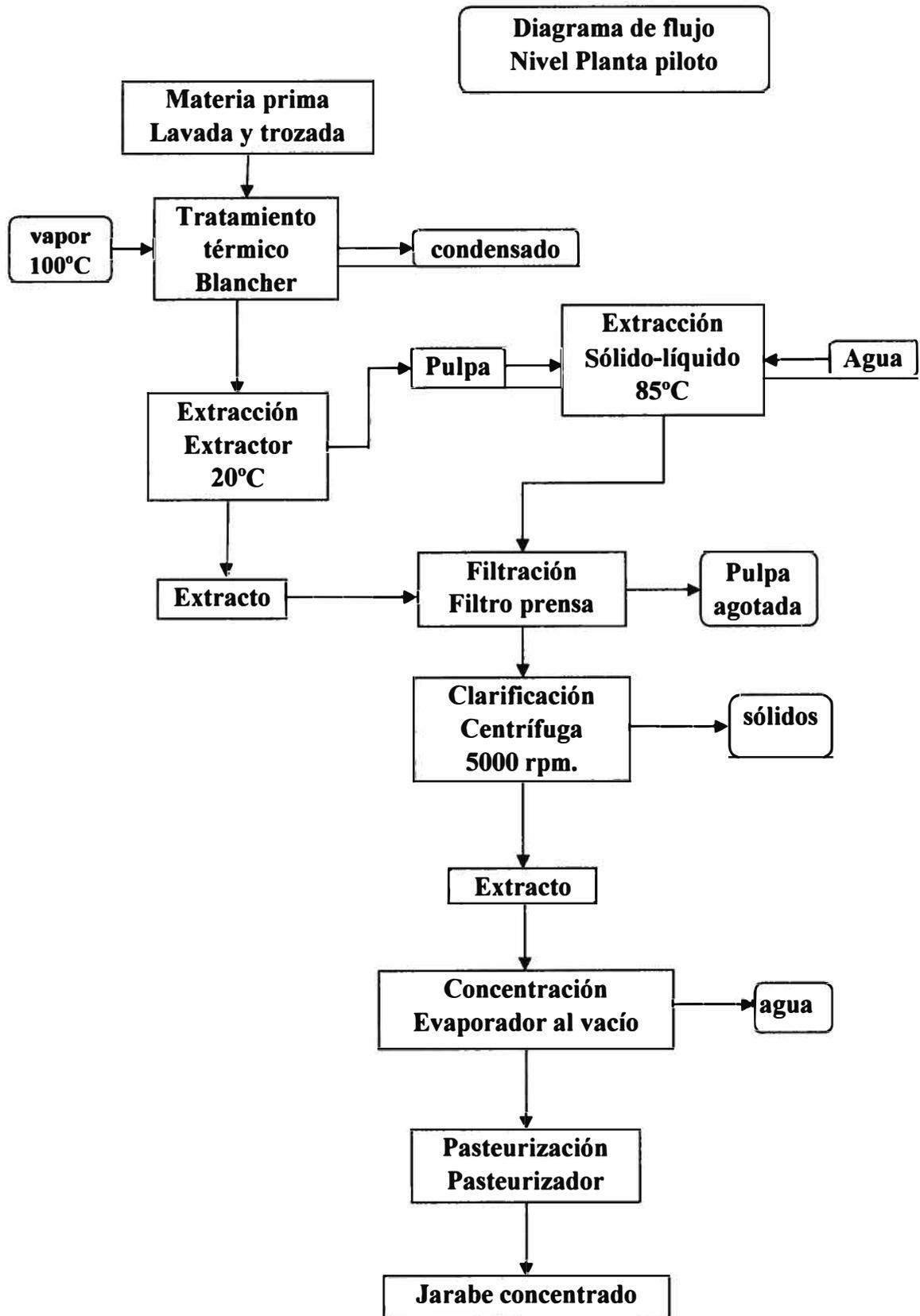
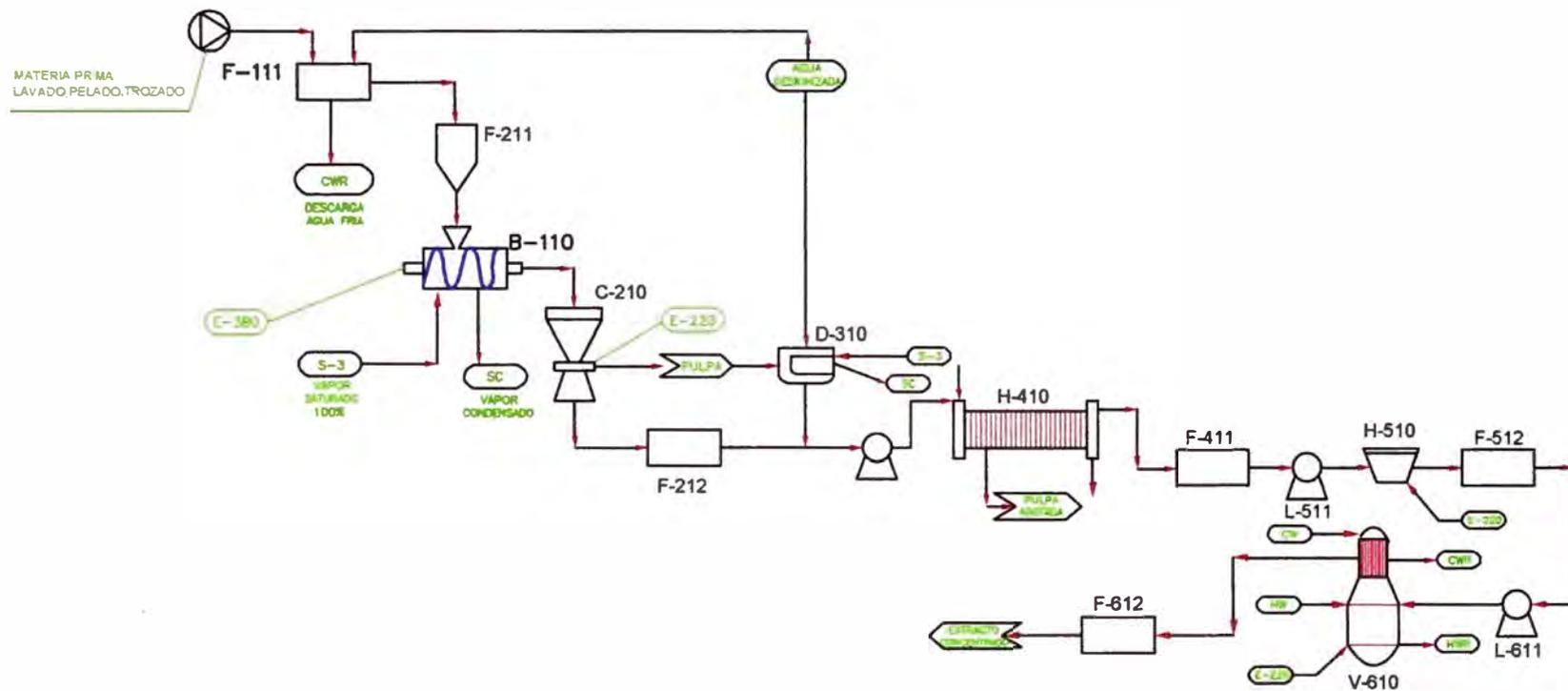


Figura 48 Diagrama de flujo nivel planta piloto.



F-111	F-211	B-110	C-210	F-212	D-310	H-410	F-411	L-511	H-510	F-512
TK ALMACE- NAMIENTO	DOSIFICADOR	ESCALDADOR A VAPOR	EXTRACTOR MECANICO	TK ALMACE- NAMIENTO	TK DE EXTRACCION	FILTRO PRENSA	TK ALMACE- NAMIENTO	BOMBA CENTRIFUGA	CENTRIFUGA	TK ALMACE- NAMIENTO
				L-611	V-610	F-612				
				BOMBA CENTRIFUGA	EVAPORADOR AL VACIO	TK PASTEU- RIZADOR				

Figura 49 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PLANTA PILOTO.

4.5 Costo de procesamiento.

Se realiza un análisis económico con los datos obtenidos en los balances para el procesamiento de 500 Kg de yacón por día como materia prima principal e insumos para obtener 146 litros de extracto concentrado de oligofruktanos de 30 ° brix como producto final.

Cuadro 48 Relación de costos de materia prima e insumos y costos variables para la producción de extracto de oligofruktanos.

Descripción	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)
Materia prima e insumos			
Yacón (kg).	500	1,00	500,00
Agua de proceso(m ³).	0,5	1,30	0,65
Agua de enfriamiento (m ³).	104	1,50	156,00
Vapor saturado (kg).	62	0,23	14,26
Electricidad (kw-hr).	300	0,28	84,00
Combustible (GLP)(lb).	24	2,50	60,00
			S/. 814,91
Costos fijos			
Mano de obra.			116,25
Servicios y gastos administrativos.			23,25
		TOTAL	S/. 954,41
Tipo de cambio 1 \$ = S/. 3,00			US\$ 318,14

El costo de procesamiento por cada lote de 500 kg de yacón por día es de S/. 954,41 o US\$ 318,14.

El precio de venta en el mercado del extracto concentrado de oligofruktanos de 70° brix es de US\$ 33,3 / Kg y de 13 ° brix es de US\$ 10,13 /litro.

El costo unitario de procesamiento del extracto concentrado es de US\$ 2,18 / litro.

4.5.1 Costo primo mensual de procesamiento de extracto concentrado de oligofruktanos.

Se estima una producción mensual de 2 920 litros de extracto concentrado de oligofruktanos de 30 ° brix.

Cuadro 49 Costo primo mensual del procesamiento de oligofruktanos.

Descripción	Importe (S/.)	Sub-total (S/.)
Materia prima é insumos		
Yacón	10 000,00	
Agua de proceso	13,00	
Agua de enfriamiento	3 120,00	
Vapor saturado	285,20	
Electricidad	1 680,00	
Combustible	1 200,00	
		16 298,20
Costos fijos		
Mano de obra	2 325,00	
Servicios	420,00	
Gastos administrativos	45,00	
		2 790,00
		S/. 19 088,20
TOTAL		US\$ 6 362,73

El costo primo total mensual de procesamiento de extracto concentrado de oligofruktanos es de S/. 19 088,20 ó US\$ 6 362,73.

CAPITULO V RESULTADOS Y DISCUSION.

5.1 Caracterización de la materia prima.

Tubérculos de yacón de diversas formas, especialmente fusiformes, de hasta 25 cm de longitud y 10 cm de diámetro, generalmente pesan 200 a 500 g , pero varían considerablemente en forma, tamaño y de igual forma en el color de la cáscara que va del color canela al marrón oscuro. Interiormente cuerpo carnosos anaranjado transparente, otros blancos, crema ó púrpura, de acuerdo a la variedad. Epidermis formada por varias capas de células muy comprimidas. Tejidos corticales están formados por parénquima llenos de agua, las capas externas contienen antocianinas que da el color purpúreo a esos tejidos.

La mayor parte de la biomasa de las raíces frescas está constituida por agua la cual representa del 80 al 90 % y los carbohidratos constituyen aproximadamente el 90 % del peso seco de los cuales entre el 50 a 70 % son principalmente fructanos, así para una muestra de 100g estos pueden ir desde los 4,5 g a 12,6 g , el resto de carbohidratos son la fructosa, glucosa y sacarosa. Estas raíces presentan un gusto dulce al paladar.

En ambiente seco y con circulación de aire los tubérculos se pueden almacenar algunos meses, los cuales a su vez se van haciendo más dulces debido a la hidrólisis de los fructanos a fructosa.

De los análisis realizados a estos tubérculos se reporta un contenido de 0,57 % de proteínas, un pH de 6,5 y sólidos solubles como fructosa de 12,8 %, además por reportes de otras investigaciones se tiene calcio, fósforo, hierro, vitaminas como tiamina, riboflavina, ácido ascórbico en pequeñas cantidades.

5.2 Caracterización del producto.

Extracto concentrado de oligofructanos, los cuales están en mayor proporción, estos van desde los dos monómeros de fructosa hasta los nueve monómeros y derivado de los análisis por espectrofotometría UV-VIS aplicando el método de Miller se reporta un 12,6 %. Sin tomar en cuenta el porcentaje de cada uno de

estos oligofructanos y producto tanto de la hidrólisis enzimática y de la producida en menor proporción durante el procesamiento se tienen los azúcares reductores ó carbohidratos como fructosa, glucosa, sacarosa y otros componentes, existen además por referencia de otros investigadores de la presencia de polímeros de fructosa de hasta 60 monómeros como la inulina. La gran cantidad de agua que contiene este tubérculo el cual va hasta un 90 %, además del agua utilizada como medio en la segunda extracción a partir de la pulpa obtenida de la extracción mecánica hace necesario retirar gran parte de esta agua a través de una concentración al vacío.

Concentrado hasta 53 ° brix tiene naturaleza viscosa y color pardo oscuro ó color caramelo, 29,5 % en azúcares reductores y un pH de 6,7, sin embargo se considera hasta 30 ° brix un extracto apto para poder comercializarlo previo al envasado en frasco de vidrio y pasteurizado hasta una temperatura de 95 ° C por dos minutos aproximadamente. En estas condiciones el producto permanece hasta por un lapso de un año sin la necesidad de agregar aditivo alguno ni refrigeración.

5.3 Parámetros de operación.

El procesamiento de la materia prima en el laboratorio hace posible el tratamiento del tubérculo en cada etapa del proceso y la aplicación de alguna alternativa con el fin de mejorar las condiciones de operación, de tal manera que la cantidad de oligofructanos sea máxima y estas condiciones no demanden excesos de energía.

Para la etapa de tratamiento térmico, el escaldado a vapor es el método a aplicar debido a que no interfiere en la concentración del extracto tal como se encuentra en la materia prima, al no utilizar un medio líquido como el agua para este tratamiento, sin embargo es posible en cierta medida una hidrólisis debido a la temperatura alcanzada (100 °C) por el vapor saturado, por tal motivo es necesario el tiempo mínimo requerido de exposición al vapor para inactivar enzimas. Este puede ir de los 8 a 10 minutos.

La etapa de la segunda extracción, necesaria porque utiliza la pulpa obtenida de la primera extracción con una cantidad de azúcares remanentes, no existe otra alternativa de extracción sino utilizando agua caliente a 85 °C como medio y puede tomar un tiempo de 15 minutos, de esta etapa se tiene un extracto diluido de oligofruktanos. Por la consistencia de la pulpa esta se mezcla en una relación (1:1) peso-volumen como la cantidad de agua mínima requerida, de tal manera que la concentración final del extracto consuma la energía suficiente y necesaria para obtener el producto final.

Las dos etapas expuestas son las que mas influyen en la determinación de los parámetros de operación. Finalmente en la etapa de concentración es necesario la utilización de vacío de tal forma que se mantenga una temperatura de 50 °C durante todo el proceso y un pH de 7 aproximadamente. Estos parámetros se resumen en el cuadro del acápite (3.5.2) referido a condiciones de operación.

5.4 Rendimientos.

El rendimiento de la extracción esta en función de la eficiencia de cada etapa del proceso. En la etapa de tratamiento térmico, la duración ó tiempo de exposición y la temperatura deben ser las fijadas en las condiciones de operación, evitando así cierto grado de hidrólisis de los oligofruktanos, carbohidratos que se obtienen en la etapa de extracción mecánica. En esta operación se tiene un volumen de extracto puro que dependerá del sistema utilizado por el equipo extractor, el cual en la etapa de laboratorio se obtiene extractos hasta con un 8 % de oligofruktanos en peso, sin embargo los oligofruktanos remanentes en la pulpa se extraen mediante agua y aplicando calor, del cual se obtiene hasta 4 % de oligofruktanos, quedando una pequeña cantidad de carbohidratos en la pulpa cuya extracción contribuye a diluir mas el extracto obtenido y que demanda mas energía en la etapa de concentración para retirar el agua utilizada en su extracción por lo que solo se realiza una vez. La combinación de ambos extractos antes de la concentración da lugar a un extracto hasta con 9 % en peso de oligofruktanos, al realizar la concentración del extracto hasta 50 ° brix la concentración de oligofruktanos se eleva hasta

12,6 %. La relación de esta concentración con respecto al contenido de oligofruktanos en la materia prima fresca, permite un rendimiento de extracción de hasta 58 %.

5.5 Conclusiones y recomendaciones.

La materia prima al ser un producto vegetal presenta algunas características botánicas cuyas variaciones van a incidir en el producto final, en este caso el extracto de oligofruktanos, ya sea en el rendimiento de la extracción, el tiempo de procesamiento ó el costo del proceso. Este tubérculo se obtiene de un centro de abastos o supermercado, verificando solo el menor tiempo post-cosecha.

Su característica fusiforme y algunas veces redondeada del tubérculo no permiten la utilización de alguna técnica de pelado diferente a la manual, con lo cual el proceso podría ser mas rápido, además es necesario retirar la delgada capa debajo de la cáscara, la cual contiene la mayor cantidad de antocianinas, disminuyendo la posibilidad de pardeamiento.

En cuanto al estado de madurez, la cantidad de oligofruktanos va disminuyendo a medida que avanza el tiempo post-cosecha, por lo que se requiere en lo posible lotes de materia prima de una misma cosecha, existe la posibilidad también que el contenido de oligofruktanos varíe de una especie a otra según la procedencia del mismo, sin embargo esta variación puede superarse en la etapa de concentración del producto.

CAPITULO VI REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

Alexéiev V. N. , 1978, Análisis cuantitativo, Moscú, Editorial MIR.

Alvarado Juan de Dios – Aguilera Miguel, 2001, Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos, Zaragoza España, Editorial Acribia.

Association of Official Analytical Chemists, 1990, Official Methods of Analysis, tomo I y II, Virginia USA, AOAC.

Browne y Zerban, 1935, Sugar Analysis, New York, Van Nostram.

Fellow Peter, 1994, Tecnología del procesamiento de alimentos : principios y prácticas, Zaragoza España, Editorial Acribia.

Foust Alan, 1985, Principios de operaciones unitarias, Mexico, Editorial Continental.

Hans Gerhard Maier, 1981, Métodos modernos de análisis de alimentos, tomo I, Zaragoza España, Editorial Acribia.

Hawley , 1992, Diccionario de Química y de productos químicos, Barcelona España, Ediciones Omega.

Kern Donald Q., 1987, Procesos de transferencia de calor, Mexico, Editorial Continental.

Mendieta Quispe Máximo, 2005, El yacón cultivo y producción, Lima, Ediciones Ripalme.

Miller G. L., 1959, Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar, Analytical Chemistry 31:426, USA.

Montiel Nina, 1996, El cultivo del yacón, Lima, INIA.

Murray Robert – Granner Daryl, 1988, Bioquímica de Harper, Mexico.

Nuñez Gorrutti, 2002, Evaluación de la exportación del yacón producido en el Perú teniendo como destino el Japón, Anales Científicos Vol. 50, Lima.

- Pearson D.,1986, Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos, Zaragoza España, Editorial Acribia.
- Pigman Horton, The carbohydrates chemistry and biochemistry.
- Rakoff Henry – Rose Norman, 1982, Química Orgánica Fundamental, México D.F., Editorial Limusa.
- Rangana S., 1977, Manual of analysis of fruit and vegetable products, New Delhi, Mc Graw-Hill Publishing Co.
- Reinhard Matissek Frank – Schnepel Gabriele Steiner, Análisis de los alimentos, 1998, Fundamentos-métodos-aplicaciones,Zaragoza España, Editorial Acribia.
- Ulrich Gael D., 1993, Diseño y economía de los procesos de Ingeniería Química, Mexico, Mc Graw- Hill interamericana.
- Vian Angel – Ocón Joaquín, 1972, Elementos de Ingeniería Química, Madrid España, Editorial Aguilar.
- Wiseman A, 1991, Manual de biotecnología de los enzimas, Zaragoza España, Editorial Acribia.

Glosario

- Aglicón .- en los heterósidos, sustancia no azucarada como antocianidina.
- AOAC .- association of official analytical chemists.
- Bifidogénica .- sustancias cuyo efecto es aumentar el número de bifidobacterias.
- Biosintético .- combinación de sustancias biológicas y sintéticas.
- Citoprotectoras .- sustancias con actividad de protección celular.
- Clonales .- especies con características mejoradas por clonación.
- DNS .- ácido 3,5-dinitrosalicílico.
- Ecotipos .- subpoblación genéticamente diferenciada restringida a un hábitat específico o ecosistema definido.
- FOS .- fructooligosacáridos ú oligofructanos.
- Fusiforme .- en forma de huso.
- Germoplasma .- cualquier parte de la planta que puede ser usada para hacer crecer una nueva planta.
- Glicosídicos .- enlace al reaccionar con el OH hemiacetálico del carbono anomérico de un monosacárido, con pérdida de una molécula de agua.
- Glúsidos .- hidratos de carbono ó sacáridos.
- Glucosídicos .- es el enlace para unir monosacáridos con el fin de formar disacáridos o polisacáridos.
- Heteropolisacáridos .- polisacáridos formados por la repetición ordenada de un disacárido formado por dos monosacáridos distintos.
- Heterósidos .- sustancia que resulta de la unión de un azúcar y una sustancia no azucarada.
- Homopolisacáridos .- polisacáridos formados por la repetición de un solo monosacárido.
- Pardeamiento .- producto de la acción de enzimas, como la peroxidasa por daño sobre el tejido de algunas frutas y en contacto con el oxígeno.
- Prebiótico .- sustancia no digerible que induce el aumento selectivo de número y/o actividad de bifidobacterias.

- Probiótico .- bacterias vivas capaces de colonizar de forma pasajera el tubo digestivo, generando efectos beneficiosos para el hésped. Son generalmente las bifidobacterias.
- Simbiótica .- interacción biológica entre dos o mas organismos de distintas especies en la que todos salen beneficiados.
- Tuberosas .- tipo de órgano subterráneo de acumulación de nutrientes.
- Plasmólisis .- ósmosis que se produce a través de las membranas celulares.
- UV-VIS .- ultravioleta – visible.

APENDICE.

A-1 Determinación de azúcares reductores por el método volumétrico de Lane & Eynon.

Método para la determinación de azúcares reductores, el cual consiste en usar disoluciones alcalinas de cobre que se reducen a óxido cuproso y que reaccionan con las aldosas o el grupo funcional ceto. Particularmente el método determina el volumen de solución de azúcar que se necesita para reducir un volumen de solución de Fehling en presencia de azul de metileno como indicador interno. El aire se elimina de la mezcla reaccionante manteniendo el líquido hirviendo durante la valoración.

Solución de Fehling.

A- Disolver 69.28 g de sulfato de cobre en agua y diluir a un litro. Filtrar si es necesario.

B- Disolver 346 g de sal de Rochelle (tartrato de sodio y potasio) y 100 g de hidróxido de sodio en agua y diluir a 1 litro.

Disolver 1 g de azul de metileno en 100 mL de agua.

Disolver 225 g de acetato de plomo neutro en agua y diluir a 500 mL.

Disolver 110 g de oxalato de potasio en agua y diluir a 500 mL.

Un exceso de acetato de plomo en soluciones azucaradas puede resultar en un error en la titulación.

Preparación de solución estándar de fructosa.

Se utiliza una solución de fructosa para estandarizar la solución de Fehling debido a que este azúcar se encuentra en mayor cantidad en el extracto a analizar.

Para esto se pesan 0,5 g de fructosa anhidra para análisis y se disuelven en 100 mL de agua desionizada.

Concentración de la solución : 0,005 g/mL.

Estandarización de la solución de Fehling.

Mezclar 5 mL de solución A y 5 mL de solución B de Fehling y agregar 50 mL de agua mezclar bien en un erlenmeyer.

En una bureta de 50 mL colocar la solución estándar de fructosa, agregar unos 5 mL a la solución de Fehling y calentar hasta ebullición. En este punto la solución tiene una coloración azul con un precipitado color rojo pardo. Agregar 3 gotas de azul de metileno manteniendo la ebullición, agregar la solución de la bureta gota a gota hasta que toda coloración azul desaparezca y se pueda observar un precipitado rojo. Tomar lecturas de la valoración.

Gasto 1 = 11,0 mL

Gasto 2 = 11,4 mL

Gasto 3 = 11,4 mL

Gasto promedio = 11,26 mL

De esto se concluye que 11,26 mL de solución estándar de fructosa reducen 10 mL de solución de Fehling.

De los datos de concentración :

$11,26 \text{ mL} \times 0,005 \text{ g /mL} = 0,0563 \text{ g de fructosa.}$

Por lo tanto:

10 mL de solución de Fehling se reducen con 0,0563 g de fructosa

Determinación de azúcares reductores del extracto de yacón.

Tomar 5 mL de extracto clarificado y diluir a 50 mL con agua desionizada, colocar en una bureta de 50 mL. Tomar 10 mL de solución de Fehling en un erlenmeyer de 250 mL y diluir con 50 mL de agua desionizada. Proceder de igual forma que en la estandarización, utilizando como indicador el azul de metileno y realizar 3 medidas: G1, G2, G3.

Gasto considerado = $(G1+G2+G3)/3 = G$

De las condiciones de estandarización, 10 mL de reactivo de Fehling requieren de 0,0563 g de fructosa para su completa reducción.

Para un gasto considerado $G = 10$ mL.

$$0,0563 \text{ g}/10 \text{ mL} = 0,00563 \text{ g/mL} \times 50 \text{ mL}$$

$$C = 0,2815 \text{ g} / 5 \text{ mL} = 0,0563 \text{ g} / \text{mL}$$

$C = 56,3$ g de fructosa por litro de extracto.

Donde: G. volumen en mL de solución requerida para la completa reducción de 10 mL de solución de Fehling.

Contenido de fructosa = 5,3 %

A-2 Determinación de la cantidad de oligofructanos utilizando el método de Lane & Eynon

Se calcula realizando medidas de azúcares reductores antes y después de una hidrólisis ácida del extracto a analizar.

A-3 Determinación de la cantidad de oligofructanos.

Método de Miller para azúcares reductores. DNS.

Método espectrofotométrico UV-VIS de mayor exactitud para encontrar directamente la cantidad de oligofructanos.

Disolver 16 g de NaOH en 200 mL de agua desionizada, agregar 10 g de ácido 3,5-dinitrosalicílico y agitar hasta disolución completa.

Disolver 300 g de tartrato de sodio y potasio y 8 g de metabisulfito de sodio en 500 mL de agua desionizada.

Combinar las dos soluciones y diluir a un litro.

Solución standard de fructosa.

Solución buffer.

Disolver 11,56 g de ácido cítrico monohidratado y 15,68 de fosfato dibásico de sodio (NaHPO_4) en un litro de agua desionizada.

El ph debe ser 4,5

Preparar una solución de fructosa de 1,0 g/L disolviendo 100 mg de fructosa en 100 mL de buffer.

Preparar soluciones de fructosa de concentraciones 0,2 , 0,4 , 0,6 , 0,8 g/L con diluciones apropiadas a partir de la solución standard con el buffer.

Nota.

Todas las soluciones incluido el reactivo DNS se deben almacenar en refrigeración.

Curva standard.

Preparar la curva standard para el análisis DNS, aplicando el procedimiento para cada una de las soluciones standard de fructosa (0,2 , 0,4 , 0,6 , 0,8 , 1 g/L) y plotear absorbancia como función de la concentración.

El blanco (cero de absorbancia) se debería preparar usando 0,5 mL de buffer en vez de solución de azúcar. El ploteo debe ser lineal.

Usar hoja de cálculo y regresión lineal para obtener la curva standard.

Procedimiento.

-Colocar 200 mL de agua desionizada en un vaso de 600 mL y calentar a ebullición para usar como baño de agua caliente.

-Tomar con una pipeta 0,5 mL de solución de fructosa o buffer para el blanco en tubos de prueba separados. Rotular cada tubo.

-Agregar 1,5 mL del reactivo DNS a cada tubo, mezclar y agitar completamente.

-Tapar los tubos y colocarlos en el baño de agua caliente por 15 minutos.

-Retirar los tubos del baño y agregar 2 mL de agua desionizada a cada tubo, mezclar completamente y dejar enfriar a temperatura ambiente.

-Limpiar el exterior de los tubos de prueba y leer la absorbancia a 550 nm.; usar el blanco para el cero del espectrofotómetro (fijar en cero absorbancia).

-Colocar la cubierta sobre el tubo después que este es insertado dentro del espectrofotómetro para mantener retirado de la luz directa.

Reactivos :

Acido 3,5-dinitrosalicílico.

Hidróxido de sodio.

Tartrato de sodio y potasio.

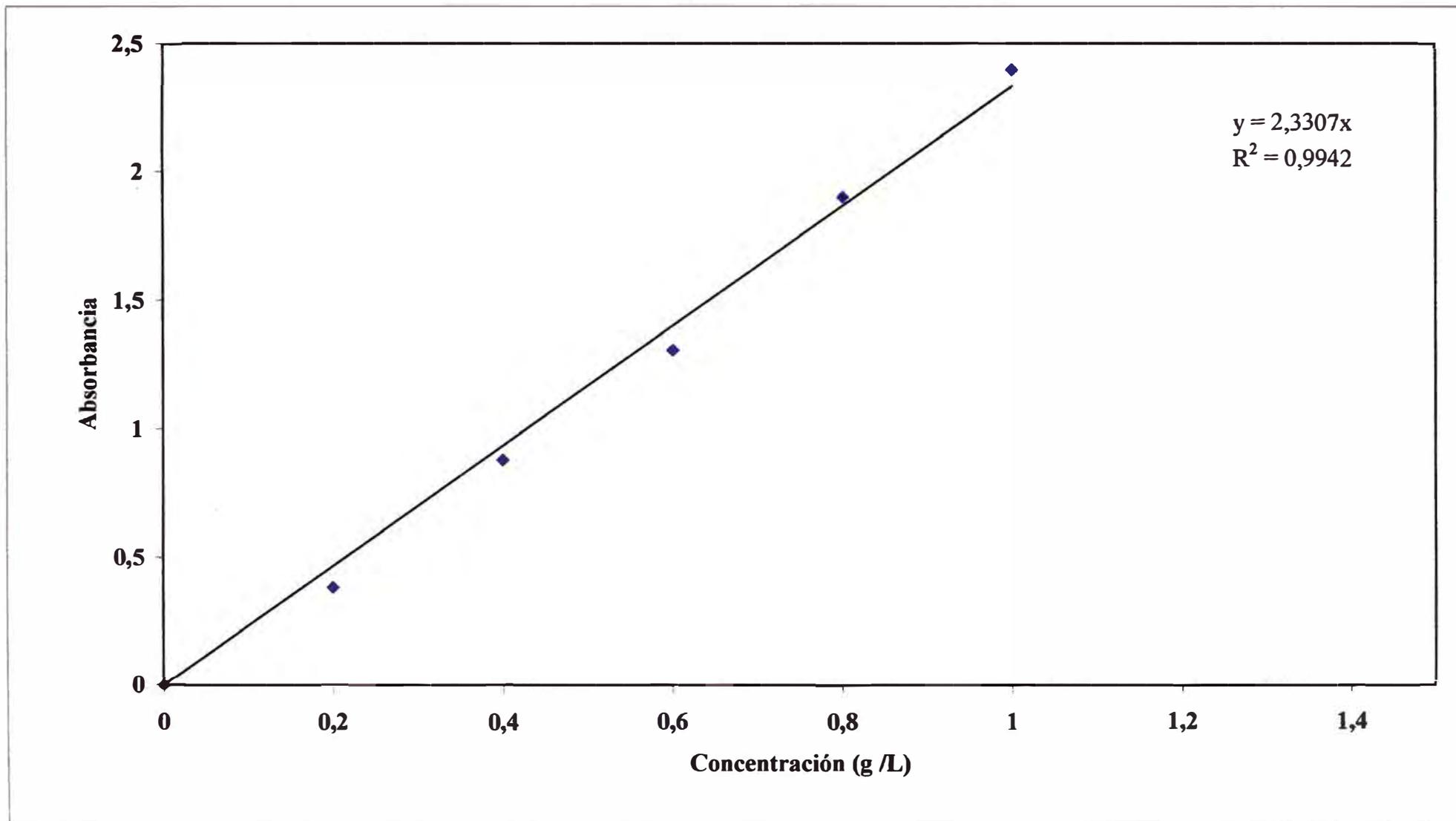
Metabisulfito de sodio.

Acido cítrico monohidratado.

Fosfato dibásico de sodio.

Fructosa.

Agua desionizada.



**Figura 50 Gráfico Absorbancia - concentración
max. 550 nm**

A-4 Determinación de la actividad de peroxidasa (PO).

Método cualitativo (Nevesky 1950).

A 1 mL de extracto enzimático se le adiciona 9 mL de agua destilada, 1 mL de peróxido de hidrógeno al 3 % y 1 mL de guayacol al 1 % en etanol. Si desarrolla color marrón, indica la presencia de peroxidasa activa.

Aplicación del método.

Para la determinación de la actividad de la peroxidasa en el extracto de yacón primero se realiza en una cantidad de extracto a partir de yacón sin tratamiento térmico, en la que se debería desarrollar un color marrón según indica el método, por la presencia de peroxidasa activa. A continuación se aplica el método al extracto pero a partir de yacón con tratamiento térmico, el cual si el tiempo es suficiente para la inactivación, no debería desarrollar el color marrón.

Procedimiento.

Se toma un mL de extracto del tubérculo en un tubo de ensayo presionándolo directamente con una vagueta. A continuación se agregan 9 mL de agua destilada y un mL de peróxido de hidrógeno al 3 % , finalmente 1mL de guayacol al 1 % en etanol, se agita y se deja reposar unos minutos. Se forman dos fases debido a que el guayacol no es soluble en agua y se obtiene una fase acuosa de un color pardo claro, lo cual nos indica la presencia de peroxidasa activa. Según podemos observar en la figura 51.

Para el caso de tratamiento térmico se aplica vapor a una porción de yacón por espacio de 8 minutos y luego de enfriar se toma un mL del extracto, se agrega 9 mL de agua destilada, un mL de peróxido de hidrógeno al 3 % y 1 mL del guayacol al 1 % en etanol, se agita y se deja reposar. Como en el caso anterior se forman las dos fases, pero la fase acuosa permanece incolora, indicando la inactivación de las enzimas en el extracto. Según podemos ver en la figura 52.



Figura 51 Prueba de Neveski para extracto sin tratamiento térmico.

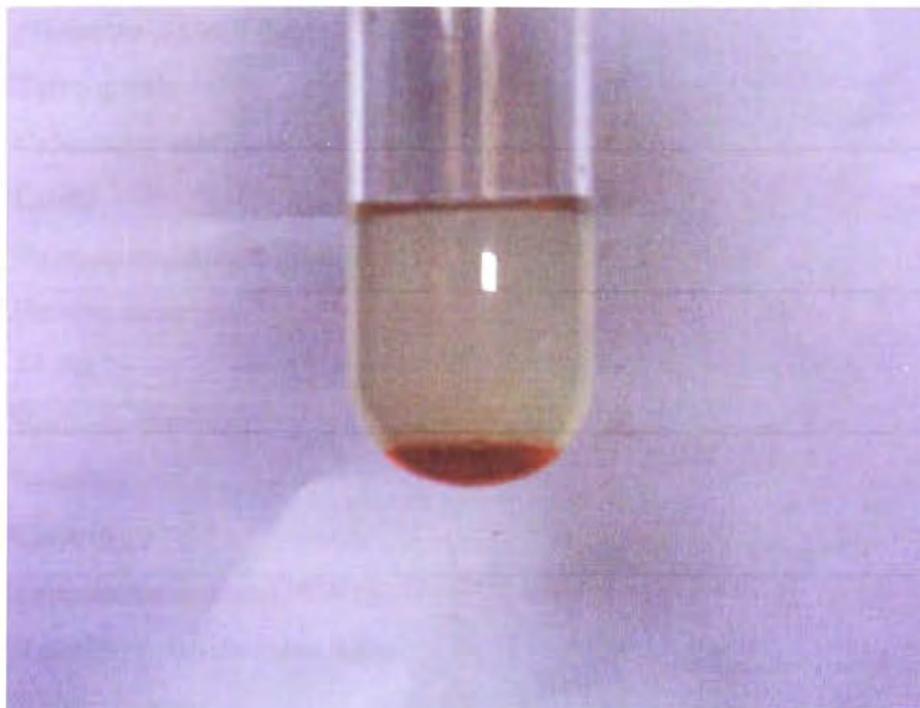


Figura 52 Prueba de Neveski para extracto con tratamiento térmico.

Instrumental empleado.

1.- Material de vidrio.

- Vasos de precipitado.
- Tubos de ensayo.
- Erlenmeyers.
- Probetas.
- Pipetas.
- Buretas.
- balón de destilación.
- Condensador.
- Embudos.
- Matraces.
- Micropipetas.
- Kitasato.
- Frascos de vidrio.

2.- pH-metro portátil digital.

3.- Termómetro.

4.- Calentador eléctrico.

5.- Estufa.

6.- Balanza analítica digital.

7.- Bomba de vacío.

8.- Mufla.

9.- Embudo Butchner.

10.- Mortero.

11.- Centrífuga.

12.- Espectrofotómetro UV-VIS.

13.- Refractómetro de mesa Abbe.

14.- Refrigeradora.

15.- Rotavapor al vacío.

16.- Equipo micro Kjeldahl para determinación de proteínas.

17.- Mangueras de goma.

18.- Pinzas para tubos.

19.- Extractor de jugos.

20.- Picnómetro.

21.- Autoclave.

TABLE
REFRACTIVE INDICES OF FRUCTOSE SOLUTIONS

All data computed from weights in air with brass weights. Immersion readings are referable solely to the scale of arbitrary units proposed by Pulfrich (*Z. angew. Chem.*, p. 1186; 1899). According to this scale, 14.5 = 1.33300; 50.0 = 1.34650; and 100.0 = 1.36464]

Per Cent	$n_D^{20^\circ}$	Zeiss Immersion Reading 20°	$n_D^{25^\circ}$	Zeiss Immersion Reading 25°	$\frac{-\Delta n}{\Delta t^\circ}$	Per Cent	$n_D^{20^\circ}$	$n_D^{25^\circ}$	$\frac{-\Delta n}{\Delta t^\circ}$	Per Cent	$n_D^{20^\circ}$	$n_D^{25^\circ}$	$\frac{-\Delta n}{\Delta t^\circ}$
					$\times 10^{-3}$				$\times 10^{-3}$				$\times 10^{-3}$
0	1.33300	14.50	1.33252	13.25	96	32	1.38385	1.38297	175	64	1.4479	1.4467	24
1	3442	18.18	3393	16.90	98	33	8564	8476	177	65	501	489	24
2	3585	21.87	3535	20.58	100	34	8745	8655	180	66	524	512	24
3	3729	25.63	3678	24.29	102	35	8927	8836	183	67	547	535	24
4	3874	29.42	3822	28.05	104	36	9111	9018	185	68	569	557	24
5	4020	33.26	3967	31.87	106	37	9295	9201	188	69	592	580	24
6	4167	37.14	4113	35.71	108	38	9481	9386	190	70	615	602	24
7	4315	41.05	4260	39.61	110	39	9669	9573	192	71	638	625	24
8	4464	45.03	4408	43.53	112	40	9858	9760	195	72	661	648	24
9	4614	49.05	4557	47.53	115	41	1.40048	9049	197	73	684	672	25
10	4765	53.11	4707	51.54	117	42	0230	1.40140	199	74	708	695	25
11	4917	57.19	4857	55.57	119	43	0432	0331	202	75	731	719	25
12	5070	61.32	5009	59.68	121	44	0625	0524	204	76	755	742	25
13	5224	65.51	5162	63.81	123	45	0821	0718	206	77	779	766	25
14	5379	69.75	5316	68.00	125	46	1018	0914	208	78	803	790	25
15	5534	74.03	5470	72.25	127	47	1216	1111	210	79	827	814	25
16	5691	78.36	5626	76.56	129	48	1415	1309	213	80	851	838	25
17	5849	82.75	5783	80.92	132	49	1616	1509	214	81	875	862	25
18	6008	87.17	5942	85.28	135	50	1818	1710	216	82	900	887	25
19	6169	91.64	6102	89.71	137	51	2021	1912	218	83	924	912	25
20	6332	96.14	6262	94.17	139	52	2226	2117	219	84	949	936	25
21	6496	100.72	6425	98.71	142	53	2432	2322	221	85	974	961	25
22	6659	105.37	6588	103.31	146	54	2640	2528	223	86	999	986	25
23	6827	.....	6753	.....	148	55	2848	2736	224	87	1.5024	1.5011	25
24	6996	.....	6921	.....	151	56	3058	2945	226	88	049	036	25
25	7166	.....	7088	.....	154	57	3270	3156	228	89	074	062	25
26	7336	.....	7258	.....	157	58	3482	3368	229	90	100	087	25
27	7506	.....	7426	.....	161	59	3696	3581	231	91	126	113	25
28	7680	.....	7598	.....	164	60	3913	3797	232	92	151	139	25
29	7854	.....	7771	.....	166	61	4130	4014	233	93	177	165	25
30	8030	.....	7945	.....	169	62	4348	4232	235	94	203	191	25
31	8207	.....	8121	.....	172	63	4569	4451	236	95	230	217	25