

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## 1.1 Antecedentes

El yacón es una de las seis raíces alimenticias ancestrales de Bolivia que poseen altas propiedades nutricionales superiores a otros alimentos consumidos normalmente, cuyo cultivo ha ido disminuyendo debido a la pérdida de valores con relación a los cultivos tradicionales y el desconocimiento de las nuevas generaciones. (Opini3n, 2015)

El cultivo de esta ra3z sigue vivo en comunidades alejadas que mantienen su uso gracias a sus actividades culturales, la escasez de alimentos y el gusto por lo natural, entre otras razones. Sin embargo, su presencia en los mercados es casi nula. El cultivo de la ra3z de yac3n se maneja ecol3gicamente, no requiere m3s inversiones que sembrarlas, deshierbarlas y cosecharlas. (Opini3n, 2015)

La importancia y potencialidad actual del yac3n (*Smallanthus sonchifolius*) no es por su valor alimenticio, sino por su contribuci3n a la salud, lo cual radica en la calidad de sus carbohidratos conocidos como fructooligosac3ridos, de pocas calor3as, que no elevan el contenido de glucosa en la sangre, adem3s estos compuestos no son asimilados por el organismo, consider3ndose como fibra no digerible, haciendo de este un alimento prebi3tico. (Molina, 2014)

El yac3n ha sido poco estudiado y marginado de programas de investigaci3n, raz3n por la cual la informaci3n a3n es escasa, lo que impide un mejor y mayor aprovechamiento de sus propiedades. (Molina, 2014)

Seg3n el Censo Agropecuario del Instituto Nacional de Estadística Bolivia INE (2013) los departamentos que producen yac3n de mayor a menor producci3n son: Tarija, Cochabamba, La Paz, Chuquisaca, Potos3 y Santa Cruz. El cultivo de la especie se realiza en las zonas altipl3nicas de cada regi3n. En el departamento de Tarija los municipios que producen yac3n en orden de mayor a menor producci3n son: Villa San Lorenzo, Uriondo, Cercado, Entre R3os y Padcaya.

En cuanto a empresas procesadoras de yacón en Bolivia, no se cuenta con ellas, sin embargo, en el departamento de Cochabamba en el municipio de Colomi se tiene la intención de impulsar la industrialización del yacón (Opini3n, 2019).

As3 tambi3n, en el municipio de Uriondo de Tarija se estaba desarrollando un proyecto para implementar una planta de “producci3n de edulcorante natural en polvo elaborado a base de yac3n” en la comunidad de Papachacra, ya que disponen de una infraestructura y algunos equipamientos b3sicos para transformar el yac3n en subproductos como: edulcorante, jarabe, licor, hojuelas, etc. (Hoyos, 2017)

Por otra parte, se tiene datos de que se han elaborado productos para la venta, pero a peque1a escala como ser el deshidratado de yac3n, t3, mermeladas y pasteler3a agregando la ra3z de yac3n (P3gina Siete, 2015).

## **1.2 An3lisis de involucrados para la implementaci3n de la planta piloto procesadora de yac3n**

En la tabla 1.1, se presenta el an3lisis de involucrados para la implementaci3n de la planta piloto procesadora de yac3n, mostrando los grupos estrat3gicos que tienen inter3s y relaci3n directa o indirecta con el proyecto de implementaci3n en la ciudad de Tarija.

**Tabla 1.1**

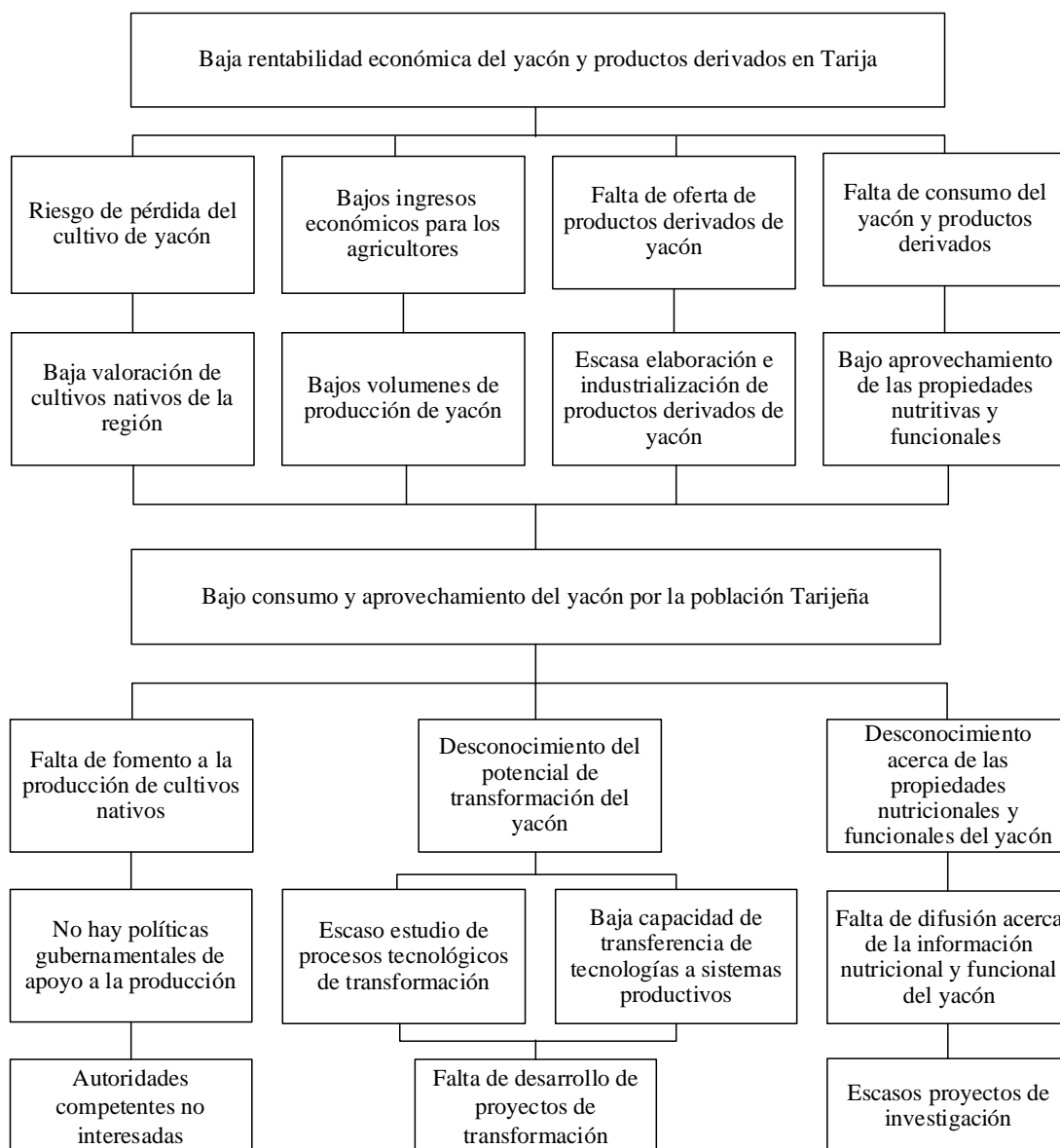
*Análisis de involucrados para la implementación de la planta piloto procesadora de yacón*

<b>Grupos</b>	<b>Intereses en el proyecto</b>	<b>Problemas percibidos</b>	<b>Recursos y mandatos</b>	<b>Conflictos potenciales</b>
Población diabética	Adquirir productos de alimenticios de bajo índice glucémico, nutritivos y funcionales	Alimentos altamente procesados, artificiales, de alto índice glucémico y no nutritivos	- Demandar y adquirir alimentos de bajo índice glucémico, más naturales y saludables	Con las empresas de la industria alimentaria
Productores de yacón de Tarija	Entrega y venta de yacón	Bajo aprovechamiento del yacón	- Conservar y aumentar la producción del cultivo ecológico del yacón	Bajo apoyo e interés del municipio y de las empresas transformadoras de alimentos
Alcaldía	Apoyar la producción y economía local	Baja potencialización de empresas	- Facilitar financiamiento - Establecer leyes y normativas en beneficio de las empresas de la región	Con las empresas locales
Empresas de alimentos que adquieren edulcorantes	Adquirir edulcorantes naturales de bajo índice glucémico y calórico, que sean técnica y económicamente factibles	Alto empleo de azúcar y edulcorantes artificiales	- Reducir el empleo de azúcar y edulcorantes artificiales no nutritivos - Aumentar el empleo de edulcorantes naturales, nutritivos de bajo índice glucémico	Con la población y proveedores de insumos
SENASAG	Controlar que la empresa tenga Registro Sanitario (R.S.)	Productos alimenticios sin R.S. que no cumplen con los requisitos de inocuidad	- Control del cumplimiento a las normativas del SENASAG	Con las empresas locales que expenden alimentos
SEDES	Controlar que el personal de la empresa tenga Carnet Sanitario	Personal no certificado como persona en aptas condiciones de salud para operar en empresas o negocios	- Control del cumplimiento a las normativas del SEDES	Con las empresas y negocios locales

Fuente: Elaboración propia

### 1.3 Árbol de problemas para la implementación de la planta piloto procesadora de yacón

El árbol de problemas, es una herramienta utilizada para describir la jerarquía y categorización de la problemática, mediante causas y efectos (Ortegón et al., 2015). En la figura 1.1, se presenta el árbol de problemas para la implementación de la planta piloto procesadora de yacón en la ciudad de Tarija.

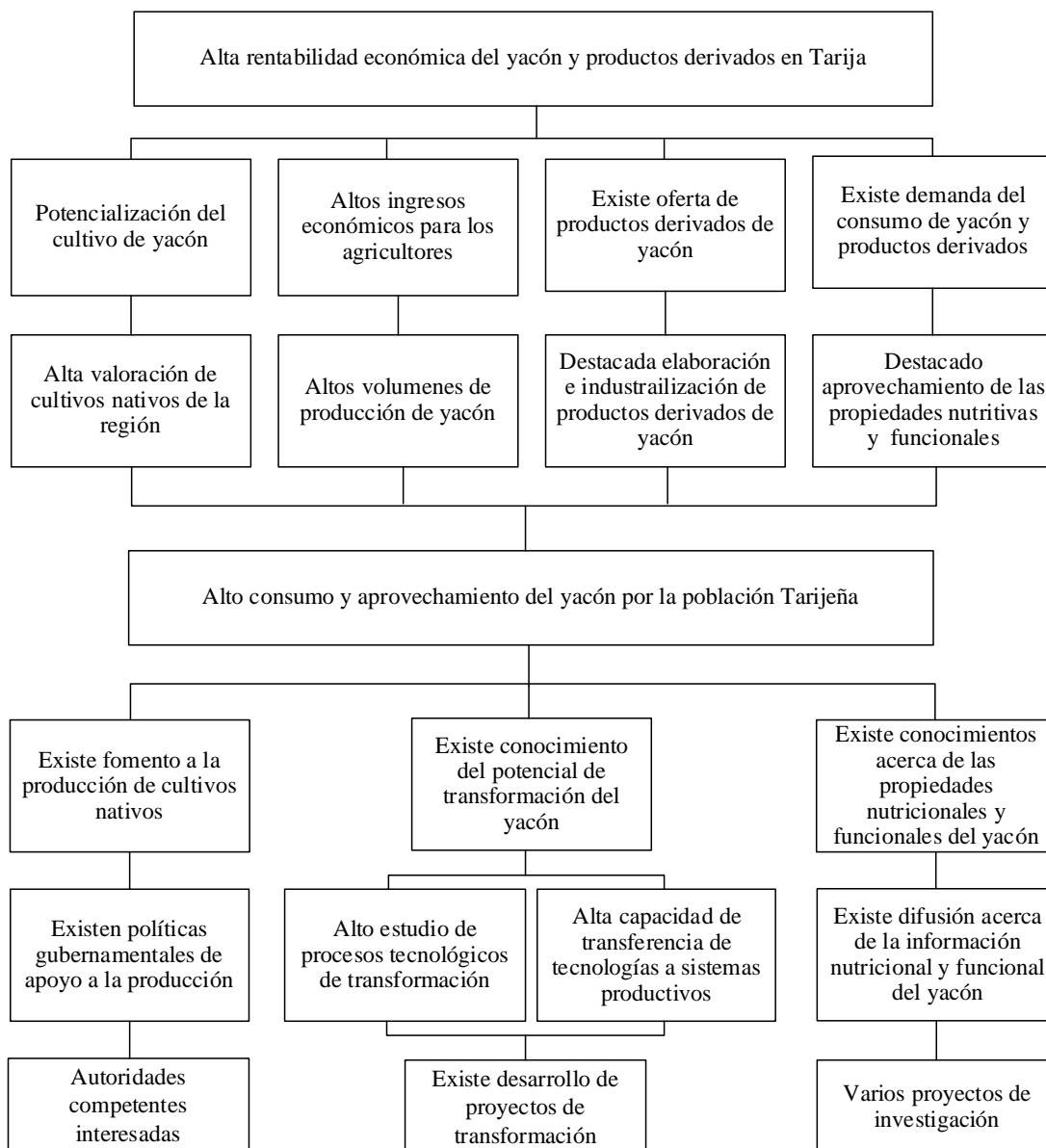


Fuente: Elaboración propia.

**Figura 1.1.** Árbol de problemas para la implementación de la planta procesadora de yacón en la ciudad de Tarija.

### 1.4 Árbol de objetivos para la implementación de la planta piloto procesadora de yacón

El árbol de objetivos es una herramienta que permite describir la situación futura a la que se desea llegar una vez se han resuelto los problemas (Ortegón et al., 2015). En la figura 1.2, se presenta el árbol de objetivos para la implementación de la planta piloto procesadora de yacón.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 1.2.** Árbol de objetivos para la implementación de la planta piloto procesadora de yacón en la ciudad de Tarija.

### 1.5 Análisis de la situación con y sin proyecto de implementación de la planta piloto procesadora de yacón

En la tabla 1.2, se muestra el análisis de la situación actual sin proyecto y la situación posterior con el proyecto de implementación de la planta piloto procesadora de yacón en la ciudad de Tarija.

**Tabla 1.2**

*Análisis de la situación con y sin proyecto de implementación de la piloto planta procesadora de yacón*

<b>Situación actual sin proyecto</b>	<b>Situación posterior con proyecto</b>
Falta de conocimiento acerca de los beneficios, propiedades fisicoquímicas, nutricionales y funcionales del yacón, desaprovechando el potencial de transformación del mismo para obtener diferentes productos derivados como ser: edulcorante, infusión, mermelada, harina, entre otros.	Existe buen conocimiento acerca de los beneficios, propiedades fisicoquímicas, nutricionales y funcionales del yacón, cuyo potencial de transformación es aprovechado para obtener productos derivados como ser el edulcorante en polvo e infusión.
Falta de empresas productoras de alimentos saludables, naturales, de bajo índice glucémico y calórico que hagan frente a alimentos muy procesados, artificiales, poco o nada saludables como ser el azúcar, edulcorantes artificiales y stevia en polvo comúnmente adulterada, entre otros.	Existe una planta de procesamiento de yacón que potencia el emprendimiento produciendo edulcorante en polvo e infusión de yacón.
Gran parte de los productores de yacón mantienen el cultivo para consumo propio, o abandonan la actividad por la baja demanda, por lo que la producción de la raíz de yacón es baja, lo que repercute en bajos ingresos económicos para los agricultores.	Aumento de la producción de yacón para cubrir con los requerimientos de materia prima que demanda la planta de procesamiento, incentivando a los productores al cultivo de yacón, obteniendo mayores ingresos económicos.
No existe interés de las autoridades competentes en cuanto al fomento de la producción de cultivos nativos ancestrales de la región.	Existe interés por parte de las autoridades competentes para fomentar la producción de cultivos nativos ancestrales de la región, como el yacón.

Fuente: Elaboración propia

### 1.6 Justificación

- Debido a la baja producción y aprovechamiento del yacón, se pretende implementar la planta piloto procesadora de 80 kg/día de yacón, para generar mayor valor agregado al mismo, mediante su transformación en productos

derivados, para prolongar el tiempo de vida útil del yacón, incentivando así a aumentar el cultivo de esta raíz, generando mayores ingresos económicos y fuentes de trabajo para las familias productoras de las comunidades y coadyuvando a que tengan una mejor calidad de vida.

- Actualmente, se puede observar un bajo conocimiento de las propiedades que posee la raíz de yacón, desaprovechando el potencial de transformación que posee, por lo cual, mediante el presente proyecto se desea dar una referencia de los aspectos de ingeniería de proyecto para poder generar mayor información e investigación.
- Considerando que una parte de la población de la ciudad de Tarija padece diabetes, además de que se observa una tendencia de las personas a llevar una alimentación más saludable, se pretende brindar al mercado productos alimenticios más naturales, saludables, nutritivos, funcionales, de bajo índice glucémico y de bajo índice calórico mediante el presente proyecto de implementación de una planta procesadora de yacón que obtendrá como productos edulcorante en polvo e infusión, con perspectiva a ampliar la variedad de productos y aumentar la capacidad de producción de la planta de procesamiento.
- Al promover el cultivo orgánico de yacón, el cual es una raíz nativa de la región se contribuye a la conservación de recursos genéticos de Bolivia, favoreciendo al uso y propagación de la biodiversidad y se contrapone al monocultivo asociado a la utilización indiscriminada de pesticidas y transgénicos. Lo cual se integra con la homogenización y privatización de semillas, a la vez pudiendo repercutir en la erosión del suelo, pérdida de recursos genéticos y degradación del ecosistema, por lo que se desea potenciar el aprovechamiento de la raíz de yacón.

### **1.7 Planteamiento del problema**

Debido a la baja producción de yacón en el departamento de Tarija, así como a los bajos ingresos económicos en las familias productoras, se desea realizar el presente trabajo de ingeniería de proyecto, para poder generar mayor valor agregado al yacón a través de la transformación e industrialización del mismo, determinando los



requerimientos técnicos, costos de inversión y producción para la implementación de la planta piloto procesadora de yacón en la ciudad de Tarija; aprovechando de esta manera las propiedades nutricionales y funcionales que posee, puesto que se observa un bajo consumo y aprovechamiento de esta raíz, incentivando así al aumento del cultivo de yacón, generando mayores fuentes de trabajo e ingresos económicos, tanto para las familias productoras, así como para el sector agroindustrial a través de la obtención de productos derivados de yacón.

## **1.8 Objetivos**

Con el presente trabajo de ingeniería de proyecto para la implementación de la planta piloto procesadora de yacón en la ciudad de Tarija, se pretende alcanzar los siguientes objetivos.

### **1.8.1 Objetivo general**

- Aplicar la ingeniería de proyecto determinando los requerimientos técnicos, costos de inversión y producción para la implementación de la planta piloto procesadora de yacón en la ciudad Tarija.

### **1.8.2 Objetivos específicos**

- Definir la capacidad de producción de la planta piloto procesadora de yacón para su óptimo dimensionamiento.
- Determinar los procesos de producción óptimos, requerimientos de materia prima e insumos para realizar el balance de materia del proceso productivo.
- Establecer el requerimiento de maquinaria y equipos necesarios para definir la distribución de procesos y equipos de la planta piloto procesadora de yacón.
- Determinar los costos de inversión y producción para determinar el capital de inversión y presupuesto requerido para poner en funcionamiento la planta procesadora de yacón.

## 1.9 Formulación de la matriz de marco lógico

En la tabla 1.3, se presenta la matriz de marco lógico estableciendo las pautas para el desarrollo, seguimiento y evaluación del trabajo de ingeniería de proyecto para la implementación de la planta piloto procesadora de yacón en la ciudad de Tarija.

**Tabla 1.3**

*Matriz de marco lógico para la implementación de la planta piloto procesadora de yacón*

		Objetivos	Indicadores	Medios de verificación	Supuestos
	<b>Fin</b>	Promover la industrialización y consumo del yacón y productos derivados en la ciudad de Tarija.	Monto de ventas de anuales totales de productos derivados de yacón en la ciudad de Tarija.	Registro de ventas anuales de productos derivados de yacón en la ciudad de Tarija.	La población tarijeña consume habitualmente productos derivados de yacón.
	<b>Propósito</b>	Aplicar la ingeniería de proyecto para la implementación de una planta piloto procesadora de yacón en la ciudad Tarija.	Porcentaje de ejecución del proyecto en base al cronograma establecido.	Documento de toda la información acerca de la ingeniería de proyecto para implementar la planta piloto procesadora de yacón.	La ingeniería de proyecto de la planta esta correctamente elaborada.
<b>Componentes</b>	<b>1</b>	Determinar el tamaño de la planta procesadora de yacón.	Cantidad de materia prima a procesar por día.	Documento con información acerca de la capacidad de producción de la planta.	El tamaño de la planta es adecuado a la disponibilidad de yacón en Tarija.
	<b>2</b>	Definir el proceso óptimo para la elaboración de edulcorante en polvo e infusión de yacón.	Balance de materia de la obtención del edulcorante en polvo e infusión de yacón.	Documento de descripción de los procesos de producción, balance de materia y requerimientos de materia prima e insumos.	Los productos elaborados son nutritivos, inocuos y de alta calidad.
	<b>3</b>	Establecer los requerimientos maquinaria, equipamiento, personal, servicios básicos y otros.	Porcentaje de avance en la descripción de requerimientos de maquinaria, equipos, personal, servicios básicos y otros según cronograma.	Documento de información de las especificaciones del equipamiento, requerimiento de personal, servicios básicos y otros.	Los requerimientos y distribución de áreas, equipamiento, servicios básicos, personal y otros, son adecuados para el buen funcionamiento de la planta.
	<b>4</b>	Determinar los costos de inversión y producción de la ingeniería de proyecto.	Costos de inversión de activos fijos y costos de producción de productos terminados.	Documentos de detalle de los costos de inversión y producción de la planta.	El capital de inversión y el costo unitario de los productos son aceptables.

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 1.3 (Continuación)**

*Matriz de marco lógico para la implementación de la planta piloto procesadora de yacón*

	<b>Objetivos</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Medios de verificación</b>	<b>Supuestos</b>
<b>Actividades</b>	<b>Del componente 1</b>			
	Investigar la producción y destino de uso del yacón en el departamento de Tarija.	Valores de producción de yacón por municipio en el departamento de Tarija.	Base de datos de información sistematizada del INE.	Existe datos acerca de la producción de yacón en el departamento de Tarija.
	<b>Del componente 2</b>			
	Seleccionar y describir el proceso más adecuado de elaboración de edulcorante en polvo e infusión de yacón.	Nivel de progreso en la descripción de los procesos de elaboración de los productos.	Documento de la descripción de los procesos de elaboración del edulcorante en polvo e infusión.	Los procesos de elaboración de los productos permiten obtener productos nutritivos, inocuos y de alta calidad.
	<b>Del componente 3</b>			
	Definir las especificaciones de la maquinaria, equipamiento, personal, servicios básicos y otros.	Nivel de avance de la recopilación de las especificaciones de la maquinaria, equipamiento, personal, servicios básicos y otros.	Documento del detalle de las de especificaciones de la maquinaria, equipamiento, personal, servicios básicos y otros.	La disposición de la maquinaria, equipamiento, personal, servicios básicos y otros satisfacen los requerimientos establecidos.
<b>Del componente 4</b>				
Calcular el costo de inversión de la ingeniería de proyecto y el costo de producción de los productos.	Costos de inversión y costos de producción para la obtención de edulcorante e infusión de yacón.	Documento del cálculo del costo de inversión y producción en la planta.	Los costos de inversión y producción determinados son aceptables.	

Fuente: Elaboración propia

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## **2.1 Origen de los edulcorantes**

Durán et al. (2013) indica que “a fines del siglo XVII se decía que el azúcar era responsable de provocar un gran número de enfermedades y surgió la necesidad de buscar un aditivo que pudiera sustituir el azúcar de los alimentos” (pág. 309).

Si bien la mayoría de los edulcorantes bajos en calorías existen desde hace más de treinta años, todos son objeto de estudios en detalle por parte de las autoridades competentes en materia de seguridad alimentaria, considerando si su consumo regular puede afectar la salud humana, cual es la cantidad máxima que podemos tomar, siendo poco a poco aprobados para ser consumidos por el hombre. (Torresani, 2018)

Como lo menciona Alonso (2010) “se debe tener en cuenta que la sacarosa no es considerada un aditivo; para los expertos es un alimento, igual que la fructosa, la lactosa y la miel” (pág. 5).

Las empresas se han propuesto reducir estratégicamente el contenido de azúcar de sus productos, a través de nuevas combinaciones de tecnologías innovadoras y edulcorantes. Con el advenimiento de la cultura ecológica y la prevención de enfermedades, la tendencia mundial es disminuir o reemplazar por productos naturales los endulzantes artificiales utilizados en la industria alimentaria, como ser los edulcorantes naturales como la Stevia, el Luo Han Guo, yacón, entre otros abren paso a una mayor innovación. (Sanchez, 2014)

## **2.2 Definición de edulcorante**

El término edulcorante, hace referencia a aquel aditivo alimentario que es capaz de mimetizar el efecto dulce del azúcar y que, habitualmente, aporta menor energía. Algunos de ellos son extractos naturales mientras que otros son sintéticos, en este último caso se denominan edulcorantes artificiales. (García et al., 2013)

### **2.3 Funciones y usos de los edulcorantes**

Los edulcorantes se emplean para reemplazar total o parcialmente el azúcar, además muchos poseen un mayor poder endulzante que la sacarosa (30 a 300 veces) y son más económicos. Asimismo, pueden contribuir al control de peso o de glucosa en sangre. (Durán et al., 2013)

Además del interés en la salud, otra finalidad de utilizar sustitutos del azúcar está centrada también a un interés tecnológico, debido a determinadas propiedades que le otorgan al producto alimenticio, tales como cuerpo, efecto de enfriamiento o sensación de frío en el paladar (“cooling effect”), o también el control de la humedad o higroscopicidad en caso de preservación de alimentos. (Torresani, 2018)

En la industria, pensando en las características de estructura y palatabilidad de un producto, no basta con sustituir el sabor dulce del azúcar, sino que también se debe buscar que el sustituto sea agente de cuerpo (“bulking agents”), los cuales proveen la masa y el volumen del azúcar. Dentro de este grupo hay algunos que son nutritivos tales como los polialcoholes y otros que pueden tener un contenido calórico inferior, como la polidextrosa, la inulina y los fructooligosacáridos (FOS). (Torresani, 2018)

Para que la industria alimentaria los utilice, los edulcorantes deben cumplir con determinados requisitos. Deben ser absolutamente inocuos, su sabor dulce debe percibirse y desaparecer rápidamente, además de ser muy parecido al del azúcar común, sin regustos, y resistir las condiciones del alimento en el que se va a utilizar, así como los tratamientos a los que se vaya a someter. (Torresani, 2018)

De acuerdo a Alonso (2010) el edulcorante ideal debe poseer como características un alto grado edulcorante, sabor agradable sin gusto amargo, sin color ni olor, solubilizarse rápidamente, ser estable, funcional y económico, no ser tóxico, no provocar caries dentales y ser metabolizado o excretado normalmente. Uno de los temas de factibilidad de registro para los edulcorantes se basa en su dulzor o “índice de

dulzor”, el cual se calcula en relación a la sacarosa, de valor 1. En tanto el sabor se calcula como sabor residual (el que deja en la boca).

## **2.4 Clasificación de los edulcorantes**

La clasificación de los edulcorantes no está regulada y, por tanto, es difícil encontrar una sola definición; sin embargo, la mayoría de las clasificaciones que la literatura científica maneja, coincide en dos factores comunes: el contenido calórico que aportan en el consumo y el origen del propio edulcorante. (Santillán et al., 2017)

Según Sanchez (2014) los edulcorantes se pueden clasificar de diferente manera de acuerdo a lo siguiente:

- Por su origen: naturales y artificiales.
- Por su estructura: carbohidratos, alcoholes polihídricos, glucósidos, proteínas y otros.
- Por su valor nutritivo: nutritivos y no nutritivos.
- Por su valor calórico: dietéticos y no dietéticos.

En la tabla 2.1, se muestran las clasificaciones más comunes en función a su contenido calórico (calóricos y no calóricos), y origen (natural y artificial).

**Tabla 2.1***Clasificación de los edulcorantes por su origen y contenido calórico*

Calóricos	Naturales	Azúcares	Sacarosa, glucosa, dextrosa, fructosa, lactosa, maltosa, galactosa, trehalosa, tagatosa
		Edulcorantes naturales	Miel, jarabe de arce, azúcar de palma o de coco, jarabe de sorgo, jarabe de yacon, inulina, fructooligosacáridos (FOS)
	Artificiales	Azúcares modificados	Jarabe de maíz de alta fructosa, caramelo, azúcar invertido
		Alcoholes de azúcar	Sorbitol, xilitol, manitol, eritritol, maltitol, isomaltulosa, lactitol, glicerol
Acalóricos	Naturales	Edulcorantes naturales sin calorías	Luo Han Guo, stevia, taumatina, pentadina, monelina, brazzeína
	Artificiales	Edulcorantes artificiales	Aspartamo, sucralosa, sacarina, neotamo, acesulfame K, ciclamato, neohesperidina DC, alitamo, advantamo

Fuente: García et al., 2013

## 2.5 Descripción de la materia prima para la obtención de edulcorante en polvo e infusión

La materia prima que se empleará en la planta procesadora para la obtención del edulcorante en polvo e infusión es la raíz de yacón.

### 2.5.1 Yacón

El yacón *Smallanthus sonchifolius*, es una planta perenne de 1,5 a 3 metros de altura. El sistema radicular está compuesto de raíces reservantes y carnosas en número de 4 a 20, que pueden alcanzar hasta un tamaño de 25 cm longitud por 10 cm de diámetro, y un sistema extensivo de delgadas raíces fibrosas. (IBNORCA, 2010)

En quechua se le conoce como yacón, llakuma o yakuma; en aimara se llama aricoma o arizona; en inglés, yacon, yacon strawberry o jiquima; en francés, poir de terre cochet; en alemán, erdbirne; en italiano, polimnia; en español, yacón, jacón, llacón, lajuash, llamón, arizona, arboloco, puhe, jícama (no es la jícama comercial), jíkima, jiquimilla, lacjon o yacuma. (Machuca, 2013)



### **2.5.2 Cultivo del yacón**

El yacón se puede cultivar todo el año donde no hay presencia de heladas o donde estas ocurren al final del cultivo. Sin embargo, se recomienda sembrar a inicios de las precipitaciones pluviales, también se lo siembra junto con el maíz; para cosecharlo junto con este. (Machuca, 2013)

“El ciclo biológico de producción del yacón tiene un periodo que oscila entre los diez y los doce meses, es decir que estamos hablando de un producto de una sola cosecha al año” (Sarmiento et al., 2017. Pág. 43).

La producción de yacón en el departamento de Tarija es totalmente natural, sin pesticidas ni fertilizantes químicos, el único fertilizante utilizado es el abono de estiércol de ganado. La época de siembra cubre desde el mes de octubre hasta mediados de diciembre, y en la mayoría de los casos los productores lo siembran más para su propio consumo que para su venta en los diferentes mercados. (Soto, 2008)

De acuerdo a Machuca (2013) la cosecha se realiza cuando las plantas han alcanzado 95% de maduración y el follaje empieza a secar en forma total, lo que toma entre seis y diez meses, generalmente entre mayo o junio, en función de la zona donde se cultiva, pues en las zonas bajas se adelanta la cosecha.

La cosecha del yacón en Tarija comienza desde el mes de mayo hasta el mes de julio y en otras zonas de junio a septiembre; la conservación de la raíz en la zona luego de su cosecha se realiza en las Phinas, agujeros en la tierra donde el yacón se coloca entre capas de paja, evitando por este medio natural la deshidratación de la raíz y una mayor conservación por al menos 2 o 3 meses más. (Willys, 2009)

Para el consumo en fresco las raíces se exponen al sol por algunos días (tres a ocho) para aumentar su dulzor. Para almacenamiento por un periodo largo, las raíces se colocan en cuartos fríos (4 °C), oscuros y secos. Bajo estas condiciones las raíces del yacón pueden guardarse por algunos meses. (Machuca, 2013)

Según Machuca (2013) es una práctica común solear las raíces de yacón para aumentar su sabor dulce y hacerlo más agradable; sin embargo, desde el punto de vista medicinal es mejor no solearlo porque, el yacón tiene la más alta concentración de fructanos (carbohidratos de bajo índice glucémico) luego de la cosecha y, si se expone al sol, estos se descomponen y se transforman en azúcares, por lo tanto, disminuye su efecto medicinal.

El yacón es un cultivo cuyo procesamiento requiere de muchos cuidados, ya que existen variedades que luego de pelarse se oscurecen u oxidan rápidamente, para contrarrestar este proceso se utiliza unas gotas de limón, aunque algunas variedades no se pardean ni negrean y mantienen su color, son esas las variedades que deben difundirse y propagarse para obtener productos transformados de calidad. (Machuca, 2013)

### **2.5.3 Variedades de yacón**

Existe una rica diversidad de variedades de aricoma, según Huaycho et al. (2016) se tiene las siguientes variedades: “Aricoma Blanca, Aricoma Amarilla, Aricoma Roja, Aricoma Morada y Aricoma Ch´ixi” (pág. 163). Con referencia a las variedades en Tarija, se tiene mayoritariamente el yacón blanco y amarillo. En la tabla 2.2, se muestran las características de las variedades de yacón.

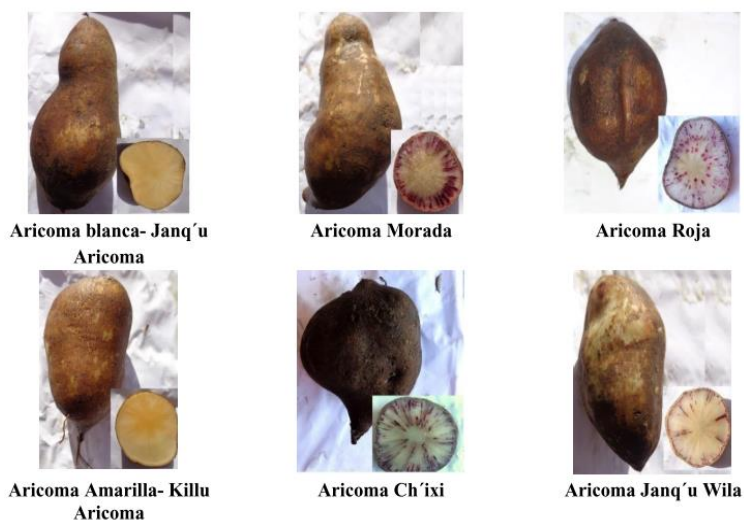
Tabla 2.2

## Variedades de yacón

Variedad	Color de la superficie	Color de la pulpa	Datos etnobotánicos
Yacón amarillo (q'illu aricama)	Grisáceo naranja	Amarillo intenso	Presenta un olor leve, el color de la pulpa de la raíz es de color amarillo, presenta un sabor intenso y dulce cuando está fresco.
Janko aricama	Blanco grisáceo	Amarillo blanquecino	No presenta olor, cuando está fresco no es tan dulce, lo cual se debe secar la al sol para que el contenido de dulzor aumente y sea más agradable para el consumo
Yacón blanco	Grisáceo	Amarillo blanquecino	No presenta olor cuando está fresco no es tan dulce para el consumo directo, pero al secarlo al sol (k'awichar) aumenta el dulzor para su consumo.
Yacón rojo	Rojo purpura intenso	Amarillo blanquecino con moteaduras violetas	No presenta olor, el color de la pulpa de la raíz es de color blanquecino con moteaduras purpuras. Cuando está fresco es de sabor dulce y más cuando se lo seca al sol.
Yacón morado (kulli aricama)	Purpura naranja intenso	Amarillo blanquecino con moteaduras color violeta en las partes laterales de la pulpa.	Presenta un olor muy fuerte, el color de la pulpa de la raíz es de color blanco con manchas moradas es dulce cuando está fresco y cuando se lo seca al sol.
Yacón Chixi	Naranja purpura intenso	Amarillo blanquecino con moteaduras color violeta distribuida de forma radial	Presenta un olor leve en la pulpa de la raíz, es blanco con manchas largas de color morado. Fresco es muy dulce para el consumo directo

Fuente: LATINCROP, 2017

En la figura 2.1, se muestra las diferentes variedades de yacón.



Fuente: Huaycho et al., 2016.

**Figura 2.1.** Variedades de yacón.

#### **2.5.4 Distribución geográfica del cultivo de yacón**

Según Machuca (2013) el yacón es cultivado en muchas localidades aisladas a través de los andes sudamericanos, desde Ecuador hasta el noroeste argentino incluyendo Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y las provincias de Salta y Jujuy en Argentina. En las últimas tres décadas su cultivo se ha extendido a otros continentes, existiendo reportes de ello en Estados Unidos, Nueva Zelanda, Japón, Corea, Brasil, República Checa e Inglaterra.

De acuerdo a Callisaya (2016) “en Bolivia, el yacón crece alrededor de los 2000 a 2500 m.s.n.m., con alturas máximas de 3600 m.s.n.m., en las cabeceras del valle del norte de La Paz, en Cochabamba, Chuquisaca, Potosí, Tarija y valles mesotérmicos de Santa Cruz” (pág. 4). El yacón es una planta nativa domesticada en los andes; crece en forma silvestre, prospera en la alta montaña y tierras bajas, posee amplia adaptabilidad a diferentes zonas húmedas, suelos y climas como a los valles cálidos y zonas altiplánicas.

En el departamento de Tarija se produce yacón en la serranía El Condor en las provincias de Méndez, Cercado, O'Connor y Avilés, en las comunidades de Canaletas, Piedra Larga, Entre Ríos, San Agustín, Ladera Centro, Erquis, Cieniguillas, Papachacra, entre otras.

#### **2.5.5 Características fisicoquímicas del yacón**

El yacón es una de las raíces comestibles con mayor contenido de agua, representado entre el 83 y 90 por ciento del peso fresco de las raíces. El mineral más abundante es el potasio, en promedio 230 mg/100 g de materia fresca comestible. En mucho menor cantidad se encuentra el calcio, fósforo, magnesio, sodio y hierro. En cuanto al contenido de proteínas, lípidos y vitaminas es bastante bajo. (Kina, 2016)

Los carbohidratos representan alrededor del 90 por ciento del peso seco de las raíces recién cosechadas, de los cuales entre el 50 y 70 por ciento son fructooligosacáridos (FOS). El resto de carbohidratos lo conforman la sacarosa, fructosa y glucosa. Sin

embargo, la composición varía significativamente dependiendo de factores tales como el cultivar, la temporada de cultivo y de cosecha, y la temperatura en post-cosecha del yacón. (Kina, 2016)

Según Kina (2016) se reportaron una cantidad considerable de compuestos fenólicos en las raíces de yacón equivalente al 3,8% del peso seco de las mismas. Entre los principales antioxidantes presentes en las raíces de yacón se encuentran el ácido clorogénico, ferúlico, gálico, gentísico y cafeico.

En la tabla 2.3, se muestra la composición fisicoquímica por 100g de yacón comestible.

**Tabla 2.3**

*Composición fisicoquímica del yacón*

<b>Componente</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Agua	g	86,60
Energía	kcal	54,00
Carbohidratos	g	12,50
Fibra	g	0,50
Niacina	mg	0,34
Proteínas	g	0,30
Grasas	g	0,30
Ceniza	g	0,30
Calcio	mg	23,00
Fósforo	mg	21,00
Hierro	mg	0,30
Ácido ascórbico	mg	13,10
Retinol	mcg	12,00
Rivoflavina	mg	0,11
Tiamina	mg	0,02

Fuente: Machuca, 2013

En la tabla 2.4, se muestra la composición relativa de carbohidratos que posee el yacón.

**Tabla 2.4**

*Composición relativa de carbohidratos en el yacón*

<b>Carbohidratos</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Valor calorico</b>
FOS	70	1,0-1,5
Sacarosa	15	4,0
Fructosa	10	4,0
Glucosa	5	4,0

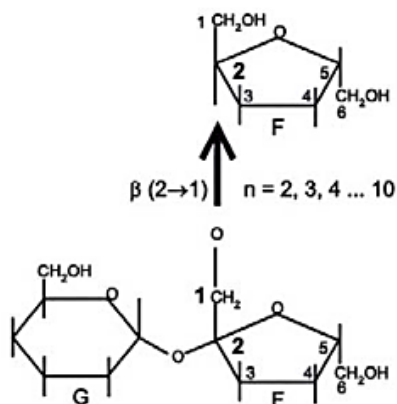
Fuente: Machuca, 2013

Debido a que la raíz de yacón contiene en mayor proporción carbohidratos del tipo fructooligosacáridos (FOS) y a que las propiedades benéficas del yacón para la salud humana se deben principalmente a este compuesto, en los siguientes párrafos se describirá más detalladamente a los mismos.

### 2.5.6 Fructooligosacáridos (FOS) en el yacón

El yacón, a diferencia de la mayoría de tubérculos y raíces que almacenan sus carbohidratos en forma de almidón, este almacena principalmente fructooligosacáridos (FOS), un tipo especial de azúcares con atributos enormemente beneficiosos para la salud humana. Esto significa que los FOS son azúcares que tienen pocas calorías y no elevan el nivel de glucosa en la sangre. (Seminario et al., 2003)

Los FOS, también denominados oligofructanos u oligofructosa, pertenecen a una clase particular de azúcares conocidos con el nombre de fructanos, cuya estructura fundamental es un esqueleto de unidades de fructosa unidas entre sí por enlaces glucosídicos  $\beta$  (2-1) y/o  $\beta$  (2-6), como se muestra en la figura 2.2, característica que lo define como oligosacáridos no digestibles (OND), al inicio de la cadena de fructano es frecuente encontrar una molécula de glucosa. Los fructanos no pueden ser degradados por las enzimas digestivas humanas, ya que, estas enzimas degradan específicamente uniones  $\alpha$ -glucosídicas. (Machuca, 2013)



Fuente: Kina, 2016.

**Figura 2.2.** Estructura Química de los FOS. G=glucosa, F=Fructosa, n=número de moléculas de fructosa.

### **2.5.6.1 Diferencia entre inulina y fructooligosacáridos (FOS)**

Ohyama et al. (1990) demostraron que en realidad las raíces contienen FOS. A pesar de ello, muchos artículos científicos, revistas, entre otros, mencionan que las raíces de yacón contienen inulina, debido a que la National Research Council (1989) mencionó que las raíces de yacón contienen inulina. (Kina, 2016)

La diferencia entre los FOS y la inulina radica en el número de moléculas de fructosa que tienen estas cadenas. En la inulina, este número varía entre 2 y 60, mientras que, en los FOS, el número varía entre 2 y 10. Esto significa que a los FOS se les puede considerar como un subgrupo de la inulina. Por este motivo algunos autores prefieren emplear el término fructooligosacáridos del tipo inulina para referirse a los azúcares presentes en el yacón. (Seminario et al., 2003)

Seminario et al., (2003) indica que es importante distinguir claramente la diferencia que existe entre los conceptos de inulina y FOS, ya que las propiedades físicas y sus aplicaciones en procesos de la industria alimentaria son bastante diferentes. La inulina casi no tiene sabor dulce, su consistencia especial y su baja solubilidad relativa en agua la convierten en un sustituto excelente de la grasa para la elaboración de varios alimentos, como helados y postres. Los FOS en cambio son muy solubles en agua, tienen un ligero sabor dulce (entre 30 a 50% del poder edulcorante de la sacarosa) y eventualmente pueden ser utilizados como sustitutos hipocalóricos del azúcar común.

### **2.5.6.2 Propiedades fisicoquímicas de los fructooligosacáridos (FOS) en el yacón**

De acuerdo a Kina (2016) los FOS son totalmente solubles en agua y son muy estables en un rango de pH de 4. a 7.0, así también son estables a temperaturas de refrigeración. Estas propiedades hacen que los oligosacáridos puedan usarse para alterar la temperatura de congelación de los alimentos y controlar la intensidad de caramelización en las comidas preparadas debido a reacciones de Maillard.

Asimismo, los FOS son altamente higroscópicos y su capacidad de retención de agua es mayor que la de la sacarosa e igual a la del sorbitol. Además, la viscosidad de una solución de FOS es relativamente mayor que una de sacarosa a la misma concentración debido a mayor peso molecular de estos compuestos, lo que hace que aumente su viscosidad, mejorando el cuerpo y la textura. (Kina, 2016)

En cuanto al poder edulcorante de los FOS oscila de 0.3 – 0.6 veces al de la sacarosa, dependiendo de la estructura química y el grado de polimerización de los oligosacáridos. El poder edulcorante disminuye con la longitud de la cadena de oligosacáridos. Además, proporcionan solo la cuarta parte del valor calórico de los carbohidratos comunes. (Kina, 2016)

En la tabla 2.5, se muestra valor calórico y el poder edulcorante de los fructooligosacáridos.

**Tabla 2.5**

*Valor calórico y poder edulcorante de los FOS y otros edulcorantes*

	<b>Origen</b>	<b>Calorías (kcal/g)</b>	<b>Poder edulcorante (*)</b>
FOS	Natural	1,0 – 1,5	0,3 – 0,6
Glucosa	Natural	4,0	0,7
Fructosa	Natural	4,0	1,7
Sacarosa	Natural	4,0	1,0
Esteviósidos	Natural	0,0	30,0 – 320,0
Aspartame	Sintético	0,0	200,0
Sacarina	Sintético	0,0	300,0 – 500,0
Sucralosa	Sintético	0,0	600,0

\*Con la finalidad de comparación, se asigna el valor de uno al poder edulcorante de la sacarosa o azúcar de mesa.

Fuente: Seminario et al., 2003

Cabe mencionar que de acuerdo a Eenfeldt (2021) el poder edulcorante del jarabe de yacón como tal, es de 0.75, pudiendo el edulcorante en polvo de yacón llegar a tener un poder edulcorante igual a 1, es decir, igual al del azúcar de mesa.



### 2.5.6.3 Propiedades de los fructooligosacáridos (FOS)

El carbohidrato que se encuentra en la raíz de yacón en mayor proporción y el que se debe las propiedades beneficiosas que posee, son los fructooligosacáridos (FOS).

Las propiedades de los fructooligosacáridos son:

- a) **Microflora intestinal y efecto prebiótico.** Diferentes estudios realizados en humanos y en animales de laboratorio han demostrado que el consumo de FOS mejora la salud del tracto gastrointestinal. Los FOS resisten la digestión en el tracto gastrointestinal superior y es fermentada en el colon por un grupo de bacterias de la microflora intestinal. Aumenta la biomasa fecal y el contenido de agua en las heces, mejorando así los hábitos intestinales. (Manrique & Hermann, 2003)
- b) **Diabetes, obesidad y sobrepeso.** “Debido a su baja digestibilidad posee un reducido contenido calórico, su consumo es recomendado como sustituto del azúcar común, pudiendo ayudar a bajar de peso, asimismo, no eleva la concentración de glucosa en la sangre” (Manrique & Hermann, 2003. Pág. 3).
- c) **Mejora de la absorción de minerales (calcio y magnesio).** “Los ensayos clínicos realizados en humanos más recientes muestran que los FOS generan un efecto favorable en la asimilación de calcio” (Manrique & Hermann, 2003. Pág. 3).
- d) **Cáncer de colon y fortalecimiento del sistema inmunológico.** “Existen pocos estudios realizados en humanos, pero dos estudios preliminares realizados por un equipo de investigadores de Japón sugieren que los FOS podrían ser útiles en el futuro para prevenir y tratar el cáncer de colon” (Kina, 2016. Pág. 13).

“En cuanto al fortalecimiento del sistema inmunológico se debería a que la microflora intestinal juega un rol importante en la modulación y en la capacidad de respuesta de este sistema” (Manrique & Hermann, 2003. Pág. 3).

- e) **Estreñimiento.** Dosis elevadas de consumo de FOS (superior a 30 g/día) pueden generar efectos laxantes en ciertas ocasiones. La mayor parte de la población tolera bien los FOS, pero un pequeño porcentaje manifiesta efectos indeseables como flatulencia, presión abdominal y a veces diarreas que se van atenuando en la mayoría de los casos conforme el organismo se va acostumbrando al consumo de FOS. (Manrique & Hermann, 2003)

#### **2.5.6.4 Aplicaciones de los FOS en la industria alimentaria**

Los FOS se pueden aplicar en la industria alimentaria como: sustitutos de azúcares, sustitutos de grasas (helados, embutidos), fibra, prebióticos; también se ha reportado su uso como ingrediente de mayonesas ligeras, quesos bajos en calorías, productos de pastelería y panificación, contribuyendo a la reducción del contenido calórico y a la retención de agua; su adicción a las formulaciones de helado para evitar la formación de cristales de hielo; su empleo como emulgentes en la fabricación de margarinas; y en general, para modificar la textura o cremosidad de algunos alimentos son algunas de sus aplicaciones en la industria de alimentos. (Kina, 2016)

#### **2.5.6.5 Ingesta diaria admisible de fructooligosacáridos (FOS)**

Debido a que el edulcorante en polvo que se plantea obtener en el presente proyecto está compuesto principalmente por fructooligosacáridos (FOS), es importante conocer la ingesta diaria admisible de este compuesto en los humanos.

Según Kina (2016) no existe evidencia experimental alguna que indique que los FOS presentan algún grado de toxicidad, sin importar la cantidad ingerida como parte de la dieta; aunque en algunas personas se ha detectado que ingestas por encima de los 10 gramos diarios pueden llegar a producir un ligero malestar. Ingestas inusualmente altas pueden causar diarrea debido a una retención osmótica de fluidos tanto en el intestino grueso como en el intestino delgado.

Kina (2016) indica que “la máxima dosis que no causa diarrea en humanos es 0,3 y 0,4 g/kg de peso corporal en hombres y mujeres, respectivamente” (pág. 14).

### **2.5.7 Características microbiológicas del yacón**

Callisaya (2016) menciona que entre las bacterias y hongos que han sido citados porque afectan los órganos subterráneos y los tallos del yacón se encuentran: el *Fusarium sp.* y la *Erwinia chrysanthemi*, estos han sido identificados como los factores causales del marchitado del yacón, por otra parte la *Sclerotinia* causa una leve pudrición de las raíces tuberosas en Perú, que aun en Bolivia no está identificado.

### **2.5.8 Beneficios del yacón**

Estudios preliminares sugieren que el yacón tiene un índice glicémico (rapidez con la que los niveles de glucosa suben en la sangre) bajo. Estas características hacen que el yacón sea un alimento alternativo en la dieta de los diabéticos y que pueda usarse para combatir la obesidad y el sobrepeso. Además, el alto contenido en agua y fibra soluble de las raíces, aparte de contribuir a saciar el hambre, puede ayudar a corregir el estreñimiento. (Manrique & Hermann, 2003)

Seminario et al. (2003) indica que la mayoría de las propiedades atribuidas al yacón que están relacionadas a los FOS han sido comprobadas sólo en roedores (ratas y hamsters). Se ha realizado muy poca investigación acerca del efecto del yacón sobre la salud humana. Casi toda la evidencia asociada a los efectos promisorios que el yacón puede tener sobre las personas es indirecta, proviene de estudios realizados con fructanos (FOS e inulina) purificados de la achicoria.

Asimismo, Manrique & Hermann (2003) menciona que “diversos estudios realizados en animales de laboratorio demuestran que los FOS reducen el nivel de lípidos en la sangre, mejoran la asimilación de calcio, previenen el cáncer de colon, fortalecen el sistema inmunológico y mejoran la función gastrointestinal” (pág. 4).

Sin embargo, de acuerdo a Seminario et al. (2003), quien indica que “la evidencia científica disponible sustenta el reconocimiento de los FOS como fibra dietética y como prebióticos. Un prebiótico se define como un alimento no digerible que afecta favorablemente la salud del hospedador (es decir, del consumidor)” (pág. 27).

Los FOS contenidos en el yacón pasan al intestino grueso sin metabolizarse, donde estimulan en forma selectiva el crecimiento de las poblaciones de bacterias benéficas, como las bífidas, las cuales tienen una acción prebiótica, por lo que mejoran el balance intestinal. Estas bacterias favorecen la producción del complejo de la vitamina B y el ácido fólico e inhiben el crecimiento de microorganismos patógenos, incluyendo *Salmonella*, *Shiguella*, *Stafilococcus* y *Candida*. Los FOS, al ser utilizados como una molécula fermentable por la flora intestinal, permiten una disminución en el pH del colon, el incremento de la solubilidad de numerosos compuestos minerales, la disminución de toxinas y, en consecuencia, disminuyen el riesgo de que se produzca un cáncer al colon. Las bacterias bífidas también pueden aliviar la hiperlipemia, es decir, el incremento de grasas en la sangre (colesterol y triglicéridos). (Machuca, 2013)

Por otra parte, en las hojas del yacón existe un principio activo que genera un efecto hipoglicemiante en ratas diabéticas. Aunque se desconoce la naturaleza exacta del principio activo, se sabe que actúa mejorando la concentración de insulina en la sangre. Se ha sugerido que los sesquiterpenos podrían ser responsables de dicho efecto. (Manrique & Hermann, 2003)

Asimismo, el yacón tiene propiedades que contribuyen a la preservación de una piel sana. Se ha descubierto la presencia de compuestos polifenólicos que actúan como antioxidantes, los cuales son transformados en derivados quinónicos que bloquean la formación de melanina, lo que contribuye a la atenuación de las manchas en la piel. (Machuca, 2013)

### **2.5.9 Aplicaciones y usos del yacón**

Según Machuca (2013) se tienen los siguientes usos y aplicaciones del yacón:

- **Consumo directo.** La raíz fresca de yacón es consumida como fruta, también se puede consumir horneado o cocido. El jugo de la raíz sirve como bebida refrescante. Las hojas son comestibles y tienen un alto contenido de proteínas.
- **Medicinal.** Su jugo es recomendable para el reumatismo y los dolores musculares. El té de las hojas se utiliza contra el estrés.
- **Cosmética.** Se aprovecha las vitaminas y los antioxidantes del yacón para elaborar cremas, protectores de rayos solares y bronceador.
- **Forraje.** Las hojas y las raíces sirven como alimento para el ganado. Se debe recordar que las hojas contienen hasta 17% de proteínas. Algunos clones de yacón pueden contener sesquiterpene lactones en las hojas, lo cual limitaría su uso como alimento forrajero. No obstante, se usan en etnoveterinaria como antidiarreico y antimicrobiano.
- **Potencial agronómico.** Su potencial es muy grande, pues el yacón sirve además como protector de suelos por su capacidad de mantenerse como especie perenne, especialmente en zonas agroecológicas áridas.
- **Industria alimentaria.** De acuerdo con Kina (2016) y Machuca (2013) se tiene diferentes usos y aplicaciones del yacón en la industria alimentaria. Se puede emplear como insumo para modificar la textura o la cremosidad de algunos alimentos, para sustituir grasas (en mayonesas y quesos bajos en calorías), reducir el contenido calórico, aumentar la retención de agua (en pastelería, panificación y embutidos) y evitar la formación de cristales (en heladería). En cuanto a productos obtenidos a base de yacón se puede encontrar: rodajas frescas de yacón, infusión de hojas de yacón, infusión de bagazo de yacón, harina de yacón, hojuelas yacón en almíbar, mermelada dietética, jarabe, tabletas y/o cápsulas, pasas, encurtidos, escabeche, néctares, licores, existe además un potencial agroindustrial para la transformación de este azúcar en alcohol, entre otras aplicaciones a través de un proceso artesanal o industrial.

**CAPÍTULO III**

**TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN DE**

**LA PLANTA**

### **3.1 Localización de la planta piloto procesadora de yacón**

Para determinar la ubicación de la planta se evaluó diferentes posibles localizaciones considerando el nivel de producción y disponibilidad de materia prima en las zonas productoras de yacón del departamento de Tarija, teniendo en cuenta diferentes factores a considerar al momento de emplazar una planta de procesamiento, dichos factores se muestran en la tabla 3.3 y tabla 3.4, donde se presenta la matriz de selección de la macro localización y micro localización respectivamente.

#### **3.1.1 Disponibilidad de la materia prima**

La época de siembra en Tarija cubre desde el mes de octubre hasta mediados de diciembre, y en la mayoría de los casos los productores lo siembran más para consumo propio que para su venta en los diferentes mercados. La cosecha del yacón comienza desde el mes de mayo hasta el mes de julio, y en otras zonas de junio a septiembre. (Willys, 2009)

De acuerdo a Sarmiento et al. (2017) “el ciclo biológico de producción del yacón tiene un periodo que oscila entre los diez y los doce meses, es decir, que es un producto de una sola cosecha al año” (pág. 43).

Una ventaja del yacón es su alta productividad, algunos reportes disponibles indican que esta va de diez a cien toneladas por hectárea, aunque el rendimiento promedio oscila entre cuarenta y sesenta toneladas por hectárea. Se puede encontrar que una sola planta puede rendir diez kilogramos de raíces, con pesos de 200 a 500 gramos cada una y puede alcanzar los 2 kg. (Machuca, 2013)

De acuerdo a lo anterior se tomó un rendimiento promedio de 45 t/ha para estimar la producción anual de yacón en el departamento de Tarija.

En la tabla 3.1, se muestra la producción anual de yacón estimada en base al rendimiento promedio de 45 t/ha y a la superficie sembrada en el departamento de Tarija de acuerdo a los datos obtenidos del INE.

**Tabla 3.1**

*Producción anual de yacón en el departamento de Tarija*

Municipio*	Casos*	Superficie sembrada* (ha)	Producción (t)	Producción (kg)
Tarija	8	2,12	95,40	95.400,0
Padcaya	1	0,25	11,25	11.250,0
Villa San Lorenzo	29	7,58	341,10	341.100,0
Uriondo	17	5,00	225,00	225.000,0
Entre Ríos	4	0,90	40,50	40.500,0
<b>Total</b>	59	15,85	713,25	713.250,0

\*Datos obtenidos de INE, 2013

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.2, se detallan algunas zonas productoras de yacón en el departamento de Tarija.

**Tabla 3.2**

*Zonas productoras de yacón en el departamento de Tarija*

Provincia	Municipios	Cantón	Localidad
Cercado	Tarija	Lazareto	San Pedro de Sola
Cercado	Tarija	Lazareto	San Andres
Cercado	Tarija	San Mateo	San Mateo
Cercado	Tarija	San Agustín	Laderas Norte*
Cercado	Tarija	San Agustín	Cristalinas*
Burnet O'Connor	Entre Ríos	Narváez	Canaletas Tranca*
Burnet O'Connor	Entre Ríos	Narváez	Piedra Larga
Burnet O'Connor	Entre Ríos	Salinas	Pampa Redonda
Méndez	San Lorenzo	Erquis	Erquis Ceibal*
Méndez	San Lorenzo	León Cancha	León Cancha
Arce	Padcaya	Camacho	La Huerta
Avilés	Uriondo	Chocloca	Ancon
Avilés	Uriondo	Chocloca	Papachara

\*Cultivado en mayor cantidad, aunque no sobrepasan la ¼ hectárea.

Fuente: Willys, 2009

### 3.1.2 Evaluación y selección de la localización de la planta piloto procesadora de yacón

Para establecer la ubicación ideal de la planta piloto procesadora de yacón, se tomó en cuenta los factores más resaltantes para la toma de la decisión, entre los cuales se



encuentra el factor de cercanía a las materias primas, es el más importante de todos, debido a que se requiere garantizar el continuo y oportuno abastecimiento para lograr los niveles de producción aspirados. (Rodríguez, 2018)

De igual forma, se tomó en cuenta que el rendimiento del producto edulcorante en polvo de yacón es bajo, lo cual implica una demanda alta de materia prima a transportar.

El segundo factor más significativo es la cercanía al mercado meta, el cual está enfocado a las personas que padecen diabetes, personas que quieren bajar de peso y a aquellas personas que presentan una intención potencial por consumir productos saludables de buena calidad.

Por otro lado, es importante conocer si las localidades cuentan con un parque industrial o similar donde se ofrezcan las facilidades técnicas para la operación de la planta, tales como servicio de agua potable, energía eléctrica, gas, mano de obra capacitada, entre otros (Rodríguez, 2018).

Asimismo, es sumamente importante analizar las vías de acceso, sobre todo terrestres pues influye directamente con los costos y tiempo de envío de la materia prima o del producto terminado (Rodríguez, 2018).

Con el objetivo de minimizar los costos de inversión del proyecto, para encontrar una ubicación física adecuada se empleó el método de factores ponderados, ya que es una de las técnicas más completas según Almanza et al. (2014), considerando que toma en cuenta factores cualitativos y cuantitativos, si bien los factores a analizar son cualitativos, en parte tienen una naturaleza cuantitativa, ya que, se da valores numéricos ponderables de acuerdo a la importancia de cada factor. Asimismo, se toma como calificación máxima para cada factor a evaluar el valor de 10 y como calificación mínima el valor de 0.

### 3.1.2.1 Evaluación y selección de la macro localización de la planta piloto procesadora de yacón

En la tabla 3.3, se muestra la matriz de decisión de la macro localización de la planta piloto procesadora de yacón, tomando en cuenta los tres municipios del departamento de Tarija que poseen mayor producción de yacón, cuyas comunidades productoras están ubicadas en el área rural, asimismo, se tomó en cuenta en la respectiva evaluación a la ciudad de Tarija.

**Tabla 3.3**

*Selección de la macro localización de la planta piloto procesadora de yacón*

Factor de macro localización	PO	Alternativas							
		Tarija (área rural)		Tarija (ciudad)		Uriondo		San Lorenzo	
		C	P	C	P	C	P	C	P
1. Cercanía a la materia prima	0,17	8,0	1,36	6,0	1,02	8,5	1,44	9,0	1,53
2. Proximidad a mercados	0,16	6,0	0,96	9,0	1,44	6,0	0,96	6,0	0,96
3. Disponibilidad de servicios básicos (agua, luz, gas)	0,14	6,0	0,84	9,0	1,26	6,0	0,84	6,0	0,84
4. Disponibilidad de mano de obra	0,13	7,0	0,91	9,0	1,17	7,0	0,91	7,0	0,91
5. Costo de transporte (MP, materiales, personal, producto)	0,12	6,0	0,72	8,5	1,02	6,0	0,72	6,0	0,72
6. Servicios de telecomunicación	0,10	7,0	0,70	9,0	0,90	7,0	0,70	7,0	0,70
7. Disponibilidad, costo de terrenos y servicios de construcción	0,09	7,0	0,63	8,0	0,72	7,0	0,63	7,0	0,63
8. Reglamentaciones fiscales y legales no estrictas	0,09	8,5	0,77	7,0	0,63	8,5	0,77	8,5	0,77
<b>Total</b>	1,00	<b>Total</b>	6,89	<b>Total</b>	8,16	<b>Total</b>	6,97	<b>Total</b>	7,06

Nota. PO=Ponderación, C=Calificación, P=Puntaje

Fuente: Elaboración propia

Según los puntajes obtenidos para cada alternativa de macro localización considerada se concluye que la ciudad de Tarija es la zona más factible para la ubicación de la planta piloto de procesamiento de yacón, considerando su ventaja frente a las otras zonas en cuanto a proximidad a los mercados, disponibilidad de agua, electricidad y gas, disponibilidad de mano de obra, costo de transporte de materiales, personal y

productos, servicios de telecomunicación, disponibilidad y costo de servicios de construcción.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente en cuanto a las zonas productoras de yacón, se tomará como zonas de abastecimiento de materia prima para la planta a las comunidades de la provincia Cercado colindantes a la serranía El Condor, como ser Laderas Norte, Laderas Centro, Cristalinas, entre otras, ya que, se tiene conocimiento de que los productores de yacón de estas comunidades son generalmente desatendidos por las autoridades municipales competentes, pudiendo con el presente proyecto apoyar a las familias productoras de yacón.

### **3.1.2.2 Evaluación y selección de la micro localización de la planta piloto procesadora de yacón**

En la tabla 3.4, se muestra la matriz de decisión de la micro localización de la planta piloto procesadora de yacón, tomando en cuenta tres barrios de la ciudad de Tarija, los cuales son: Barrio 3 de Mayo donde se denomina Zona Parque Industrial; Barrio Monte Sud, cuya ubicación se encuentra más lejana al centro de la ciudad en comparación a los otros dos barrios considerados en la presente evaluación; y el Barrio San Jorge 1, donde se encuentran varias industrias de Alimentos.

**Tabla 3.4***Selección de la micro localización de la planta piloto procesadora de yacón*

Factor de micro localización	PO	Alternativas					
		Parque Industrial B/ 3 de Mayo		B/ Monte Sud		B/ San Jorge 1	
		C	P	C	P	C	P
1. Cercanía a la materia prima	0,17	7	1,19	6	1,02	8,0	1,36
2. Proximidad a mercados	0,16	8	1,28	7	1,12	8,0	1,28
3. Disponibilidad de servicios básicos (agua, luz, gas)	0,14	8	1,12	7	0,98	8,0	1,12
4. Disponibilidad de mano de obra	0,13	9	1,17	9	1,17	9,0	1,17
5. Costo de transporte (MP, materiales, personal, producto)	0,12	8	0,96	7	0,84	8,0	0,96
6. Servicios de telecomunicación	0,10	9	0,90	9	0,90	9,0	0,90
7. Disponibilidad costo de terrenos y servicios de construcción	0,09	7	0,63	9	0,81	6,5	0,59
8. Reglamentaciones fiscales y legales no estrictas	0,09	7	0,63	8	0,72	1,0	0,09
<b>Total</b>	1,00	<b>Total</b>	7,88	<b>Total</b>	7,56	<b>Total</b>	7,47

Nota. PO=Ponderación, C=Calificación, P=Puntaje

Fuente: Elaboración propia

Según los puntajes obtenidos para cada alternativa de micro localización considerada se concluye que el Barrio 3 Mayo, Zona Parque Industrial es la ubicación más práctica para emplazar la planta piloto procesadora de yacón, considerando que posee las condiciones para implementar una planta de producción en cuanto a disponibilidad de agua, electricidad (trifásica) y gas, servicios de telecomunicación, disponibilidad de mano obra, proximidad a mercados. Cabe mencionar que en el Barrio San Jorge 1, ya no se permiten emplazar industrias, siendo la razón principal por la que no se optó por seleccionarla como ubicación de la planta, pese a que cuenta con las condiciones para emplazar una fábrica, considerando que en dicha zona se encuentran varias empresas de la industria alimentaria, además es la zona más cercana a la materia prima de las tres opciones evaluadas, teniendo en cuenta que el Barrio Monte Sud se encuentra más alejado de los mercados y de las zonas de suministro de materia prima, considerando

que se planteó como zonas de abastecimiento de materia prima a las comunidades de la provincia Cercado colindantes a la serranía El Condor.

### **3.2 Tamaño de la planta piloto procesadora de yacón**

A través de la información recopilada acerca de la disponibilidad de materia prima en el departamento de Tarija descrita en el subtítulo 3.1.1, donde se presentó la tabla 3.1 que muestra producción anual de yacón en el departamento de Tarija, y teniendo presente de que se seleccionó como zonas de abastecimiento de materia prima a las comunidades de la provincia Cercado colindantes a la serranía El Condor, es así que se pudo conocer que la producción de yacón es baja, no existiendo un excedente de producción del mismo, y que generalmente es cultivado por los productores para consumo propio, más que para la venta. En base a lo cual, se tomó la decisión de realizar la ingeniería de proyecto para implementar una planta escala piloto, a partir de la cual se pueda realizar estudios del comportamiento del mercado e investigar acerca de las mejoras que se pueden implementar en la planta con relación al proceso productivo. La capacidad determinada para la planta piloto procesadora de yacón es de 80 kg/día de materia prima a procesar, tres veces por semana con un intervalo de día por medio, cuyo requerimiento de materia prima necesario para la planta fue verificado a través de una consulta que se realizó a un productor de yacón de la zona seleccionada, el cual validó que se puede cubrir con el requerimiento establecido de materia prima.

Asimismo, se estableció que la planta funcione durante el periodo de cosecha de yacón, por cuatro meses, de junio a septiembre, ya que, el yacón es una raíz de cultivo estacionario.

El requerimiento de materia prima para la planta representa el 0,58% de la producción anual de yacón en el departamento de Tarija y el 4,36% de la producción anual de yacón de la provincia Cercado, de acuerdo con los datos de producción de yacón en el departamento de Tarija según el INE (2013) presentados en la tabla 3.1.

En la tabla 3.5, se muestra la capacidad de producción de la planta procesadora de yacón en base a la cantidad de materia prima a procesar por día, siendo 80kg, de la cual

se destinará el 100% a la elaboración de edulcorante en polvo, así como a la elaboración de infusión, ya que este último es producido a partir del bagazo de yacón que se obtiene de la etapa de filtración del proceso productivo de obtención del edulcorante en polvo. Por otro lado, la capacidad de producción mensual fue calculado en base a trece días de procesamiento de materia prima por mes, ya que la planta se abastecerá de raíz de yacón tres veces por semana, y trabajará por cuatro meses al año durante el periodo de cosecha del yacón.

**Tabla 3.5**

*Capacidad de producción de la planta piloto de procesamiento de yacón*

Tipos de productos	Porcentaje de MP a procesar	Cantidad de materia prima		
		kg/día	kg/mes	kg/año
Edulcorante en polvo	100	80	1040	4160
Infusión (bagazo)	100	80	1040	4160
<b>Total</b>		80	1040	4160

Fuente: Elaboración propia

**CAPÍTULO IV**  
**INGENIERÍA DE PROYECTO**

#### **4.1 Ingeniería de procesos para la planta piloto de procesamiento de yacón**

Para la implementación de la planta piloto procesadora de yacón, se tomó en cuenta los siguientes aspectos: descripción de la materia prima, insumos y productos (edulcorante en polvo e infusión), selección de procesos para la obtención del edulcorante en polvo, descripción del proceso de elaboración de los productos, elaboración de diagramas de operaciones, balance de materia, selección de equipos, requerimiento de personal, elaboración del layout de equipos y de distribución general de la planta piloto procesadora de yacón.

Cabe mencionar que se evaluó la aceptación de los productos que se plantean obtener en la planta piloto procesadora de yacón, los cuales son edulcorante en polvo e infusión, a través de la realización de una encuesta dirigida a población de la ciudad de Tarija. En base a los resultados de la encuesta, presentados en el Anexo D, se puede observar que existe interés e intención de compra del edulcorante en polvo de yacón, reflejando que el cien por ciento de las personas encuestadas están interesadas en comprar el edulcorante en polvo al conocer las propiedades benéficas para la salud humana que posee el mismo. Por lo que se deduce que existe una demanda del producto, estimando que la implementación de la planta procesadora de yacón puede ser factible.

En cuanto a la infusión de yacón también se observó que existe interés por el mismo, al ser un producto derivado de yacón. Recalcando que en el presente proyecto se plantea elaborar la infusión de yacón para brindarle un valor agregado al bagazo de esta raíz, que es un residuo que se obtiene del proceso de obtención del edulcorante en polvo, que podría ser fácilmente desechado sin ningún uso posterior.

#### **4.2 Descripción del yacón como materia prima**

El yacón es la materia prima que se plantea procesar en la planta, a partir de la cual se propone obtener edulcorante en polvo de yacón e infusión a partir del bagazo de esta raíz. En los siguientes párrafos se describe los requisitos que debe cumplir la raíz de yacón que se provea a la planta de procesamiento.



#### 4.2.1 Requisitos generales del yacón

De acuerdo con la norma NB/NA 0087:2010 Productos naturales - Yacón (*Smallanthus sonchifolius*) las raíces reservantes del yacón deben estar enteras, sin presencia de rajaduras o particiones, sanas, exentas de signos de deterioro, sin presencia de mohos, plagas y enfermedades.

Asimismo, la norma indica que las raíces reservantes deben cumplir con los límites máximos de residuos de plaguicidas y deben estar exentos de metales pesados en cantidades que puedan presentar un riesgo para la salud humana, en cuanto a lo establecido en la legislación nacional vigente de cada país de la Comunidad Andina o en su defecto por la Comisión del Codex Alimentarius. (IBNORCA, 2010)

#### 4.2.2 Propiedades fisicoquímicas del yacón

Según la Norma técnica Peruana NTP 011.350:2006 las raíces de yacón en sus diferentes tipos deben cumplir con los requisitos de composición química que se detalla en la tabla 4.1.

**Tabla 4.1**

*Requisitos de composición química proximal de las raíces de yacón*

Requisitos	Porcentaje en peso sobre base fresca	
	Mínimo	Máximo
Humedad	84,80	92,70
Proteína	0,30	0,56
Grasa	0,02	0,30
Cenizas	0,26	0,53
Carbohidratos totales	9,23	12,50
Fibra cruda	0,28	0,60

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 011.350:2006

En la tabla 4.2, se muestran los requisitos del contenido de carbohidratos que deben tener las raíces de yacón.

**Tabla 4.2***Requisitos del contenido de carbohidratos de las raíces de yacón*

Requisitos	Porcentaje en peso sobre base fresca*	
	Mínimo	Máximo
Fructooligosacáridos (FOS)	6,20	11,07
Glucosa libre	0,23	0,59
Fructosa libre	0,39	2,11
Sacarosa libre	1,00	1,90

\*Considera el porcentaje de humedad indicado en la Tabla 4.1.

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 011.350:2006

El amplio rango de valores no es atribuible exclusivamente al efecto del cultivar, también son importantes los efectos derivados de la localidad, el medio ambiente y las condiciones de postcosecha. Se estima que en una semana después de la cosecha el contenido de FOS podría reducirse hasta en 40%. (IBNORCA, 2010)

#### 4.2.3 Requisitos microbiológicos de la raíz de yacón

Las raíces de yacón en sus diferentes tipos deben cumplir con los requisitos microbiológicos indicados en la tabla 4.3, de acuerdo con la Norma Técnica Peruana NTP 011.350:2006.

**Tabla 4.3***Requisitos microbiológicos de las raíces del yacón*

Agentes microbianos	Categoría	Clases	n	c	Limite por g/ml	
					m	M
Aerobios mesófilos	3	3	5	1	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>
Enterobacterias	4	3	5	3	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>
Salmonella	2	5	0	0	--	--

Nota. Los límites microbiológicos son aplicables al producto que haya recibido un tratamiento de lavado y pelado.

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 011.350:2006

#### 4.2.4 Almacenamiento de yacón

Para el almacenamiento de la raíz del yacón se debe tener en consideración, el control de factores tales como: la temperatura, humedad relativa y la radiación solar (IBNORCA, 2010).

La norma NB/NA 0087:2010 Productos naturales - Yacón (*Smallanthus sonchifolius*) recomienda las siguientes condiciones de almacenamiento del yacón.

- La temperatura de refrigeración debe ser de 6°C, condición que permite que la velocidad de conversión de FOS a azúcares simples disminuya significativamente.
- La humedad relativa debe ser alta para ayudar a minimizar las pérdidas de peso y la perecibilidad.
- Se deben proteger de la exposición directa al sol debido a que los FOS se convierten en azúcares simples (fructosa, sacarosa y glucosa).

Se ha visto que después de una semana en almacenamiento a temperatura ambiente, alrededor del 30 a 40% de los FOS se habrán transformado en azúcares simples. Sin embargo, la velocidad de esta conversión es más lenta si se almacena el yacón a temperaturas de refrigeración. Las raíces pueden llegar a perder alrededor del 40% de su peso en tan sólo una semana, únicamente por efecto de la deshidratación al medio ambiente. (Manrique et al., 2005)

La humedad atmosférica alta ayuda a minimizar la pérdida de peso, sobre todo en combinación con el frío, pero puede acelerar la pudrición a temperaturas altas. La pérdida de peso y la perecibilidad de las raíces disminuye significativamente si se usan temperaturas de refrigeración (5 a 6°C) durante el almacenamiento. Si además de ello se empacan las raíces en bolsas de papel y plástico (perforadas con pequeños agujeros), entonces se obtienen resultados mucho mejores. Bajo este sistema, las raíces casi no pierden agua y la perecibilidad apenas llega al 15% después de 90 días de almacenamiento. (Seminario et al., 2003)

La ventilación constante es determinante para una buena conservación. De esta forma, se evita que el vapor generado por la respiración se sublime en una superficie de hielo que degrade las raíces. Además, manteniendo la tierra adherida a la cáscara de la raíz se logra evitar una rápida deshidratación de éstas y conservar por más tiempo sus características. (López, 2007)

La conservación de la raíz de yacón en la zona de cultivo luego de su cosecha se realiza en agujeros en la tierra, donde se coloca el yacón entre capas de paja, evitando por este medio natural la deshidratación de la raíz y brindando una mayor conservación por al menos 2 o 3 meses más. (Willys, 2009)

### **4.3 Insumos para la obtención de edulcorante en polvo**

Los insumos que se emplean en la elaboración del edulcorante en polvo de yacón son: ácido ascórbico, ácido cítrico y maltodextrina.

#### **4.3.1 Ácido ascórbico**

El ácido ascórbico cuyo número asignado según los Nombres Genéricos del Codex y el Sistema Internacional de Numeración (SIN) para los Aditivos Alimentarios (CAC/GL 36-1989) es SIN 300. (AditivosAlimentarios, 2020)

El ácido ascórbico es un antioxidante natural o sintético. Se obtiene de forma natural por extracción de frutas y vegetales o de forma sintética por fermentación bacteriana de glucosa seguido por una oxidación química. Es la misma Vitamina C natural, pero cuando se emplea como aditivo no puede ser referido a su vez como un suplemento vitamínico porque ya es descrito usando el código E300 y porque no se añade por su vitamina sino por su poder antioxidante. (Aditivos Alimentarios, 2020)

La disponibilidad de este antioxidante se ve reducida significativamente durante el procesamiento por factores como el oxígeno, la luz, la presión, la temperatura, los iones metálicos, los azúcares reductores y el pH. (Ordóñez & Vásquez, 2012, pág. 84)

**4.3.1.1 Efectos secundarios del consumo de ácido ascórbico.** El ácido ascórbico no produjo ningún efecto secundario perjudicial. Se recomienda no consumir más de 500 mg/día porque podría provocar diarreas y cálculos renales” (Aditivos Alimentarios, 2020).

**4.3.1.2 Dosis máxima aceptable de ácido ascórbico.** Según la Norma General para los Aditivos Alimentarios CODEX STAN 192-1995, no especifica una dosis máxima aceptable de ácido ascórbico a emplear en los alimentos que se detallan en dicha norma, únicamente menciona que la dosis máxima a emplear debe ser de acuerdo con las Buenas Prácticas de Fabricación (BFP). Por otra parte, el nivel de toxicidad que presenta es bajo.

**4.3.1.3 Almacenamiento del ácido ascórbico.** De acuerdo a Quimipur (2015) se deben seguir las siguientes indicaciones para el correcto almacenamiento del ácido ascórbico.

**Exigencias técnicas para almacenes y recipientes:** Mantener el producto en recipientes cerrados.

- Material adecuado: cristal y materias plásticas.
- Material no adecuado: aluminio y metal.

**Indicaciones para el almacenamiento conjunto:** No almacenar junto con productos para alimentación animal.

**Indicaciones adicionales para las condiciones de almacenaje:** Mantener secos y herméticamente cerrados los recipientes y guardarlos en un sitio fresco y bien ventilado. Proteger del agua y de la humedad del aire. Proteger de la acción de la luz. Impedir la entrada de aire/oxígeno.

En el lugar de almacenado se debe evitar la formación y acumulación de polvo, el polvo puede formar con el aire una mezcla explosiva. Se deben tomar medidas contra las cargas electrostáticas y mantener alejado de posibles fuentes de calor e ignición.

### **4.3.2 Ácido cítrico**

El Ácido Cítrico cuyo número asignado según los Nombres Genéricos del Codex y el Sistema Internacional de Numeración (SIN) para los Aditivos Alimentarios (CAC/GL 36-1989) es SIN 330. (Aditivos Alimentarios, 2020)

El ácido cítrico es un acidulante natural o sintético, regulador de la acidez y saborizante. Se obtiene de forma natural por extracción de frutas cítricas o de forma sintética fermentando azúcar de sacarosa o glucosa con hongos de la familia *Aspergillus niger*. (Aditivos Alimentarios, 2020)

**4.3.2.1 Beneficios del ácido cítrico.** El ácido cítrico se puede agregar a bebidas y alimentos procesados y envasados, como helados, refrescos, vino y alimentos enlatados y en frascos, como un conservador, agente emulsionante y saborizante amargo. El ácido cítrico se utiliza para matar bacterias nocivas, se agrega a muchos alimentos enlatados y en frascos para prevenir el botulismo. (ChemicalSafetyFacts, 2020)

**4.3.2.2 Efectos secundarios del consumo de ácido cítrico.** El consumo de ácido cítrico no produjo ningún efecto secundario perjudicial. Sin embargo, no se recomienda consumir grandes cantidades porque a largo plazo podría producir corrosión dental (Aditivos Alimentarios, 2020).

**4.3.2.3 Dosis máxima aceptable del ácido cítrico.** Según la Norma General para los Aditivos Alimentarios CODEX STAN 192-1995, no especifica una dosis máxima aceptable de ácido ascórbico a emplear en los alimentos que se detallan en dicha norma, únicamente menciona que la dosis máxima a emplear debe ser de acuerdo con las Buenas Prácticas de Fabricación (BFP). En cuanto al nivel de toxicidad que presenta es bajo.

**4.3.2.4 Almacenamiento de ácido cítrico.** El ácido cítrico se debe almacenar en lugares ventilados, frescos y secos separados de las zonas de trabajo. Lejos de fuentes de calor e ignición (y de la acción directa de los rayos solares). Separado de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente. Conectar a tierra los recipientes para evitar descargas electrostáticas. Los equipos eléctricos, de iluminación y ventilación deben ser a prueba de explosiones. (Andesia, 2009)

### **4.3.3 Maltodextrina**

La Maltodextrina también llamada Dextrina o Almidón modificado, cuyo número asignado según los Nombres Genéricos del Codex y el Sistema Internacional de Numeración (SIN) para los Aditivos Alimentarios (CAC/GL 36-1989) es E1400. (Aditivos Alimentarios, 2020)

La maltodextrina es un espesante y humectante, polvo blanco amarillento natural o sintético con bajo poder edulcorante, apelmazante, soporte para aditivos y agente de recubrimiento. Puede ser de origen natural obtenido de la fécula de tapioca, arroz o patatas, o de origen sintético derivado de almidón de maíz transgénico. También se emplea para dar estabilidad a productos congelados que necesitan mantener la misma textura y apariencia cuando estos son descongelados. Producto soluble en agua e insoluble en grasas, que en galletería aporta una textura más crujiente al producto y mayor resistencia a la humedad. (Aditivos Alimentarios, 2020)

**4.3.3.1 Aplicación de la maltodextrina.** Se utiliza en salsas, mayonesas, cremas, sopas, pastas, snacks, nata, quesos, lácteos, yogures, flanes, natillas, postres, dulces variados, caramelos, gomilonas, golosinas, cacao en polvo, preparados de verdura, rellenos de pasteles, refrescos, gaseosas, sodas, zumos, jugos, derivados, cárnicos y productos congelados. (Aditivos Alimentarios, 2020)

**4.3.3.2 Efectos secundarios del consumo de maltodextrina.** En dosis grandes puede provocar hiperactividad y malestares digestivos, estudios con animales en laboratorio, se observó que el almidón modificado arrastra restos calcáreos a los riñones y a la pelvis, por el momento se realizan más pruebas para investigar si consumido a largo plazo podría tener el mismo efecto nocivo en el cuerpo. (Aditivos Alimentarios, 2020)

**4.3.3.3 Dosis máxima aceptable de maltodextrina.** Según la Norma General para los Aditivos Alimentarios CODEX STAN 192-1995, no especifica una dosis máxima aceptable de maltodextrina a emplear en cada alimento que se detalla en dicha norma,

únicamente menciona que la dosis máxima a emplear debe ser de acuerdo a las Buenas Prácticas de Fabricación (BFP). En cuanto al nivel de toxicidad que presenta es medio.

**4.3.3.4 Almacenamiento de maltodextrina.** La maltodextrina se debe almacenar en su envase original, en un lugar limpio, fresco, seco, sin olores, a temperatura ambiente, a una humedad relativa máxima de 60%, alejado de fuentes directas de luz y calor. La temperatura de almacenamiento debe ser ambiente y a una humedad relativa máxima de 60%, evitar la presión sobre los sacos. Una vez abierto el envase, mantenerlo bien cerrado y en las condiciones de almacenamiento indicadas para conservar las propiedades del producto. Se recomienda buenas prácticas de higiene y manipulación. (Gayoso, 2018. Pág. 1)

#### **4.4 Descripción de los productos a obtener en la planta procesadora de yacón**

En la elaboración de los productos a obtener en la planta procesadora de yacón se debe cuidar el cumplimiento de las Buenas Prácticas de Manufactura de acuerdo a los documentos guía del SENASAG, asimismo, se debe cuidar la aplicación y el cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma ISO 22000:2018 para asegurar la inocuidad alimentaria.

Para asegurar la calidad nutricional de los productos a elaborar se debe cumplir con las características que se describen en los siguientes párrafos para el edulcorante en polvo e infusión de yacón.

##### **4.4.1 Descripción del edulcorante en polvo de yacón**

El edulcorante en polvo liofilizado de yacón tendrá una presentación de 100g en frasco de plástico polipropileno con tapa rosca, debido a que el edulcorante es higroscópico y sensible a la alta exposición de luz solar. El tiempo de vida útil del edulcorante en polvo de yacón es de 6 meses de acuerdo a Rodríguez (2018).

El edulcorante en polvo es obtenido por un procesamiento óptimo de la materia prima, cuidando que se mantengan la mayor cantidad de las propiedades nutritivas y que



cumpla con los requisitos fisicoquímicos y sensoriales adecuados para el producto final, los cuales se detallaran posteriormente.

#### 4.4.1.1 Propiedades fisicoquímicas del edulcorante en polvo de yacón

En la tabla 4.4, se muestran las propiedades fisicoquímicas del edulcorante en polvo de yacón, según datos recopilados por Rodríguez (2018) de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas de productos derivados de yacón y de alimentos liofilizados, debido a que en el país no se cuenta con una norma específica para este producto.

**Tabla 4.4**

*Propiedades fisicoquímicas del edulcorante de yacón*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Solidos solubles	°Brix	73,0 ± 2,0
pH	-	4,2 – 5,8
Humedad	%	≤ 4,0
Cenizas totales	%	≤ 5,0
Proteínas totales	%	≤ 6,0
Fibra	%	0,0
Grasa	%	≤ 1,5
FOS	%	≤ 50,0
Azucares reductores	%	≤ 8,0
Otros carbohidratos	%	≤ 30,0

Fuente: Rodríguez, 2018

#### 4.4.1.2 Características organolépticas del edulcorante en polvo de yacón

En la tabla 4.5, se presentan las características organolépticas del edulcorante en polvo de yacón de acuerdo con Rodríguez (2018), ya que en el país no se cuenta con una norma específica para este producto.

**Tabla 4.5**

*Características organolépticas del edulcorante de yacón*

<b>Parámetros</b>	<b>Descripción</b>
Olor	Frutado
Sabor	Dulce
Color	Amarillo claro

Fuente: Rodríguez, 2018

#### 4.4.2 Descripción de la infusión de yacón

La presentación de la infusión de yacón será en cajas de 20 unidades de infusión con un peso de 2g por cada saquito de papel filtro termosellable con hilo.

La infusión es elaborada a partir del residuo o bagazo obtenido del proceso de filtración de la elaboración del edulcorante en polvo, dicho bagazo es secado para transformarlo en infusión.

##### 4.4.2.1 Propiedades fisicoquímicas de la infusión de yacón

En la tabla 4.6, se muestra la composición en base seca de 100g de infusión de bagazo de yacón, donde se puede observar que la mayor parte corresponde a fibra y posee poca cantidad de carbohidratos. Se tomó datos referenciales de López (2007), ya que, en el país no se cuenta con una norma específica para este producto.

**Tabla 4.6**

*Propiedades fisicoquímicas de la infusión de yacón*

<b>Parámetros</b>	<b>Valor (g)</b>
Fibra dietética	65,00
Fibra cruda	19,50
Proteína	2,59
Almidón	2,14
Ceniza	5,10
Carbohidratos y otros	25,20

Fuente: López, 2007

#### 4.5 Descripción de los tipos de procesos existentes para obtener edulcorante en polvo de yacón

De acuerdo con las operaciones más significativas que intervienen en el proceso de elaboración del edulcorante en polvo de yacón, se tiene a la operación de concentración y secado, por lo cual posteriormente se describe los tipos de procesos existentes para realizar la concentración del extracto de fructooligosacáridos (FOS) del yacón y el secado del extracto concentrado de FOS. De los diferentes procesos que se describe en los siguientes párrafos, se seleccionó un proceso para realizar la respectiva operación

de concentración del extracto de FOS y un proceso para realizar la operación de secado del extracto concentrado de FOS.

#### **4.5.1 Tipos de procesos de concentración del extracto de fructooligosacáridos de yacón**

Entre los principales procesos existentes que se pueden emplear para realizar la operación de concentración del extracto de fructooligosacáridos se tiene a los siguientes: concentración por ósmosis directa, evaporación a presión atmosférica, evaporación al vacío y concentración por ultrasonido de alta intensidad.

##### **4.5.1.1 Concentración por ósmosis directa**

La ósmosis directa es un proceso que se produce cuando un producto se sumerge en una disolución concentrada de sal o azúcar, lo que origina un flujo de agua desde el interior de las células del alimento hacia la disolución más concentrada a través de una membrana semipermeable (membrana celular). Este flujo se establece a causa de una diferencia de potencial químico del agua en el alimento y en la solución que lo rodea. (Padilla et al., 2018)

El proceso osmótico de frutas no constituye un método de preservación, sino que es solamente la primera parte (preconcentración) de un proceso de secado, siendo la segunda un secado convencional. Usualmente la preconcentración osmótica sólo se realiza hasta alcanzar una reducción del peso del 50%. (Guevara & Cancino, 2008)

##### **4.5.1.2 Evaporación a presión atmosférica**

La evaporación puede definirse como la eliminación parcial del agua de un alimento mediante la aplicación de calor. El medio por el que se elimina agua, es decir, el calor, hace que las sustancias con un menor punto de ebullición que el del agua, también puedan perderse, lo que puede implicar una merma de propiedades sensoriales del concentrado. Cuando esto sucede y la calidad del producto final se ha menoscabado en

demasiada, los componentes volátiles pueden recuperarse del material evaporado y reincorporarse al concentrado. (Ordóñez et al., 2019)

#### **4.5.1.3 Evaporación al vacío**

La evaporación al vacío es un proceso en el que la presión a la que se encuentra un recipiente conteniendo un líquido es reducida a un valor inferior al de la presión de vapor del líquido, de forma tal que el líquido se evapora a una temperatura inferior a la temperatura de ebullición normal. Aunque el proceso puede utilizarse con todo tipo de líquido a cualquier presión de vapor, por lo general es utilizado para referirse a la ebullición de agua, al reducir la presión dentro del recipiente por debajo de la presión atmosférica se logra que el agua ebulle a temperatura ambiente. (Sánchez, 2015)

“El diseño de un sistema de vacío consiste en evacuar el aire de un recipiente, determinando previamente el tiempo para obtener el vacío requerido para determinado proceso” (Sánchez, 2015. Pág. 15).

#### **4.5.1.4 Concentración por ultrasonido de alta intensidad**

La concentración ultrasónica considera que la difusividad entre los sólidos suspendidos y el líquido es acelerada por efecto del campo ultrasónico de manera que la transferencia de calor puede incrementarse desde 30 a 60%, dependiendo de la intensidad del ultrasonido, de manera que los tiempos y temperaturas de procesamiento se ven reducidos, provocando que los atributos de calidad como el sabor, valor nutritivo y color permanezcan sin alterarse. (Roblez & Ochoa, 2012. Pág. 115)

La generación de ultrasonido se da dentro de un campo eléctrico de alta frecuencia, donde se desarrolla un proceso para obtener la conversión a oscilación mecánica y el sonido pueda ser transmitido a un amplificador para finalmente transmitirse al medio. El ultrasonido es generado por una corriente eléctrica que se transforma mediante transductores. (Roblez & Ochoa, 2012)

## **4.5.2 Tipos de procesos de secado del extracto concentrado de fructooligosacáridos de yacón**

Entre los procesos principales que se pueden emplear para realizar la operación de secado del extracto concentrado de fructooligosacáridos se tiene a los siguientes: liofilización, secado por atomización y centrifugación.

### **4.5.2.1 Liofilización**

La liofilización es un proceso que consta de tres etapas: La congelación, la sublimación y la desorción. Al desecar un producto previamente congelado, se logra la sublimación del hielo bajo vacío. Por lo tanto, es el paso directo del hielo (sólido) a gas (vapor), sin que en ningún momento aparezca el agua en su estado líquido. Bajo estas condiciones de proceso se obtiene una masa seca, esponjosa de más o menos el mismo tamaño que la masa congelada original, mejorando su estabilidad y siendo fácilmente disuelta en agua. (Guevara & Cancino, 2008)

### **4.5.2.2 Secado por atomización**

La atomización es una operación unitaria ampliamente utilizada en la industria procesadora de alimentos para secar disoluciones y papillas. El producto se introduce en una cámara de desecación en forma de fina lluvia entrando así en íntimo contacto con una corriente de aire caliente, lo que permite un secado muy rápido y la obtención de un polvo seco. (Guevara & Cancino, 2008)

### **4.5.2.3 Centrifugación**

“Al aplicar a un material mojado una fuerza centrífuga suficientemente elevada, el líquido contenido en el material se desplaza en la dirección de la fuerza, produciendo así una separación del líquido y del sólido” (Padilla et al., 2018. Pág. 112).

### 4.5.3 Selección de los procesos más significativos para la obtención del edulcorante en polvo de yacón

Para la selección de los procesos de concentración y secado, los cuales son más significativos para la elaboración de edulcorante en polvo e infusión de yacón se empleará el método de factores ponderados, tomando como calificación máxima para cada factor a evaluar el valor de 10 y como calificación mínima el valor de 0.

#### 4.5.3.1 Selección del proceso para realizar la operación de concentración

En la tabla 4.7, se muestra la matriz de selección del proceso de concentración del extracto de fructooligosacáridos, evaluando los siguientes factores: aplicabilidad del proceso para la materia prima empleada, disponibilidad tecnológica, mayor conservación de nutrientes y costo del proceso en relación con la maquinaria o equipo existente.

**Tabla 4.7**

*Selección del proceso de concentración del extracto de fructooligosacáridos*

FACTOR EVALUADO	PO	ALTERNATIVAS							
		Ósmosis directa		Evaporación presión atmosférica		Evaporación al vacío		Ultrasonido de alta intensidad	
		C	P	C	P	C	P	C	P
1. Aplicabilidad a la materia prima	0,23	10	2,30	10	2,30	10	2,30	10	2,30
2. Disponibilidad tecnológica	0,27	5	1,35	9	2,43	9	2,43	6	1,62
3. Conservación de nutrientes	0,30	9	2,70	5	1,50	8	2,40	9	2,70
4. Costo	0,20	4	0,80	9	1,80	7	1,40	5	1,00
<b>Total</b>	1,00	<b>Total</b>	7,15	<b>Total</b>	8,03	<b>Total</b>	8,53	<b>Total</b>	7,62

Nota. PO=Ponderación, C=Calificación, P=Puntaje, DES=Descripción.

Fuente: Elaboración propia

El proceso seleccionado para realizar la operación de concentración del extracto de fructooligosacáridos es la evaporación al vacío debido a que permite conservar la mayor cantidad de nutrientes que se encuentran en el extracto de fructooligosacáridos, así como también evita que se produzca un pardeamiento no enzimático, que altere el color del extracto, proporcionando un color oscuro, de aspecto no agradable ni apetecible, a diferencia de la evaporación a presión atmosférica. Por otra parte, el costo

del equipo necesario para realizar la evaporación al vacío es menor al requerido para el proceso de concentración por ósmosis directa y por ultrasonido de alta intensidad, considerando además que la disponibilidad de la tecnología o maquinaria necesaria para efectuar estos dos últimos procesos es baja.

#### 4.5.3.2 Selección del proceso para realizar la operación de secado

En la tabla 4.8, se muestra la matriz de selección del proceso de secado del extracto concentrado de fructooligosacáridos, donde se evaluó la aplicabilidad del proceso para la materia prima empleada, disponibilidad tecnológica, mayor conservación de nutrientes y costo del proceso en relación con la maquinaria o equipo existente.

**Tabla 4.8**

*Selección del proceso de secado del extracto concentrado de fructooligosacáridos*

FACTOR EVALUADO	PO	ALTERNATIVAS					
		Liofilización		Atomización		Centrifugación	
		C	P	C	P	C	P
1. Aplicabilidad a la materia prima	0,23	10	2,30	10	2,30	8	1,84
2. Disponibilidad tecnológica	0,27	8	2,16	8	2,16	7	1,89
3. Conservación de nutrientes	0,30	9	2,70	6	1,80	7	2,10
4. Costo	0,20	6	1,20	7	1,40	8	1,60
<b>Total</b>	1,00	<b>Total</b>	8,36	<b>Total</b>	7,66	<b>Total</b>	7,43

Nota. PO=Ponderación, C=Calificación, P=Puntaje, DES=Descripción.

Fuente: Elaboración propia

Se seleccionó el proceso de liofilización para realizar la operación de secado del extracto concentrado de FOS, ya que con dicho proceso se puede obtener un producto de alta calidad, conservando las propiedades nutricionales, evitando que se dé una reacción de pardeamiento no enzimático que le pueda dar características no deseables en cuanto al color, sabor y apariencia al producto final, a diferencia del secado por atomización, el cual se realiza a elevadas temperaturas, lo que produce una disminución de las propiedades nutricionales del producto. Asimismo, se consideró que existe disponibilidad tecnológica para realizar el proceso de liofilización. Aunque el costo del equipo es elevado, permite la obtención de un producto de mejor calidad, sin tener que realizar un proceso posterior como lo requiere la centrifugación, ya que, con este último proceso se necesita realizar un secado posterior a la centrifugación.

#### 4.6 Selección del nivel de automatización de los procesos productivos de obtención de edulcorante en polvo e infusión de yacón

En la tabla 4.9, se presenta el nivel de automatización de cada una de las operaciones que intervienen en la elaboración del edulcorante en polvo de yacón, mostrando la operación respectiva, el nivel de automatización, ya sea manual, semi-automática o automática, y la justificación de la selección realizada.

**Tabla 4.9**

*Nivel de automatización a emplear en el proceso productivo de elaboración de edulcorante en polvo de yacón*

Operación	Nivel de automatización	Justificación
Pesado	Manual	Se realizará el pesado de forma manual en una balanza digital, ya que, la cantidad de MP no es muy elevada.
Selección	Manual	Se realizará manualmente debido a que la cantidad de MP no es muy elevada, por lo que los operarios pueden realizar una selección visual.
Lavado y desinfección	Semi-automática	Se realizará en una máquina lavadora de raíces, debido a la eficacia que presenta, asimismo con la máquina se reduce el tiempo de lavado.
Escaldado térmico	Automática	Se realizará en un autoclave para facilitar el pelado, para conservar la mayor parte de FOS, además de inactivar enzimas.
Pelado	Manual	Se retirará la cáscara con peladores de papa, ya que, la cáscara estará suelta, lo que facilita el pelado.
Inmersión	Manual	Se realizará colocando las raíces en una tina con solución de ac. cítrico, ya que es una operación sencilla.
Extracción de zumo	Semi-automático	Se realizará en un extractor de zumos para lograr una superficie de contacto óptima para la extracción de FOS.
Extracción sólido-líquido	Automático	Se realizará en un tanque agitador con calefacción para obtener un mejor rendimiento de extracción de FOS.
Filtración 1	Semi-automático	Se realizará en un filtro prensa para reducir el tiempo de filtrado y obtener mayor eficacia en la separación de los residuos sólidos del extracto de FOS.
Filtración 2	Automático	Se realizará por medio de un tanque de filtración de carbón activado para purificar el extracto.
Concentración	Automático	Se realizará en un evaporador al vacío para preservar la mayor cantidad de nutrientes posible, obteniendo así un producto de mayor calidad.
Adición de viabilizador	Semi-automático	Se realizará por medio de un agitador de laboratorio, ya que el volumen del extracto concentrado es bajo.
Secado	Automático	Se utilizará un liofilizador para obtener un producto de alta calidad, conservando las propiedades nutricionales, así como el color y sabor.
Envasado	Manual	Se realizará un envasado manual, empleando una balanza, debido a que la cantidad de producto que se obtiene para envasar es baja.

Fuente: Elaboración propia



En la tabla 4.10, se describe el nivel de automatización de cada una de las operaciones que intervienen en la elaboración de la infusión de yacón, presentando la operación respectiva, el nivel de automatización, ya sea manual, semi-automática o automática, y la justificación de la selección realizada. Se describirá el nivel de automatización del proceso productivo de la infusión de yacón desde la operación de secado, ya que, las operaciones anteriores son compartidas con el proceso productivo de obtención del edulcorante en polvo hasta la operación de filtración 1, de donde se obtiene el bagazo a ser empleado para elaborar la infusión.

**Tabla 4.10**

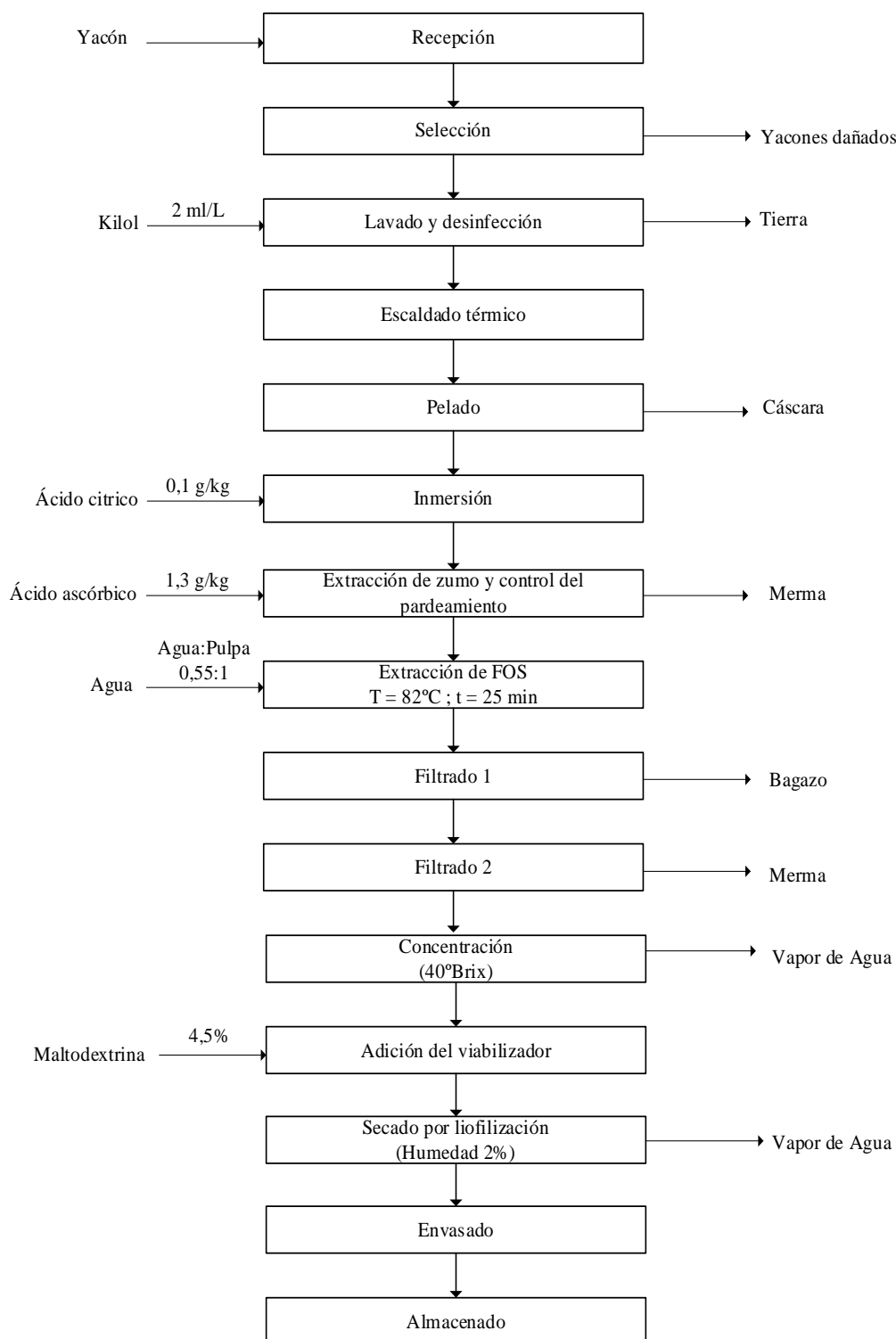
*Nivel de automatización a emplear en el proceso productivo de elaboración de infusión de yacón*

<b>Operación</b>	<b>Nivel de automatización</b>	<b>Justificación</b>
Secado	Semi-automático	Se utilizará un secador de bandejas que trabajará a 65°C para obtener un producto de calidad, conservando las propiedades nutricionales y el color del producto.
Molienda	Manual	Se realizará en una licuadora industrial debido a que la cantidad de producto obtenido es baja.
Envasado en saquitos	Automático	Se realizará mediante una envasadora de té en saquitos de papel filtro con hilo para obtener una práctica presentación del producto.
Envasado en cajitas	Manual	Se envasará los saquitos de infusión en cajas pequeñas manualmente, ya que es una operación sencilla. Se debe mantener la asepsia en esta operación

Fuente: Elaboración propia

#### **4.7 Diagrama de flujo del proceso de obtención de edulcorante en polvo**

En la figura 4.1, se muestra el diagrama de flujo del proceso de obtención de edulcorante en polvo de yacón.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.1.** Diagrama de flujo del proceso de obtención de edulcorante en polvo de yacón.

#### **4.7.1 Descripción del proceso de obtención de edulcorante en polvo de yacón**

Se presenta el siguiente proceso para la elaboración de edulcorante en polvo, teniendo en cuenta que la presentación comercial será en frascos de plástico de 100g.

##### **Recepción**

Se registra la cantidad recibida, la procedencia y el índice de refracción, ya que este último método es rápido, sencillo y económico que permite determinar el contenido de FOS por estimación indirecta, y así seleccionar entre varios cultivares o lotes de yacón, aquellos que tienen un mayor contenido de FOS. (Manrique et al., 2005)

La estimación de indirecta del contenido de FOS es válida, debido a que existe una correlación alta ( $r > 0.8$ ) entre el valor de los grados Brix y el contenido de FOS, debido a que la mayor parte de los azúcares del yacón son FOS. (Manrique et al., 2005).

Además, se realiza una inspección visual observando si las raíces de yacón están húmedas o secas. (Nina, 2013)

##### **Selección**

“Mediante una inspección visual, los operarios encargados separan los yacones en categorías, según el tamaño de 200-500g y 100-200 g” (Nina, 2013, pág. 78).

Asimismo, se separan aquellos yacones que presentan golpes, cortes, partes malogradas o rajaduras, las raíces deben presentarse enteras, su condición debe ser sana, sin tener signos de descomposición, mohos, plagas, ni enfermedades. (Soria, 2017)

“Para clasificar los podridos, se coloca la materia prima en una tina con agua hasta la mitad, debido a que estos flotan a la parte superior” (Pinto & Rosales, 2007, Pág. 75).

“Se determina el contenido de FOS por estimación indirecta a través de la medición del índice de refracción del jugo de yacón con ayuda de un refractómetro digital manual” (Manrique et al., 2005. Pág.11)

Para lograr una selección más efectiva de la materia prima se puede complementar la prueba anterior con una degustación de las raíces. En términos generales, los azúcares simples del yacón (glucosa, fructosa y sacarosa) tienen un poder edulcorante 4 veces superior a los FOS. Esto significa que cuanto menos dulce son las raíces, existe una mayor probabilidad de que tengan un contenido más alto de FOS. Así, el procedimiento que debería aplicarse para la selección de un lote con alto contenido de FOS es el siguiente: seleccionar aquellos lotes en los que las muestras tienen un alto valor de grados Brix y luego, entre estos lotes, seleccionar aquellos en los que las muestras tienen un sabor menos dulce. (Manrique et al., 2005)

### **Lavado y desinfección**

En esta operación, los yacones son lavados dentro de una máquina que posee cepillos abrasivos que giran frotando las raíces, con ayuda de abundante agua y el desinfectante doméstico orgánico denominado kilol o DG-6 para reducir la carga biológica que se encuentra presente en los yacones. De esta manera, se retira adecuadamente la tierra adherida a la superficie de las raíces. Además, cabe resaltar que en la operación de lavado se pierde aproximadamente el 1% en peso. A su vez, el kilol se aplica de 2 a 4 ml por litro de agua acorde a la disposición de su ficha técnica. (Rodríguez, 2018)

Cabe resaltar que el kilol es de origen natural pues se consigue por extracción de la semilla de la toronja, lo que lo caracteriza como inocuo para la industria de alimentos, debido a que no modifica las propiedades nutritivas de los mismos. El kilol evita los riesgos a los que se puede exponer a los consumidores al emplear desinfectantes como el hipoclorito de sodio, ya que ambos desinfectantes pueden ocasionar graves enfermedades en los consumidores del producto final si es que no se lava adecuadamente la superficie en la que se vierte. Por otro lado, el kilol no requiere un enjuague posterior a su aplicación; además, no solo se encarga de la desinfección, pues también ayuda aumentando la resistencia de las plantas contra ciertas enfermedades. (Rodríguez, 2018)

En caso de utilizar hipoclorito de sodio las raíces se sumergen después del lavado en una solución desinfectante de 200 ppm de hipoclorito de sodio durante cinco minutos. El hipoclorito de sodio es uno de los desinfectantes más efectivos, económicos y fáciles de usar. Una solución de 200 ppm de hipoclorito de sodio se puede preparar diluyendo 4 ml de lejía comercial por cada litro de agua (lejías comerciales contienen alrededor de 5% de hipoclorito de sodio). (Manrique et al., 2005)

### **Escaldado térmico**

La principal idea de la producción industrial de un endulzante en base al yacón es que sea capaz de endulzar satisfactoriamente, para ello, se debe conservar la mayor cantidad de FOS posible en la pulpa. Además, cabe resaltar que la mayor concentración de FOS se encuentra en las zonas periféricas de la raíz. (Rodríguez, 2018)

Por otro lado, la cáscara es la parte de la raíz en la que se concentra la mayor cantidad de los compuestos responsables del pardeamiento, de manera que se debe asegurar el retiro de toda la cáscara de las raíces durante el pelado. (Manrique et al., 2005)

Se procede a ingresar los yacones a un autoclave, ya que mediante el mismo se logra un desprendimiento limpio de la cáscara sin pulpa al emplear presiones y temperaturas elevadas. De esta manera, se conserva en la pulpa la mayor cantidad de FOS posible, llegando a ser casi al 100% de efectividad. (Rodríguez, 2018)

“El blanqueado tiene una influencia significativa en la reducción de las actividades enzimáticas causantes de la oxidación como la peroxidasa, la polifenol oxidasa, además del fructano 1-exohidrolasa (1-FEH)” (Juárez, 2015. Pág. 67).

### **Pelado**

Solo se puede proceder al pelado si es que el escaldado térmico se ha realizado correctamente, pues, de lo contrario, se perderían grandes concentraciones de FOS al pelar la cáscara. El pelado es una operación netamente manual en la cual los operarios encargados retiran con cuidado la cáscara del yacón usando peladores domésticos. Es

posible realizar manualmente esta actividad debido a que la cáscara de yacón ya se encuentra desprendida casi en su totalidad. (Rodríguez, 2018)

### **Inmersión**

A medida que se pelan las raíces, se sumergen en una tina conteniendo agua potable con ácido cítrico 0,1g por cada kg de raíz pelada con el fin de retardar el pardeamiento enzimático (Pinto & Rosales, 2007).

La principal función de esta solución consiste en evitar la oxidación del yacón; sin embargo, es de vital importancia evitar que el pH baje de 4, ya que se originaría la conversión de FOS en azúcares libres. Es decir, el yacón se debe mantener en un medio básico o neutro, de lo contrario, al encontrarse en un medio ácido, perdería su poder endulzante. (Rodríguez, 2018)

### **Extracción de zumo y control del pardeamiento**

El yacón ingresa a una extractora de la que se consigue el zumo. En este trabajo se logra una reducción de alrededor de 20% en peso por el bagazo que se separa con alto grado de humedad (Pinto & Rosales, 2007).

Para evitar el pardeamiento enzimático se recibe el jugo en un recipiente con una solución antioxidante de ácido ascórbico (1,3 g/kg de raíces de yacón peladas) (Pinto & Rosales, 2007).

“Se debe medir que el pH no sea menor a 4, pues los FOS se podrían convertir en azúcares simples en medios muy ácidos” (Rodríguez, 2018. Pág. 69).

También se pondrá el bagazo en una solución antioxidante de ácido ascórbico para evitar su pardeamiento, este posteriormente será mezclado con el zumo para realizar la extracción sólido-líquido, y así extraer la mayor cantidad de FOS posible del yacón.

De esta manera, el zumo extraído y el bagazo entran inmediatamente en contacto con el antioxidante e impide que puedan ocurrir las reacciones de oxidación enzimática

causada por las enzimas polifenoxidasas. Para que el antioxidante pueda ejercer su efecto, debe ser empleado antes que ocurra el pardeamiento del zumo debido a que este proceso es raramente reversible. (Manrique et al., 2005)

### **Extracción de FOS**

Se procede a realizar la extracción en un tanque agitador con calefacción manteniendo una agitación y temperatura constante. Las condiciones óptimas para la extracción de los FOS se logran sometiendo el material vegetal a una extracción de 82°C durante 25 minutos. Para la técnica de extracción de FOS de yacón, las variables más relevantes son relación solvente – materia prima y la temperatura. (Arango et al., 2008)

“Se adiciona agua en una proporción de 550 ml por kilogramo de raíz, esta proporción representa el mínimo consumo de agua necesario para lograr una razonable extracción de los FOS” (López, 2007. Pág. 94).

### **Filtración**

Se procede a realizar 2 filtraciones, la primera por medio de un filtro prensa y la segunda a través un filtro de carbón activado.

**Filtrado 1.** Se realiza el filtrado del extracto haciendo uso de un filtro prensa, en el cual se retiene el bagazo y todo tipo de sólidos en suspensión que se encuentran en el extracto (Rodríguez, 2018).

El bagazo o borra de yacón obtenido de la etapa de filtración contiene agua retenida con una concentración de azúcares de alrededor de 8°Brix en promedio (gramos de sólidos solubles por 100 gramos de bagazo). Para minimizar estas pérdidas de azúcares, se realiza un lavado con 10% (v/p) de agua caliente, pudiendo recuperarse hasta el 80% de los azúcares residuales. (López, 2007)

**Filtración 2.** Se filtra el extracto extraído por un filtro de carbón activado, dicho proceso se realiza para purificar el extracto eliminando residuos que se pueden

encontrar presentes en el mismo y que no sean parte de los FOS, tales como colorantes u otros residuos. (Montenegro, 2017)

### **Concentración**

El principal objetivo de esta operación es eliminar el agua y elevar la concentración de sólidos solubles del jarabe de 10° a 40° Brix en un concentrador al vacío. En este proceso se toma una pequeña muestra cada 10 minutos para controlar el nivel de concentración en °Brix. (Pinto & Rosales, 2007)

“El jugo de yacón ingresa al evaporador, por lo general con 8 a 12° Brix (dependiendo del índice refractométrico de las raíces)” (Manrique et al., 2005. Pág, 16). “Es sumamente importante realizar esta operación en el proceso productivo pues le brinda al producto un nivel de grados Brix alto para una mejor liofilización, ya que se desarrolla una mayor superficie por unidad de volumen” (Rodríguez, 2018. Pág. 70).

### **Adición del viabilizador**

Luego de la concentración del jarabe, se le adiciona el almidón modificado llamado maltodextrina como viabilizador, con el propósito de proporcionar facilidad técnica para secar, evitar el colapso estructural, reducir la higroscopicidad del producto y aumentar la concentración inicial de los sólidos solubles, aumentando su temperatura crítica. Además, en esta operación se debe acondicionar la materia prima para la posterior liofilización, pues estos productos no deben ser maniobrados luego de haber culminado el proceso. (Rodríguez, 2018)

Se adiciona almidón modificado en una proporción de 4,5%. Cabe señalar que es deseable reducir el contenido de agua tanto como sea posible y de esa forma aumentar la temperatura de transición. Lo que se logra añadiendo maltodextrina o polímeros de alto peso molecular que permitan usar temperaturas de liofilización más altas, disminuyendo el gasto de energía e incrementando la velocidad de secado sin riesgo del colapso del producto. (Mindani & Guevara, s/f)



### **Secado por liofilización**

El producto primero se congela a  $-20^{\circ}\text{C}$  durante 4 horas aproximadamente, luego pasa directamente a la sublimación del agua ya congelada que se efectúa por 16 horas y 4 horas de desorción aproximadamente, sumando alrededor de 24 horas de trabajo con el consiguiente costo de energía. (Rodríguez, 2018)

Para llevar a cabo una liofilización exitosa es recomendable poder controlar las diferentes temperaturas a las que se debe mantener el yacón, y tener la posibilidad de controlar la presión parcial y total del sistema. El proceso se realiza bajo las siguientes condiciones: temperatura del condensador de vapor  $-50^{\circ}\text{C}$ , presión de vacío 15 Pa, temperatura de la placa de secado  $36^{\circ}\text{C}$ . (Rodríguez, 2018)

“Una de las principales ventajas de la liofilización es que, al rehidratar los productos, éstos conservan sus características organolépticas (textura y sabor)” (Rodríguez, 2018, Pág. 71)

El secado o desecación primaria se da por sublimación del agua, que es el solvente congelado. Debido a que el equipo de liofilización trabaja al vacío, la presión y la temperatura están bajo el punto triple del agua, lo que quiere decir que el agua congelada pasará de frente al estado gaseoso, de modo que no se pierden las propiedades nutritivas del yacón. Para llevar a cabo este trabajo, es obligatorio aplicar calor al producto sin aumentar su presión; lo que se realiza por conducción y radiación. Estas se utilizan en conjunto al colocar el producto en bandejas sobre placas calefactoras separadas a una distancia delimitada. Así, se logra calentar por conducción en contacto directo desde el fondo y por radiación desde la parte superior. Seguidamente se realiza otro secado por desorción. Consiste en evaporar el agua ligada o no congelable que queda aún en los alimentos con alta temperatura en las bandejas y la presión al mínimo. Durante esta etapa se logra que el porcentaje de humedad sea menor el 2%. En este secado, la temperatura de las bandejas puede subir sin riesgo a la fusión del producto puesto que ya no existe agua libre en el mismo. Cabe resaltar la importancia de llevar un buen control del porcentaje de humedad con el que sale el

producto del equipo de liofilización, pues solo de esta manera se puede garantizar su estabilidad. Es así como en esta última etapa se eliminan todos los restos de agua que pueden haber quedado en el yacón. (Rodríguez, 2018)

### **Envasado**

El producto que se retira del liofilizador se encuentra como polvo listo para envasarse en frascos de polipropileno que aseguren la protección contra el oxígeno y la luz (Rodríguez, 2018). El envasado se realizará de forma manual debido, ya que la cantidad de producto obtenido es bajo.

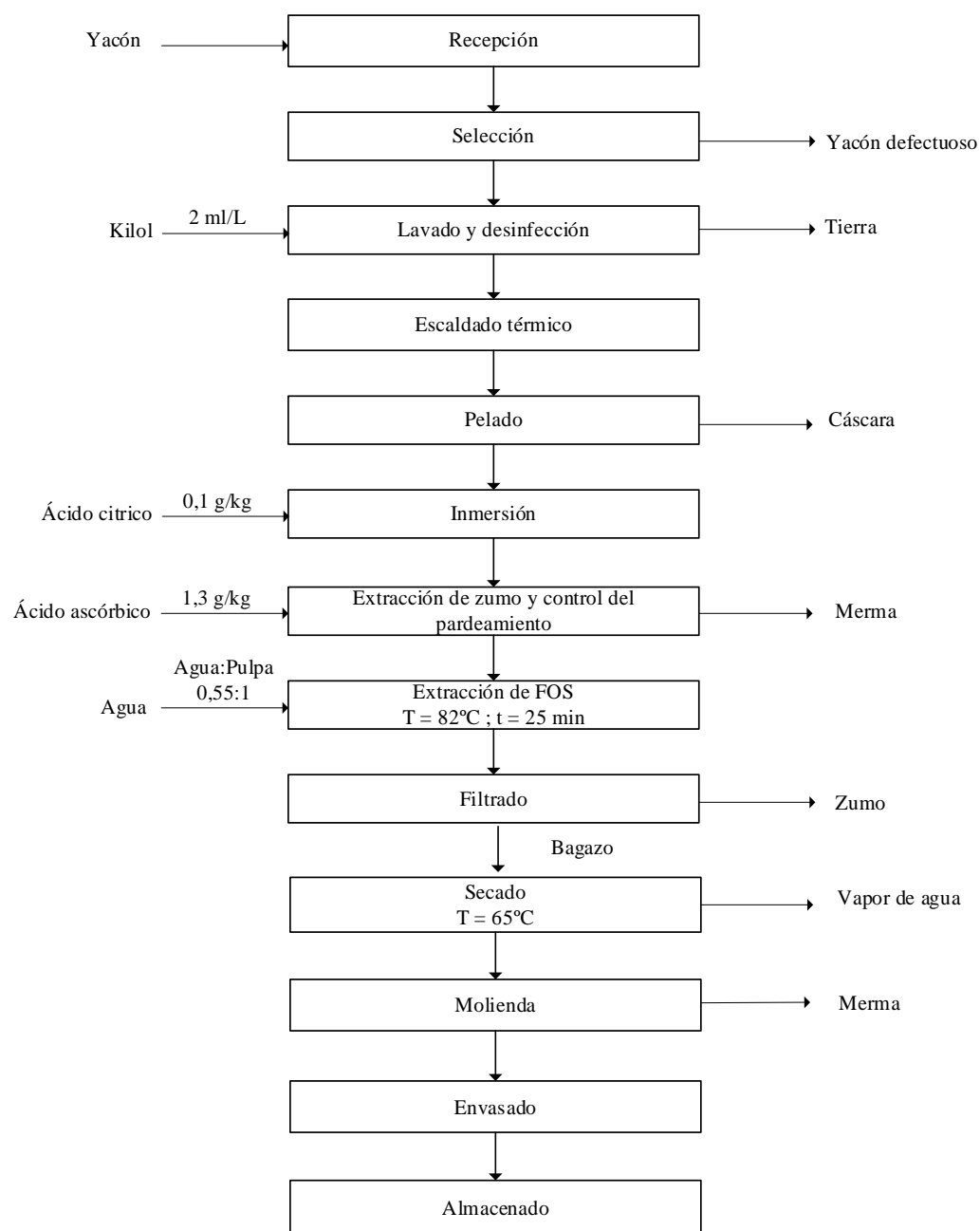
“Finalmente, se etiquetan los frascos con el fin de proporcionar al consumidor la información del producto” (Rodríguez, 2018. Pág. 71)

### **Almacenado**

“El producto debe ser almacenado en un lugar fresco y seco, que garantice su posterior comercialización” (Soria, 2017. Pág. 65).

## **4.8 Diagrama de flujo del proceso de obtención de infusión de yacón**

En la figura 4.2, se muestra el diagrama de flujo del proceso de obtención de infusión de yacón, cabe resaltar que desde la operación de recepción hasta el filtrado son operaciones compartidas con el proceso de elaboración del edulcorante de yacón.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.2.** Diagrama de flujo del proceso de obtención de infusión de yacón.

#### 4.8.1 Descripción del proceso de obtención de infusión de yacón

Se presenta el siguiente proceso para la elaboración de infusión de yacón, teniendo en cuenta que la presentación comercial será en cajas de cartón de 20 unidades de infusión en saquitos.

## **Secado**

El bagazo se escurre y se coloca en bandejas de malla de acero inoxidable para ser secado en un secador de bandejas, con una velocidad de aire de 2,1 m/s a 65 °C, hasta peso constante y obtener una humedad final aproximada de 5%. (Juárez, 2015)

## **Molienda**

El bagazo seco se enfría para su posterior reducción de tamaño en una licuadora industrial. “El molido es importante, ya que aparte de triturar el bagazo de esta forma da más sabor a la infusión” (Nina, 2013. Pág. 81).

## **Envasado**

Se procede a envasar la infusión en un equipo de envasado automático de té en saquitos de papel de filtro termosellable con hilo. El gramaje de envasado es de 2g de infusión de yacón por saquito de papel filtro termosellable. (Nina, 2013)

Posteriormente se empaca 20 unidades de saquitos de infusión en cajas de cartón pequeñas con una bolsa plástica en su interior, donde se colocan los saquitos de infusión para mejor conservación de los mismos.

## **Almacenado**

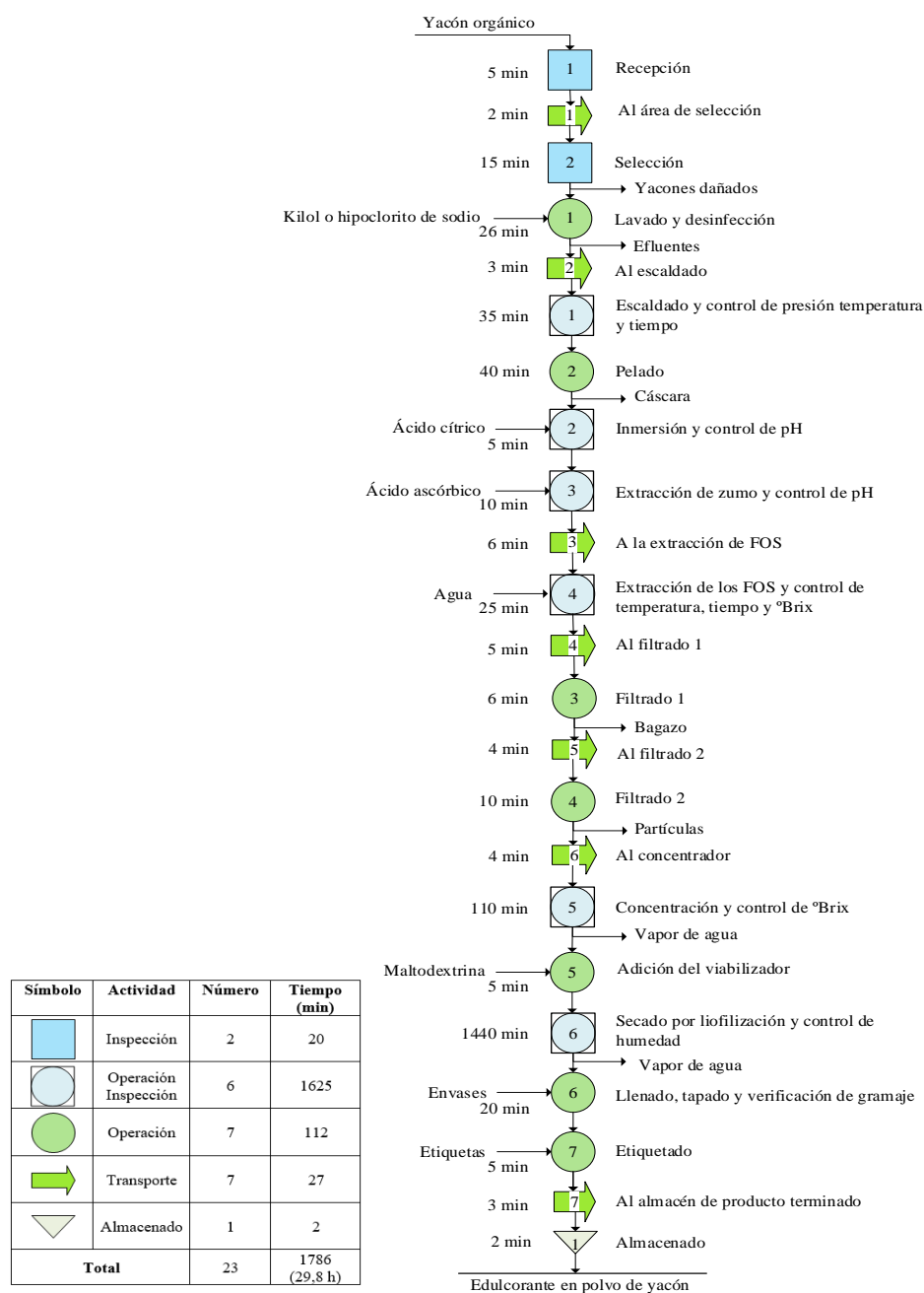
“El producto debe ser almacenado en un lugar fresco y seco, que garantice su posterior comercialización” (Soria, 2017. Pág. 65).

### **4.9 Diagrama de procesos para la obtención del edulcorante en polvo e infusión de yacón**

En los diagramas de operaciones de obtención del edulcorante en polvo e infusión de yacón se muestran las operaciones a llevar a cabo a lo largo del proceso productivo, así como los insumos empleados, las pérdidas, el tiempo a emplear en cada una de las operaciones calculados en base a la capacidad de los equipos que se emplearán y tomando como referencia a Pinto & Rosales (2007).

### 4.9.1 Diagrama de operaciones de la obtención de edulcorante en polvo de yacón

En la figura 4.3, se presenta el diagrama de operaciones de la obtención de edulcorante en polvo de yacón.

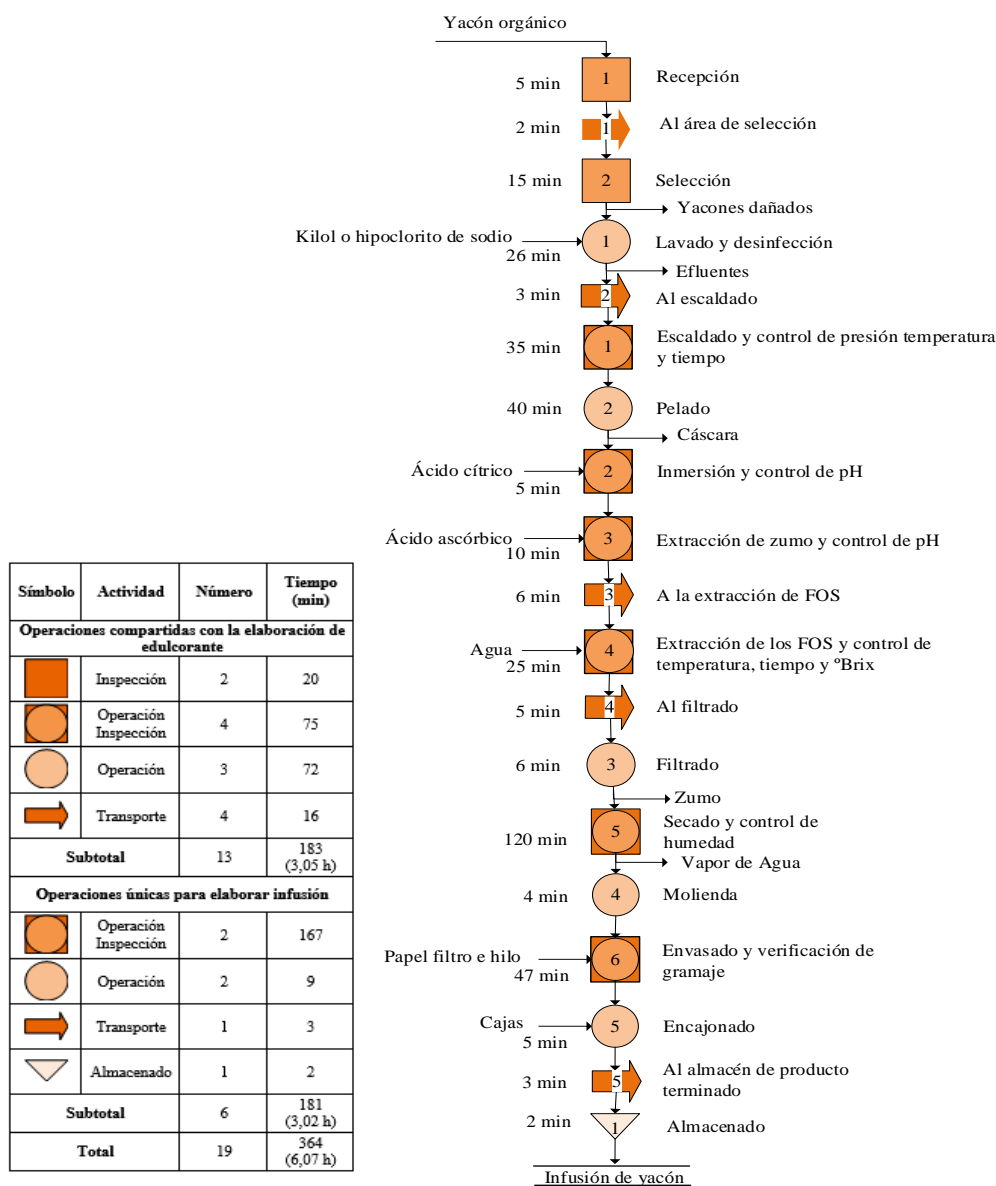


Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.3.** Diagrama de operaciones de obtención de edulcorante en polvo de yacón.

#### 4.9.2 Diagrama de operaciones de la obtención de infusión de yacón

En la figura 4.4, se muestra el diagrama de operaciones de la obtención de infusión de yacón, donde las operaciones del proceso productivo desde la recepción hasta el filtrado son compartidas con las operaciones que intervienen en el proceso de obtención del edulcorante en polvo de yacón, obteniendo del primer filtrado el bagazo de yacón el cual es empleado para la elaboración de la infusión.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.4.** Diagrama de operaciones de obtención de infusión de yacón.

#### 4.10 Balance de materia de la obtención de edulcorante en polvo e infusión de yacón

El balance de materia para la obtención del edulcorante en polvo y de la infusión de yacón fue realizado en base a la cantidad de materia prima a procesar por día en la planta piloto de procesamiento de yacón, la cual es de 80 kg/día, de acuerdo con el tamaño de planta determinado, como se muestra en la tabla 3.5.

##### 4.10.1 Consideraciones para realizar el balance de materia del edulcorante en polvo e infusión de yacón

Para poder realizar el balance de materia se tomó datos referenciales de documentos relacionados con el presente proyecto, los cuales se detallan en la tabla 4.11.

**Tabla 4.11**

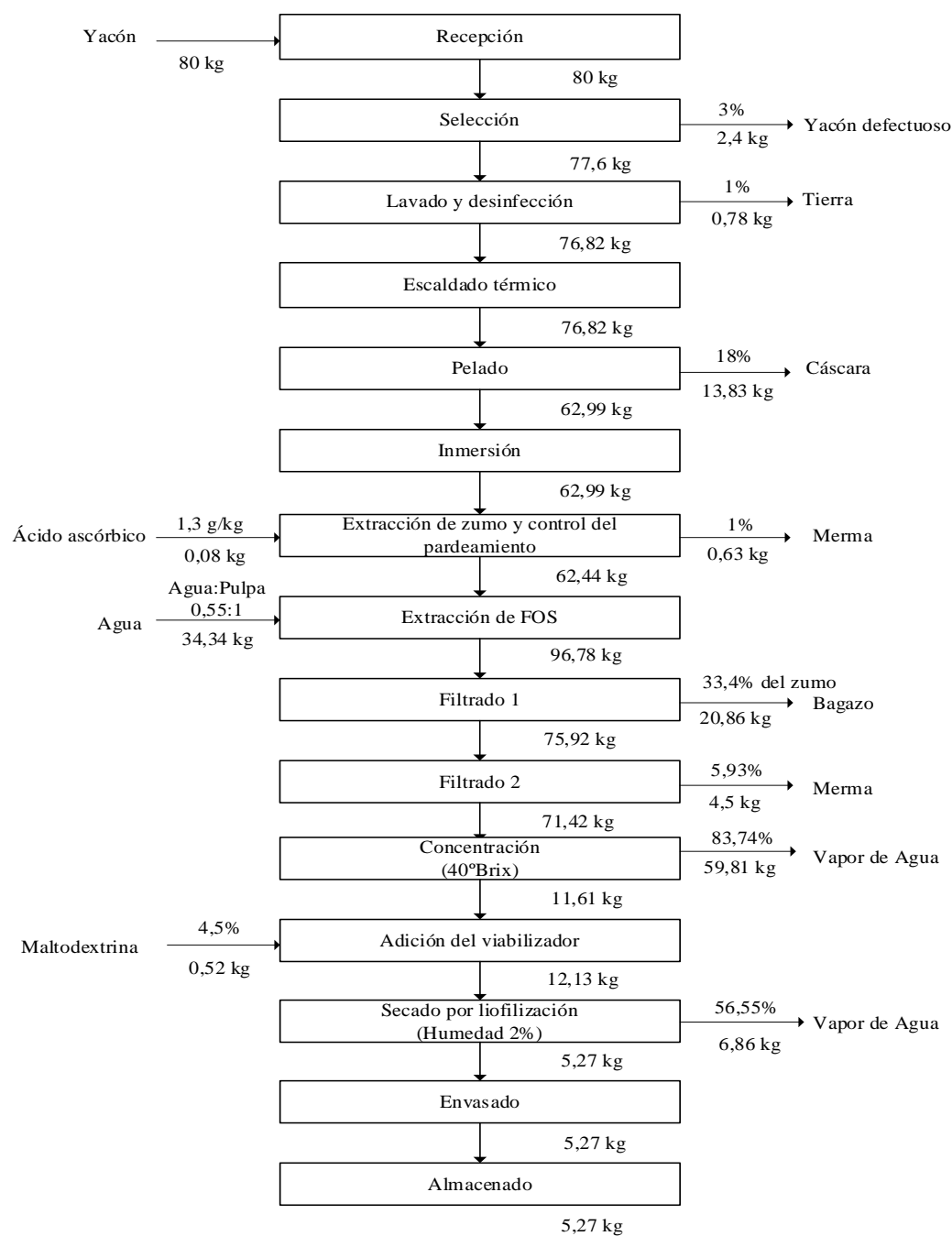
*Consideraciones para realizar el balance de materia del edulcorante e infusión de yacón*

Operación	Referencia		Autor	Año
	Detalle	%		
<b>Edulcorante en polvo</b>				
Selección	Yacones dañados	3,00	Rodriguez	2018
Lavado y desinfección	Tierra	1,00	Rodriguez	2018
Pelado	Cáscara	18,00	Manrique et al.	2005
Extracción de zumo y control del pardeamiento	Merma	1,00	Rodriguez	2018
Filtrado 1	Bagazo (del zumo extraído)	33,40	Ayllas et al.; Rodriguez	2019; 2018
Filtrado 2	Merma	5,93	Ruiz	2013
Concentración	Vapor de agua (extracto concentrado hasta 40°Brix)	83,75	Rodriguez	2018
Secado por liofilización	Vapor de agua (edulcorante con 2% de humedad final)	54,61	Rodriguez	2018
<b>Infusión de yacón</b>				
Secado	Vapor de agua	82,12	Pinto & Rosales	2007
Molienda	Merma	0,10	Nina	2013

Fuente: Elaboración propia

#### 4.10.2 Balance de materia de obtención de edulcorante en polvo de yacón

En la figura 4.5, se detalla el balance de materia para la obtención del edulcorante en polvo de yacón en base a 80 kg/día de materia prima a procesar.



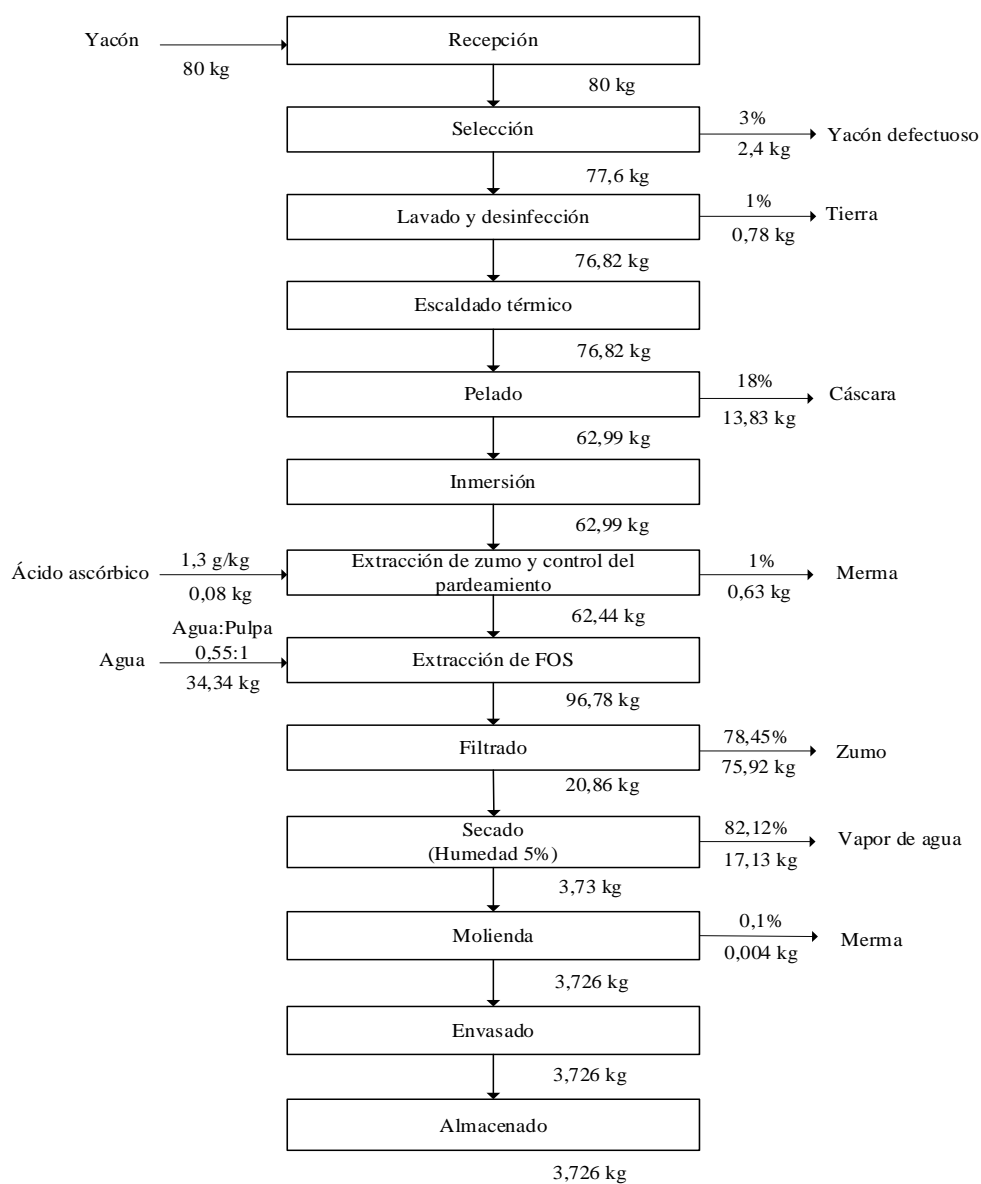
Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.5.** Balance de materia de obtención de edulcorante en polvo de yacón.



#### 4.10.3 Balance de materia de obtención de infusión de yacón

Las operaciones del proceso productivo de obtención de infusión de yacón, desde la recepción hasta la filtración, son compartidas con el proceso de elaboración del edulcorante en polvo de yacón, debido a que la infusión se obtiene en base al residuo (bagazo) de la primera filtración del proceso de elaboración del edulcorante en polvo. En la figura 4.6 se muestra el balance de materia de obtención de la infusión de yacón.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.6.** Balance de materia de obtención de infusión de yacón.

#### 4.11 Selección de la maquinaria para la elaboración del edulcorante en polvo de yacón

El método a emplear para la selección de la maquinaria será el método de factores ponderados, donde se tomará como máxima calificación para cada factor a evaluar el valor de 10 y como calificación mínima el valor de 0, de acuerdo a lo que indica Almanza et al. (2014).

La ponderación de los factores que se tomó en cuenta para la selección de la maquinaria que interviene en el proceso productivo de obtención del edulcorante en polvo e infusión de yacón se detalla en la tabla 4.12.

**Tabla 4.12**

*Ponderación de los factores a evaluar en la selección de la maquinaria*

Nº	Factor evaluado	Ponderación (%)
1	Tipo de materia prima	0,18
2	Capacidad	0,23
3	Tipo de material	0,15
4	Función	0,20
5	Operación y mantenimiento	0,10
6	Costo	0,14
<b>Total</b>		1,00

Fuente: Elaboración propia

Se evaluó dos tipos de máquinas o equipos por cada operación del proceso productivo que se consideró conveniente valorar, con el fin de seleccionar la maquinaria más favorable, tanto técnica como económicamente factible.

En cuanto a los requerimientos de la maquinaria para la elaboración del edulcorante en polvo de yacón, se tomó un margen del 25% como mínimo para determinar la capacidad requerida de cada máquina o equipo, ya que no es recomendable que los equipos trabajen a su máxima capacidad. La capacidad requerida de cada maquinaria se estableció en función a los datos obtenidos de cada operación en el balance de materia realizado para la elaboración del edulcorante en polvo, como se muestra en la figura 4.5. Por otra parte, en los casos en que la capacidad requerida de la maquinaria o equipo no se encontró disponible en el mercado, se optó por seleccionar a equipos

con la capacidad mínima de procesamiento de acuerdo a la tecnología o maquinaria disponible en el mercado.

#### 4.11.1 Selección

En la tabla 4.13, se muestran dos tipos de maquinaria que se puede emplear para realizar la selección de la materia prima. La maquinaria debe ser de 100 kg de capacidad como mínimo, considerando un margen del 25%, ya que la cantidad de yacón a procesar es 80 kg/día.

**Tabla 4.13**

*Matriz de decisión de la maquinaria para la selección de la materia prima*

Factor evaluado	PO	Alternativas					
		Mesa			Tina		
		Descripción	C	P	Descripción	C	P
1. Tipo de materia prima	0,18	Alimentos	10	1,80	Alimentos	10	1,80
2. Capacidad	0,23	180*150*80 cm	8	1,84	150 L	9	2,07
3. Tipo de material	0,15	Acero Inoxidable 304	10	1,50	Acero Inoxidable 304	10	1,50
4. Función	0,20	Selección	6	1,20	Selección, lavado, inmersión	9	1,80
5. Operación y mantenimiento	0,10	Fácil operación y mantenimiento	9	0,90	Fácil operación y mantenimiento	9	0,90
6. Costo	0,14	Bajo	9	1,26	Medio	7	0,98
<b>Total</b>	<b>1,00</b>	<b>Total</b>		<b>8,50</b>	<b>Total</b>		<b>9,05</b>

Nota. PO=Ponderación, C=Calificación, P=Puntaje

Fuente: Elaboración propia

Se eligió a la tina como maquinaria para la selección de la materia prima, aunque el costo de esta es mayor a la mesa de acero inoxidable. La razón por la cual se optó por la tina se debe a que en ella se puede realizar una práctica selección de los yacones sumergiéndolos en agua para separar las raíces podridas, ya que estas flotan a la superficie.

#### 4.11.2 Lavado y desinfección

Se requiere una máquina de limpieza con cepillos, para poder retirar la tierra que poseen los yacones, este equipo debe tener una capacidad de 100 kg como mínimo. En

la tabla 4.14, se muestra la matriz de selección de la máquina de limpieza detallando las opciones de maquinaria a evaluar de acuerdo a la tecnología disponible en el mercado.

**Tabla 4.14**

*Matriz de selección de la máquina de limpieza y desinfección*

Factor evaluado	PO	Alternativas					
		Máquina de lavado con cepillos			Máquina de lavado en línea		
		Descripción	C	P	Descripción	C	P
1. Tipo de materia prima	0,18	Vegetales, raíces y frutas	10	1,80	Vegetales y frutas	9	1,62
2. Capacidad	0,23	180 kg/h	8	1,84	180 kg/h	8	1,84
3. Tipo de material	0,15	Acero Inoxidable 304	10	1,50	Acero Inoxidable 304	10	1,50
4. Función	0,20	Lavado con spray, inmersión y cepillos	9	1,80	Lavado en línea con spray	5	1,00
5. Operación y mantenimiento	0,10	Fácil operación y mantenimiento	8	0,80	Fácil operación y mantenimiento	8	0,80
6. Costo	0,14	Medio	9	1,26	Medio	9	1,26
<b>Total</b>	<b>1,00</b>	<b>Total</b>	<b>9,00</b>		<b>Total</b>	<b>8,02</b>	

Nota. PO=Ponderación, C=Calificación, P=Puntaje

Fuente: Elaboración propia

Se seleccionó la máquina de lavado con cepillos para realizar una mejor limpieza de los yacones permitiendo retirar la tierra que se encuentra en su superficie, así también el diseño de este equipo permite realizar la inmersión de las raíces en solución de kilol para realizar la desinfección de los mismos.

#### 4.11.3 Escaldado térmico

Para esta operación es necesario un equipo de 100kg de capacidad como mínimo, de material de acero inoxidable 304. En la tabla 4.15, se muestra la matriz de selección del equipo de escaldado térmico para inactivar las enzimas y ablandar la cáscara de las raíces de yacón para facilitar su pelado.

**Tabla 4.15***Matriz de selección del equipo de escaldado térmico*

Factor evaluado	PO	Alternativas					
		Autoclave A			Autoclave B		
		Descripción	C	P	Descripción	C	P
1. Tipo de materia prima	0,18	Frutas, vegetales, enlatados	10	1,80	Frutas, vegetales, enlatados	10	1,80
2. Capacidad	0,23	120 L	9	2,07	100 L	8	1,84
3. Tipo de material	0,15	Acero inoxidable 304	10	1,50	Acero inoxidable 304	10	1,50
4. Función	0,20	Esterilización, escaldado, secado, ablandamiento de cáscara	10	2,00	Esterilización, escaldado, ablandamiento de cáscara	9	1,80
5. Operación y mantenimiento	0,10	Mediana facilidad de operación, bajo costo de mantenimiento	8	0,80	Mediana facilidad de operación, bajo costo de mantenimiento	8	0,80
6. Costo	0,14	Medio	9	1,26	Medio	9	1,26
<b>Total</b>	<b>1,00</b>	<b>Total</b>		<b>9,43</b>	<b>Total</b>		<b>9,00</b>

Nota. PO=Ponderación, C=Calificación, P=Puntaje

Fuente: Elaboración propia

Se seleccionó el autoclave A aunque ambos tienen un costo similar, el autoclave A es de mayor capacidad permitiendo en un futuro procesar mayor cantidad de materia prima que la planteada, además cuenta con la función de secar los alimentos antes de esterilizarlos.

#### 4.11.4 Extracción de zumo

Para reducir el tamaño de los yacones pelados se requiere un equipo de 80-100 kg como mínimo de capacidad, de material de acero inoxidable 304. En la tabla 4.16, se muestra la matriz de selección del equipo de acuerdo a la tecnología y capacidad disponible.

**Tabla 4.16***Matriz de selección de la máquina extractora de zumo*

Factor evaluado	PO	Alternativas					
		Extractor de zumos			Exprimidor prensa en frío		
		Descripción	C	P	Descripción	C	P
1. Tipo de materia prima	0,18	Frutas y vegetales	10	1,80	Frutas y vegetales	10	1,80
2. Capacidad	0,23	100-500 kg/h	10	2,30	100-500 kg/h	10	2,30
3. Tipo de material	0,15	Acero Inoxidable 304	10	1,50	Acero Inoxidable 304	10	1,50
4. Función	0,20	Obtención de zumo	7	1,40	Obtención de zumo en frío	9	1,80
5. Operación y mantenimiento	0,10	Fácil operación y mantenimiento	9	0,90	Fácil operación y mantenimiento	9	0,90
6. Costo	0,14	Medio	9	1,26	Medio	9	1,26
<b>Total</b>	<b>1,00</b>	<b>Total</b>	<b>9,16</b>		<b>Total</b>	<b>9,56</b>	

Nota. PO=Ponderación, C=Calificación, P=Puntaje

Fuente: Elaboración propia

Se seleccionó el exprimidor prensa en frío para obtener el zumo de yacón, debido a que este equipo permite conservar mayor cantidad nutrientes, a diferencia del extractor normal que genera calentamiento del producto provocando mayor oxidación y pérdida las propiedades nutricionales.

#### 4.11.5 Extracción sólido-líquido

Para la extracción de los fructooligosacáridos (FOS) se requiere un equipo de agitación con calefacción de 200L de capacidad, el cual debe estar fabricado de acero inoxidable 304. En la tabla 4.17, se muestran los equipos a evaluar para la realizar la extracción sólido-líquido.

**Tabla 4.17***Matriz de selección del equipo de extracción sólido-líquido*

Factor evaluado	PO	Alternativas					
		Tanque agitador con calefacción			Tanque agitador ultrasónico con calefacción		
		Descripción	C	P	Descripción	C	P
1. Tipo de materia prima	0,18	Alimentos	10	1,80	Alimentos	10	1,80
2. Capacidad	0,23	200 L	10	2,30	200 L	10	2,30
3. Tipo de material	0,15	Acero inoxidable 304	10	1,50	Acero inoxidable 304	10	1,50
4. Función	0,20	Extracción, mezclado, homogenizado	8	1,60	Extracción, mezclado, homogenizado en menor tiempo	9	1,80
5. Operación y mantenimiento	0,10	Mediana facilidad operación y mantenimiento	8	0,80	Mediana facilidad de operación y mantenimiento	8	0,80
6. Costo	0,14	Bajo	9	1,26	Alto	6	0,84
<b>Total</b>	<b>1,00</b>	<b>Total</b>	<b>9,26</b>		<b>Total</b>	<b>9,04</b>	

Nota. PO=Ponderación, C=Calificación, P=Puntaje

Fuente: Elaboración propia

Se seleccionó el tanque de agitación con calefacción debido ambos equipos pueden realizar la operación que se requiere, con la diferencia de que el tanque agitador ultrasónico realiza la operación en menor tiempo, pero su costo es mucho más alto y el rendimiento de extracción en ambos equipos no varía en gran magnitud.

#### 4.11.6 Concentración

Para concentrar el extracto de FOS se requiere un equipo de 80-100 LPH como mínimo de capacidad, de material de acero inoxidable. En la tabla 4.18, se muestran los equipos considerados para realizar la selección respectiva.

**Tabla 4.18***Matriz de selección del equipo de concentración*

Factor evaluado	PO	Alternativas					
		Concentrador al vacío de un solo efecto A			Concentrador al vacío de un solo efecto B		
		Descripción	C	P	Descripción	C	P
1. Tipo de materia prima	0,18	Alimentos	10	1,80	Alimentos	10	1,80
2. Capacidad	0,23	100 LPH	10	2,30	100 LPH	10	2,30
3. Tipo de material	0,15	Acero inoxidable 304	10	1,50	Acero inoxidable 304	10	1,50
4. Función	0,20	Concentrado al vacío	9	1,80	Concentrado al vacío	9	1,80
5. Operación y mantenimiento	0,10	Sistema de calentamiento p/vapor, mediana facilidad de mantenimiento	9	0,90	Sistema de calentamiento eléctrico, mediana facilidad de mantenimiento	6	0,60
6. Costo	0,14	Medio	8	1,12	Medio	8	1,12
<b>Total</b>	<b>1,00</b>	<b>Total</b>	<b>9,42</b>		<b>Total</b>	<b>9,12</b>	

Nota. PO=Ponderación, C=Calificación, P=Puntaje

Fuente: Elaboración propia

Se seleccionó el concentrador al vacío de un solo efecto A, debido a que su sistema de calentamiento es mediante vapor, a diferencia de la opción B, el cual tiene un sistema de calentamiento mediante electricidad (según los datos técnicos recabados de los proveedores de la plataforma de comercio electrónico Alibaba) y por tal razón representaría un gasto de energía eléctrica elevado.

#### 4.11.7 Secado

Para secar el extracto concentrado de FOS se requiere un liofilizador de 15kg/lote como mínimo de capacidad, de material de acero inoxidable. En la tabla 4.19 se muestran los equipos considerados para realizar la selección respectiva de acuerdo a la capacidad disponible en el mercado.



**Tabla 4.19***Matriz de selección del equipo de liofilización*

Factor evaluado	PO	Alternativas					
		Liofilizador A			Liofilizador B		
		Descripción	C	P	Descripción	C	P
1. Tipo de materia prima	0,18	Alimentos	10	1,80	Alimentos	10	1,80
2. Capacidad	0,23	20 kg/lote	10	2,30	20 kg/lote	10	2,30
3. Tipo de material	0,15	Acero inoxidable 304	10	1,50	Acero inoxidable 304	10	1,50
4. Constitución y estructura del equipo	0,20	Materiales, accesorios y estructura no bien especificada	7	1,40	Materiales, accesorios, estructura y procedencia bien especificada	9	1,80
5. Operación y mantenimiento	0,10	Fácil operación y mediano mantenimiento	9	0,90	Fácil operación y mediano mantenimiento	9	0,90
6. Costo	0,14	Bajo	9	1,26	Medio	8	1,12
<b>Total</b>	<b>1,00</b>	<b>Total</b>		<b>9,16</b>	<b>Total</b>		<b>9,42</b>

Nota. PO=Ponderación, C=Calificación, P=Puntaje

Fuente: Elaboración propia

Se seleccionó el liofilizador A, aunque presenta un costo más elevado, debido a que de acuerdo con las especificaciones proporcionadas por el proveedor (a través de la plataforma de comercio electrónico Alibaba) acerca de la constitución y estructura del equipo fueron bien especificadas, además de que la procedencia de los accesorios y de partes de la estructura del equipo fueron detalladas, observando que las mismas provenían de marcas reconocidas.

#### **4.11.8 Maquinaria a emplear para la elaboración de edulcorante en polvo e infusión de yacón**

En la tabla 4.20, se detalla la maquinaria y equipos a emplear para la elaboración del edulcorante en polvo de yacón, los cuales fueron seleccionados de acuerdo a la tecnología disponible. Las especificaciones técnicas de toda la maquinaria y equipos se encuentran en el Anexo A.

**Tabla 4.20***Maquinaria a emplear para la elaboración de edulcorante en polvo de yacón*

Operación	Maquinaria	Capacidad	
		Unidad	Valor
Selección	Tina	L	150
Lavado y desinfección	Máquina lavadora con cepillos	kg/h	180
Escaldado térmico	Autoclave	L	120
Inmersión	Tina	L	150
Extracción de zumo	Exprimidor prensa en frío	kg/h	100-500
Extracción sólido-líquido	Tanque agitador con calefacción	L	200
Filtración 1	Filtro prensa	t/h	1
Filtración 2	Filtro de carbón activado	L/h	500
Concentración	Evaporador al vacío	LPH	100
Adición de viabilizador	Agitador eléctrico de laboratorio	L	40
Secado	Liofilizador	kg/lote	20

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.21, se detalla los equipos a emplear para la elaboración de infusión de yacón, los cuales fueron seleccionados de acuerdo a la tecnología disponible.

**Tabla 4.21***Equipos a emplear para la elaboración de infusión de yacón*

Operación	Equipo	Capacidad	
		Unidad	Valor
Secado	Secador de bandejas	kg/lote	60
Molienda	Licadora industrial	L	6
Envasado	Envasador automático de té	Bolsas/min	40-60

Fuente: Elaboración propia

#### 4.12 Requerimiento de personal

El personal requerido para la obtención de edulcorante en polvo de yacón se detalla en la tabla 4.22.

**Tabla 4.22***Requerimiento de personal para la obtención de edulcorante en polvo*

<b>Función</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Nº operarios p/ operación</b>
<b>Mano de obra directa</b>			
Encargado de recepción	5	0,08	1
Operador de selección y pesado	17	0,28	1
Operador de lavado y desinfección	26	0,43	1
Operador de escaldado térmico	38	0,63	1
Operador de pelado e inmersión	45	0,75	1
Operador de extracción de zumo	10	0,17	1
Operador de extracción sólido-líquido	31	0,52	1
Operador de filtración 1 y 2	25	0,42	1
Operador de concentración	114	1,90	1
Operador de adición de viabilizador	5	0,08	1
Operador de secado por liofilización	450	7,50	1
Operador de envasado	30	0,50	1
<b>Total</b>	796	13,27	2
<b>Mano de obra indirecta</b>			
Jefe de producción	120	2,00	1
Jefe de control de calidad	180	3,00	1
Personal de limpieza	150	2,50	1
<b>Total</b>			3

Nota. Color naranja=operaciones realizadas por el operador de producción; color verde=operaciones realizadas por el operador de liofilización.

Fuente: Elaboración propia

El personal requerido para la obtención de infusión de yacón se detalla en la tabla 4.23.

**Tabla 4.23***Requerimiento de personal para la obtención de infusión*

<b>Función</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Nº operarios p/ operación</b>
<b>Mano de obra directa</b>			
Operador de secado	120	2,00	1
Operador de molienda y tamizado	7	0,12	1
Operador de envasado	57	0,95	1
<b>Total</b>	184	3,07	1
<b>Mano de obra indirecta</b>			
Jefe de producción	20	0,33	1
Jefe de control de calidad	20	0,33	1
Personal de limpieza	30	0,50	1
<b>Total</b>			3

Nota. Color naranja=operaciones realizadas por el mismo operador.

Fuente: Elaboración propia

#### **4.13 Impacto Ambiental**

En el marco de la Ley 1333 de Medio Ambiente del 27 de abril de 1992, se promulgó el Reglamento Ambiental del Sector Industrial Manufacturero (RASIM) creado bajo Decreto Supremo N°26736 del 30 de julio de 2002, el cual tiene como objetivo reducir la generación de contaminantes y el uso de sustancias peligrosas, optimizar el uso de recursos naturales y de energía para proteger y conservar el medio ambiente; con la finalidad de promover el desarrollo sostenible. (Infoleyes, 2002)

En los fines del Reglamento incluye que las personas involucradas en la industria manufacturera cumplan las normas y apliquen los instrumentos establecidos, implementen soluciones a sus problemas ambientales y estén abiertas al diálogo con la sociedad y las autoridades, y sean más conscientes de los efectos de su actividad en el medio ambiente. (Infoleyes, 2002)

El ámbito de aplicación del presente Reglamento son las actividades económicas que involucran operaciones y procesos de transformación de materias primas, insumos y materiales, productos intermedios o finales, con excepción de las actividades del sector primario de la economía. Se excluyen del ámbito de aplicación las actividades manufactureras que corresponden a los sectores de Hidrocarburos de Minería y Metalurgia. (Infoleyes, 2002)

De acuerdo al reglamento la planta procesadora de yacón se encuentra dentro de la categoría 4, la cual es de bajo riesgo, por lo que no se requiere cumplir con documentaciones que son obligatorias para otras categorías, entre las cuales se tiene para la categoría 1, 2 y 3, el Manifiesto Ambiental Industrial (MAI); para la categoría 1 y 2, se exige la Declaratoria de Impacto Ambiental (DIA), Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental (EEIA) y Plan de Manejo Ambiental (PMA); y para la categoría 3 se exige la Descripción del Proyecto y un Plan de Manejo Ambiental (PMA). (Infoleyes, 2002)

Sin embargo, para todas las categorías se debe realizar el Registro Ambiental Industrial (RAI) en la Instancia Ambiental del Gobierno Municipal (IAGM). (Infoleyes, 2002)

### **Registro ambiental industrial (RAI)**

Se creó el Registro Ambiental Industrial (RAI) como instrumento de regulación de alcance particular para el registro y categorización de las unidades industriales del sector industrial manufacturero. (Infoleyes, 2002)

Toda unidad industrial en proyecto o en operación deberá registrarse en la IAGM donde se proyecte localizar o localice su actividad productiva, mediante el formulario de Registro Ambiental Industrial (RAI). (Infoleyes, 2002)

### **Responsabilidades de la industria manufacturera**

- **Responsabilidad.** La industria es responsable de la contaminación ambiental que genere en las fases de implementación, operación, mantenimiento, cierre y abandono de su unidad industrial, de acuerdo con lo establecido en el presente Reglamento. (Infoleyes, 2002)
- **Producción más limpia.** La industria será responsable de priorizar sus esfuerzos en la prevención de la generación de contaminantes a través de la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integral a procesos, productos y servicios, de manera que se aumente la eco-eficiencia y se reduzcan los riesgos para el ser humano y el medio ambiente. (Infoleyes, 2002)
- **Integralidad.** Las acciones de protección al medio ambiente que efectúe la industria deberán ser compatibles con la calidad del ambiente ocupacional y la protección de la salud de sus trabajadores. La reducción de la contaminación de un factor ambiental no deberá afectar negativamente en mayor grado a otros factores ambientales. (Infoleyes, 2002)

### Localización de industrias en proyecto

Las industrias en proyecto de la Categoría 4 serán ubicadas en una zona autorizada, conforme al Plan de Ordenamiento Urbano y Territorial Municipal. (Infoleyes, 2002)

#### 4.14 Programa de producción

En la tabla 4.24, se muestra el programa de producción proyectado para un año de fabricación de edulcorante en polvo e infusión de yacón, considerando que se procesa materia prima trece días al mes por cuatro meses al año, produciendo por día 21 unidades de frascos de 250g de edulcorante en polvo y 93 cajas de 20 unidades de saquitos de infusión de yacón.

**Tabla 4.24**

*Programa de la producción de la planta procesador de yacón*

Producto	Producción		
	unidades/día	unidades/mes	unidades/año
Edulcorante en polvo	21	273	1092
Infusión	93	1209	4836
<b>Total</b>	114	1482	5928

Fuente: Elaboración propia

#### 4.15 Proveedores de materia prima e insumos

Los proveedores de la materia prima serán los productores de yacón de las comunidades colindantes con la serranía El Condor de la provincia Cercado del departamento de Tarija, los mismos productores serán los encargados de transportar los yacones hasta la planta día por medio, tres veces por semana.

En cuanto a los insumos y demás materiales que se necesitan tanto para la obtención del edulcorante en polvo como de la infusión de yacón serán suministrados por proveedores nacionales, abasteciendo los almacenes de la planta una vez al mes.

En la tabla 4.25, se muestra los proveedores de materia prima e insumos para la obtención de edulcorante en polvo e infusión de yacón.

**Tabla 4.25**

*Proveedores de materia prima e insumos para la obtención de edulcorante e infusión de yacón*

	<b>Detalle</b>	<b>Proveedores</b>	<b>Ubicación</b>
Edulcorante en polvo	<b>Materia prima</b>		
	Yacón	Productores de yacón	Cercado, Tarija
	<b>Insumos</b>		
	Ácido ascórbico	Diemar	Tarija
	Maltodextrina	Diemar	Tarija
	Frascos	Vidroplast	Santa Cruz
	Etiquetas	Grafitec	Tarija
	Kilol	Diemar	Tarija
	Ácido cítrico	Diemar	Tarija
Infusión	Papel filtro termosellable para envasar	Diemar	Tarija
	Hilo para envasar té	Diemar	Tarija
	Cajas pequeñas para envasado	Concarton	Cochabamba

Fuente: Elaboración propia

#### **4.16 Requerimiento de materia prima e insumos**

Los requerimientos de materia prima e insumos fueron calculados en base a los datos obtenidos del balance de materia expuesto en la figura 4.5, realizado en base a 80 kg de yacón, de los cuales se obtiene 5,27 kg de edulcorante en polvo, lo que representa 21 frascos de 250g de edulcorante en polvo de yacón, asimismo, para determinar los requerimientos se considera que se procesa materia prima trece días al mes, por cuatro meses al año.

En la tabla 4.26, se muestran los requerimientos de materia prima e insumos para la obtención de edulcorante en polvo de yacón.

**Tabla 4.26**

*Requerimiento de materia prima e insumos para la elaboración de edulcorante en polvo de yacón*

Detalle	Unidad	Cantidad/ unidad	Cantidad/ día	Cantidad/ mes	Cantidad/ año
<b>Materia prima</b>					
Yacón	kg	3,8095	80,000	1.040,00	4.160,00
<b>Insumos</b>					
Ácido ascórbico	kg	0,0038	0,080	1,04	4,16
Maltodextrina	kg	0,0248	0,520	6,76	27,04
Frascos	Pieza	1,0000	21,000	273,00	1.092,00
Etiquetas	Pieza	1,0000	21,000	273,00	1.092,00
<b>Materiales indirectos</b>					
Kilol	L	0,0076	0,160	2,08	8,32
Ácido cítrico	Kg	0,0003	0,006	0,08	0,31

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.27, se muestran los requerimientos de materia prima e insumos para la obtención de infusión de yacón, calculados en base al balance de materia expuesto en la figura 4.6, cabe mencionar que no se tomó en cuenta las cantidades requeridas desde la recepción hasta el filtrado, ya que, son operaciones compartidas con la elaboración del edulcorante, por lo que se tomó como materia prima para la elaboración de la infusión al bagazo de yacón que se obtiene de la etapa de filtración.

**Tabla 4.27**

*Requerimiento de materia prima e insumos para la elaboración de infusión de yacón*

Detalle	Unidad	Cantidad/ unidad	Cantidad/ día	Cantidad/ mes	Cantidad/ año
<b>Materia prima</b>					
Bagazo de yacón	kg	0,224	20,86	271,18	1.084,72
<b>Insumos</b>					
Papel filtro para envasar infusiones	kg	0,004	0,33	4,31	17,22
Hilo para envasar infusión	m	4,011	373,00	4.849,00	19.396,00
Cajas pequeñas para envasar	Pieza	1,000	93,00	1.209,00	4.836,00
Bolsas de plástico pequeñas para envasar	Pieza	1,000	93,00	1.209,00	4.836,00

Fuente: Elaboración propia



#### 4.17 Servicios básicos

Para el funcionamiento de la planta procesadora de yacón se requiere el servicio de energía eléctrica, servicio de agua potable y servicio de gas.

##### 4.17.1 Requerimiento de energía eléctrica

En la tabla 4.28, se muestra el consumo de energía eléctrica en base a los equipos que utilizan en el proceso de obtención del edulcorante en polvo e infusión de yacón.

**Tabla 4.28**

*Consumo energético en la elaboración de edulcorante e infusión de yacón*

Detalle	Potencia (kW)	Tiempo de uso (h)	Consumo energético (kWh)			
			Unitario	Diario	Mensual	Anual
<b>Edulcorante en polvo</b>						
Máquina lavadora con cepillos	0,75	0,43	0,01536	0,3225	4,193	16,77
Autoclave vertical automático	6,00	0,58	0,16571	3,4800	45,240	180,96
Exprimidor prensa en frío	2,25	0,17	0,01821	0,3825	4,973	19,89
Tanque agitador con calefacción	3,00	0,42	0,06000	1,2600	16,380	65,52
Filtro prensa manual	0,75	0,10	0,00357	0,0750	0,975	3,90
Concentrador (bomba de vacío)	3,00	1,83	0,26143	5,4900	71,370	285,48
Liofilizador	15,00	24,00	17,14286	360,0000	4680,000	18720,00
Codificadora de inyección	0,01	0,08	0,00002	0,0004	0,005	0,02
Cinta transportadora para codificar	0,06	0,08	0,00023	0,0048	0,062	0,25
Caldero de vapor (bomba de agua)	0,55	2,00	0,05238	1,1000	14,300	57,20
Bomba centrífuga vertical	0,37	0,32	0,00564	0,1184	1,539	6,16
Agitador eléctrico de laboratorio	0,13	0,08	0,00050	0,0104	0,135	0,54
<b>Subtotal</b>	<b>31,87</b>	<b>30,09</b>	<b>17,72590</b>	<b>372,2440</b>	<b>4839,172</b>	<b>19356,69</b>
<b>Infusión de yacón</b>						
Secador de bandejas	9,45	2,00	0,20323	18,900	245,70	982,80
Envasador automático de té	3,70	0,78	0,03103	2,886	37,52	150,07
Licuada industrial	0,37	0,08	0,00032	0,030	0,38	1,54
Codificadora de inyección	0,01	0,17	0,00001	0,001	0,01	0,04
Cinta transportadora	0,06	0,17	0,00011	0,010	0,13	0,53
<b>Subtotal</b>	<b>13,59</b>	<b>3,20</b>	<b>0,23470</b>	<b>21,827</b>	<b>283,75</b>	<b>1.134,99</b>
<b>Total</b>	<b>45,45</b>	<b>33,29</b>	<b>17,96060</b>	<b>394,071</b>	<b>5.122,92</b>	<b>20.491,67</b>

Fuente: Elaboración propia

##### 4.17.2 Requerimiento de agua potable

El requerimiento de agua potable en el proceso de obtención del edulcorante e infusión de yacón, fueron calculados en base al agua requerida en las operaciones de los procesos productivos de acuerdo a la capacidad y tipo de operación del equipo;

asimismo, se tomó en cuenta el agua necesaria para la limpieza de maquinaria y equipos de acuerdo a la capacidad y tipo de lavado; y el agua requerida para la limpieza de piso, tomándose un 80% de la cantidad total de agua necesaria para la operación y limpieza de la maquinaria y equipos.

En cuanto al caldero se consideró que se necesita suministrar de vapor al evaporador al vacío, el cual requiere 110 kg/h de vapor, por 2 horas, requiriendo aproximadamente una cantidad de 115 L/h de agua, para producir dicha cantidad de vapor, de acuerdo al volumen específico del agua obtenido de tablas con un valor de 1,052 L/kg, a una presión de trabajo de 1,5 kg/cm<sup>2</sup> (presión normal de trabajo del caldero de acuerdo a especificaciones técnicas presentadas en el Anexo A.1), temperatura de saturación de 110,8°C y densidad de vapor saturado de 0,8467kg/m<sup>3</sup>.

En la tabla 4.29 se muestra el requerimiento de agua potable en el proceso de obtención del edulcorante e infusión de yacón.

**Tabla 4.29**

*Requerimiento de agua potable en el proceso de obtención del edulcorante e infusión*

Detalle	Consumo				
	Diario (L)	Unitario (m <sup>3</sup> )	Diario (m <sup>3</sup> )	Mensual (m <sup>3</sup> )	Annual (m <sup>3</sup> )
<b>Edulcorante en polvo</b>					
Selección	100	0,0048	0,10	1,30	5,20
Lavado y desinfección	300	0,0143	0,30	3,90	15,60
Inmersión	100	0,0048	0,10	1,30	5,20
Extracción sólido-líquido	35	0,0017	0,04	0,46	1,82
Caldero de vapor	230	0,0110	0,23	2,99	11,96
Limpieza de maquinaria y equipos	1.500	0,0714	1,50	19,50	78,00
Limpieza de piso	1.812	0,0863	1,81	23,56	94,22
<b>Subtotal</b>	4.077	0,1941	4,08	53,00	212,00
<b>Infusión</b>					
Limpieza de maquinaria y equipos	175	0,0019	0,18	2,28	9,10
Limpieza de piso	140	0,0015	0,14	1,82	7,28
<b>Subtotal</b>	315	0,0034	0,32	4,10	16,38
<b>Total</b>	4.392	0,1975	4,39	57,10	228,38

Fuente: Elaboración propia

### 4.17.3 Requerimiento de gas

En cuanto al requerimiento de gas para la planta, sólo se necesita para el funcionamiento del caldero de vapor, mediante el cual se suministrará de vapor al sistema de calentamiento del concentrador al vacío de un solo efecto.

En la tabla 4.30, se muestra el requerimiento de gas natural de acuerdo al consumo del caldero de vapor, según especificaciones técnicas del equipo detalladas en el Anexo A.

**Tabla 4.30**

*Requerimiento de gas el proceso de obtención del edulcorante de yacón*

Detalle	Consumo (m <sup>3</sup> /h)	Tiempo de uso (h)	Consumo día (m <sup>3</sup> )	Consumo unitario (MPC)	Consumo día (MPC)	Consumo mes (MPC)	Consumo anual (MPC)
Caldero	16,60	2,00	33,20	0,05	1,11	14,38	57,52
<b>Total</b>	16,60	2,00	33,20	0,05	1,11	14,38	57,52

Fuente: Elaboración propia

### 4.18 Servicios auxiliares

Como servicio auxiliar se requiere una sala de caldero para producir el vapor necesario para el sistema de calentamiento del concentrador al vacío de un solo efecto. Considerando que el consumo de vapor del concentrador es de 110 kg/h, se seleccionó un caldero de 200 kg/h de acuerdo a la capacidad disponible en el mercado.

Así también, se recomienda utilizar un ablandador de agua y un tanque de agua diario como complementos del caldero. Las capacidades de dichos complementos son de 300L/h para el ablandador de agua y 500L para el tanque de agua diario, de acuerdo a la sugerencia de la empresa proveedora del caldero de vapor según la capacidad del mismo.

### 4.19 Selección del proceso productivo de la planta piloto procesadora de yacón

La distribución de planta está relacionada con el tipo de proceso por el cual se regirá la planta, según Carro & Gonzáles (2013) para la selección del proceso se determina cómo se organizan los recursos alrededor del producto para conseguir implementar la

estrategia de la organización. Esta elección va a depender del volumen y del grado de personalización que se plantee dar a la planta. Es así que los procesos pueden clasificarse según el flujo de materiales, partes o personal y el destino que se le da a los bienes finales como se muestra a continuación.

a) Según el flujo. Se tiene cuatro grandes grupos y una quinta clasificación que es común en todos los autores, los cuales son:

- Talleres de trabajo
- Lotes
- Línea de ensamble o producción
- Flujo continuo
- Por proyecto

Otros autores clasifican a estos grupos en solamente tres:

- Flujo lineal
- Flujo intermitente
- Por proyecto

b) Según el destino

- Para inventario o stock
- Por pedido o por ordenes

En el presente proyecto se seleccionó el proceso de producción en línea con una producción semi continua, ya que la planta trabaja 3 veces semana, con intervalo de día por medio, obteniendo por cada proceso productivo un lote de producción.

**Proceso de producción en línea.** El proceso en línea está focalizado en el producto con los recursos organizados alrededor del mismo. Los volúmenes en general son altos y los productos son del tipo estandarizado. Los insumos se mueven de manera lineal de una estación a la siguiente en una secuencia ya fijada. Si lo viéramos como lotes, el tamaño del lote en este caso sería igual a 1. Cada operación realiza el mismo proceso una y otra vez con poca o ninguna variabilidad. (Carro & Gonzáles, 2013)

En estos casos siempre los productos van a inventario para que estén listos cuando el cliente coloca una orden. Las ordenes de producción no están directamente encadenadas a las órdenes de los clientes como en el caso de los procesos por lotes o por proyecto. A veces este tipo de proceso se denomina en masa cuando los volúmenes son importantes. (Carro & Gonzáles, 2013)

#### **4.20 Distribución de planta**

La primera misión de la ingeniería de una planta es la distribución global de todos los elementos que la integran. Esto implica el planteamiento general de una planta productiva y la distribución de los elementos que la constituyen, adecuadamente dimensionados, de acuerdo con la capacidad de producción prevista. La ubicación y dimensionado de los elementos involucra las operaciones y los servicios anexos, los almacenes, laboratorios, oficinas y otros centros complementarios, así como los sistemas de comunicación interna y con el exterior. (Cuatrecasas, 2017)

El objetivo final que se pretende alcanzar se centra en reducir la circulación de todo tipo y el coste global de los productos producidos. Para lograrlo, se debe conseguir un conjunto equilibrado en terrenos, edificios, máquinas, equipos, instalaciones y personal. Un planteamiento coherente y ordenado de tales elementos incidirá positivamente en el resultado de la actividad productiva de la empresa. Ello supone que, con los mismos elementos, pueden obtenerse resultados muy distintos en función del planteamiento realizado, en el que la ingeniería de procesos tiene un papel relevante. (Cuatrecasas, 2017)

De acuerdo a Cuatrecasas (2017) los principales factores que afectan al problema de la distribución en planta son:

- Movimiento de materiales, afectado por las distancias y complejidad de los itinerarios y la posibilidad de ayudarse con la gravedad.

- Movimiento de personal, aspecto en el que debe cuidarse tanto el personal de la empresa como el que venga del exterior.
- Eliminación de los desperdicios en tiempos perdidos de personas y materiales, sea en los procesos productivos u otros.
- Aspectos de la distribución, que pueden afectar a la calidad de los productos y el mantenimiento de los equipos de producción.
- Construcción e instalaciones de la planta, facilitados por el diseño de la misma y su distribución.
- Prever posibles ampliaciones futuras.
- Seguridad y condiciones de trabajo: eliminación de riesgos, ergonomía de la planta y sus puestos de trabajo, iluminación, etc.

#### **4.20.1 Planteamiento general para el estudio de la implantación de la distribución de planta**

En el proceso de análisis necesario de la distribución en planta global de un sistema productivo habrá que definir, ante todo, los desplazamientos de materiales a lo largo del proceso de producción, desde el momento de la recepción de las materias primas hasta el lugar de destino de los productos terminados. Otros aspectos a tener en cuenta de acuerdo a Cuatrecasas (2017) son:

- Los puestos de trabajo: volumen de producción que se espera de los mismos, espacio necesario, equipamiento, útiles, herramientas, etc.
- Los almacenes: cantidades de materiales y productos que deben contener, así como sus características, pesos y volúmenes.
- Las vías de enlace (pasillos, transportadores, etc.): cantidades de materiales y productos que desplazar por unidad de tiempo, frecuencia del transporte, características físicas de los mismos, peso y volumen.

- Tipo de disposición de los procesos: talleres, flujo lineal, células flexibles, ensamblajes en cadena, etc., y el tipo de operaciones y movimiento de materiales (manutención) que conlleven.

Para la distribución en planta se deberán determinar las superficies necesarias: las correspondientes a la maquinaria, la que se precise para su mantenimiento y reparación, para la circulación de personal, para el stock, etc. El método para elegir una solución entre todas las posibles deberá sopesar las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas. Dentro de esta comparación, se hará necesario tener en cuenta los gastos de instalación y de producción correspondientes, así como la posibilidad de modificar la distribución de manera sencilla y poco costosa, cuando haya que revisarla para que siga siendo la más adecuada, en previsión de las futuras variaciones en las gamas de productos o, simplemente, variaciones importantes en el volumen de producción. (Cuatrecasas, 2017)

#### **4.20.2 Distribución en planta en forma de U**

La distribución de la planta piloto procesadora de yacón determinada es en forma de U, cuya principal característica según WoltersKluwer (s.f.) es que los puestos de entrada y salida de la línea se encuentran en paralelo y normalmente manejados por el mismo operario.

Para conseguir la máxima flexibilidad, toda la planta, debe estar organizada como una combinación de líneas en U, de manera que se asemeje a un proceso continuo donde los elementos que intervienen son las células de fabricación. Estas células transformarán sus entradas en salidas y, a su vez, alimentarán a las células que las suceden. (WoltersKluwer, s.f.)

##### **4.20.2.1 Ventajas de la distribución en planta en forma de U**

De acuerdo a lo que indica WoltersKluwer (s.f.) las principales ventajas de esta distribución en forma de U son las siguientes:

- La reducción de las distancias entre los equipos facilita que un mismo operario pueda acceder a varias de ellas de manera simultánea. Esto proporciona una gran flexibilidad para adaptarse a los cambios de demanda, aumentando o reduciendo el número de trabajadores dentro de una línea y el número de máquinas manejado por cada uno de ellos, lo que va a implicar que estos trabajadores estén cualificados y que además posean un elevado grado de polivalencia.
- Ayuda a reducir la cantidad de existencias de productos en curso. Además, dicha cantidad permanecerá constante dado que será el mismo trabajador que introducen un nuevo ítem en la primera máquina, el encargado de sacar otro producto terminado en la última.
- Es muy fácil controlar los desequilibrios que puedan producirse dentro de la planta, ya que cualquier problema que retrase la salida de un producto será fácilmente detectado.
- Facilita la comunicación y la cooperación entre los trabajadores al estar físicamente muy cerca unos de otros, lo cual es fundamental para el correcto equilibrado de la línea.
- Disminuyen los tiempos de preparación de los equipos porque cada célula de trabajo está orientada a una gama reducida de ítems con características muy similares.

#### **4.21 Estimación de la superficie requerida para las áreas relacionadas con el proceso de producción de la planta piloto procesadora de yacón**

La superficie necesaria para la sala de producción de edulcorante en polvo e infusión de yacón fue calculada en base a las dimensiones de la maquinaria y equipos, la distancia entre equipos de acuerdo al manejo, funcionamiento y desarmado de los mismos si corresponde, así como al área de los pasillos para el movimiento de materiales y de personal.

En la tabla 4.31, se muestra la superficie calculada para la sala de producción de la planta piloto procesadora de yacón.



**Tabla 4.31***Superficie de la sala de producción de la planta piloto procesadora de yacón*

Operación	Elementos fijos	L (m)	W (m)	H (m)	D entre equipos (m)	L equipo más pasillo (m)	St (m <sup>2</sup> )
Pesado	Balanza	0,40	0,50	-	1,20	1,60	0,80
Selección	Tina	0,65	0,60	0,40	1,20	1,85	1,11
Lavado y desinfección	Lavadora con cepillos	1,10	0,80	0,75	1,20	2,30	1,84
Escaldado térmico	Autoclave vertical automático	0,60	0,64	1,14	1,20	1,80	1,15
Inmersión	Tina	0,65	0,60	0,40	1,20	1,85	1,11
Extracción de zumo	Exprimidor prensa en frío	1,01	0,41	1,20	1,20	2,21	0,91
Extracción sólido-líquido	Tanque agitador con calefacción	0,90	0,90	1,68	2,00	2,90	2,61
Filtración 1	Filtro prensa	1,50	0,70	0,68	1,20	2,70	1,89
Filtración 2	Filtro de carbon activado	0,80	0,80	1,22	1,20	2,00	1,60
Concentración	Concentrador al vacío	2,30	1,00	2,40	1,20	3,50	3,50
Secado por liofilización	Liofilizador	1,50	1,50	1,70	1,20	2,70	4,05
Envasado de edulcorante	Mesa de trabajo	1,80	1,50	0,80	1,20	3,00	4,50
Codificación	Cinta transportadora	1,50	0,25	0,75	2,00	3,50	0,88
Secado	Secador de bandejas	1,38	1,20	2,00	2,00	3,38	4,06
Envasado de infusión	Envasador automático de té	1,25	0,70	1,80	1,20	2,45	1,72
Encajonado	Mesa de trabajo	1,50	0,60	0,80	2,00	3,50	2,10
Superficie total (m <sup>2</sup> )							33,81
Pasillos							142,19
<b>Superficie total de la sala de producción (m<sup>2</sup>)</b>							<b>176,00</b>

Nota. L=largo; W=ancho; H=altura; D=distancia; St=superficie total

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.32, se muestra la superficie de las áreas requeridas en relación con el proceso productivo de obtención del edulcorante e infusión de yacón.

Tabla 4.32

Superficie de la planta piloto procesadora de yacón

	Áreas	Superficie (m <sup>2</sup> )
Área construida	<b>Producción</b>	
	Sala de producción	176,00
	Almacén de materia prima e insumos	34,00
	Almacén de producto terminado edulcorante	25,00
	Almacén de producto terminado infusión	25,00
	Laboratorio de control de calidad	20,00
	Zona de caldero	15,00
	<b>Administración</b>	
	Departamento de producción	30,00
	<b>Servicios</b>	
	Vestidores (damas)	7,50
	Vestidores (varones)	7,50
	Baños damas	6,00
	Baños varones	6,00
<b>Superficie construida</b>	<b>352,00</b>	
Área sin const.	<b>Área exterior</b>	
	Zona de parqueo	219,00
	Patio	60,00
	<b>Superficie sin construcción</b>	<b>279,00</b>
<b>Total</b>		<b>631,00</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.22 Layout de procesos y de equipos de la planta piloto procesadora de yacón

Como Cuatrecasas (2017) indica, la disposición física o distribución en planta de los procesos con sus elementos que componen un sistema productivo es un aspecto muy importante de la ingeniería de procesos (en lo relacionado con el diseño de los procesos de la planta) y de la ingeniería de plantas (en lo relativo a su implantación). La distribución en planta o layout se ve afectada por los siguientes aspectos determinantes:

- Flujo de los procesos
- Flujo de los materiales y productos en curso
- Situación de los materiales (supermercados, etc.) y medios de transporte
- Posición de los equipamientos
- Posición de los operarios
- Flujo del operario

- Flujo de la información

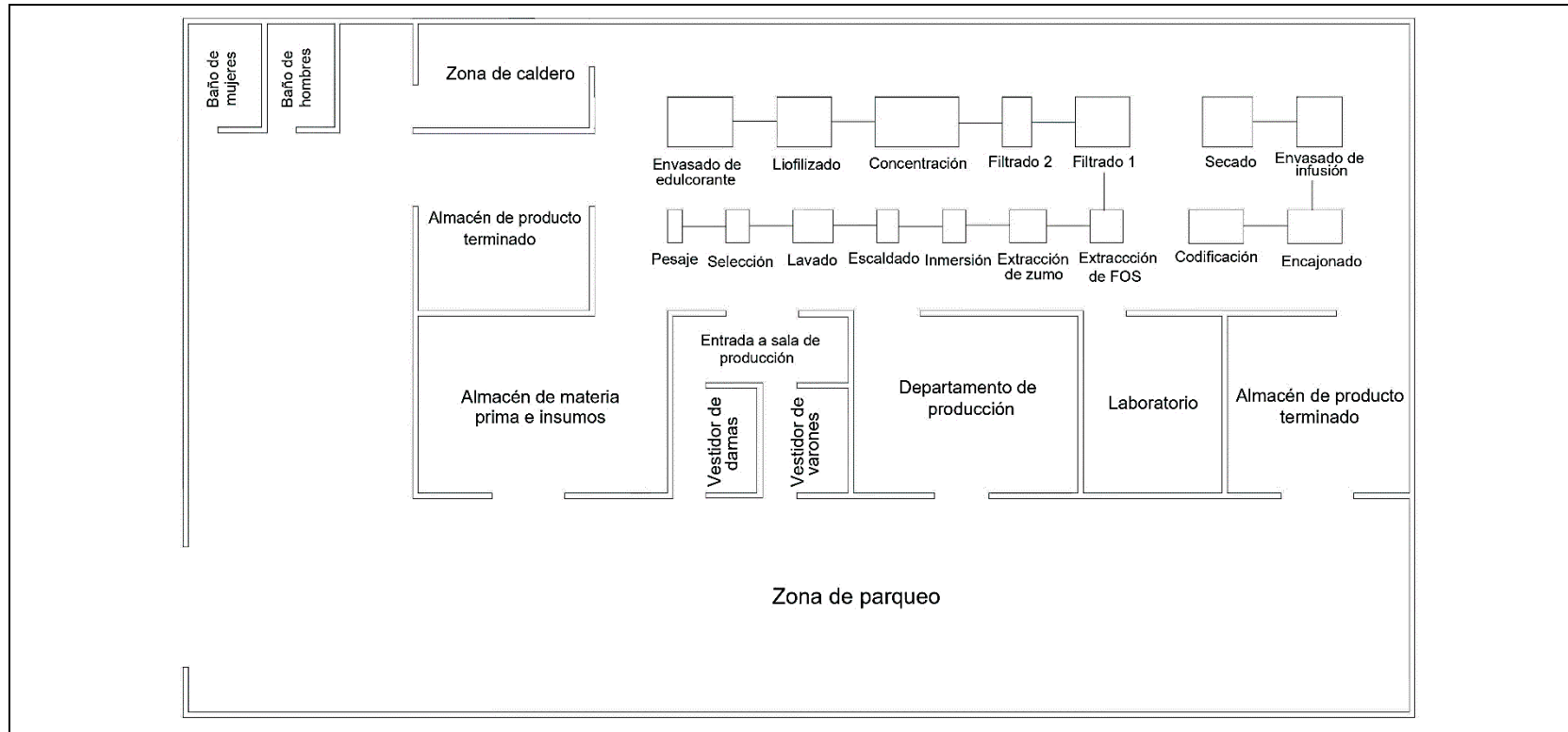
La distribución en planta puede realizarse a diferentes niveles:

- Layout general de planta
- Layout de un proceso
- Layout de una operación de un proceso

“En cada uno de los layout se determina las posiciones de las estaciones de trabajo, la posición de los operarios y el recorrido de materiales, productos y personas” (Cuatrecasas, 2017. Pág. 280).

En la figura 4.7, se muestra el plano de la disposición general de la planta piloto procesadora de yacón, en el cual se muestra la distribución de planta en forma U como un proceso en línea.

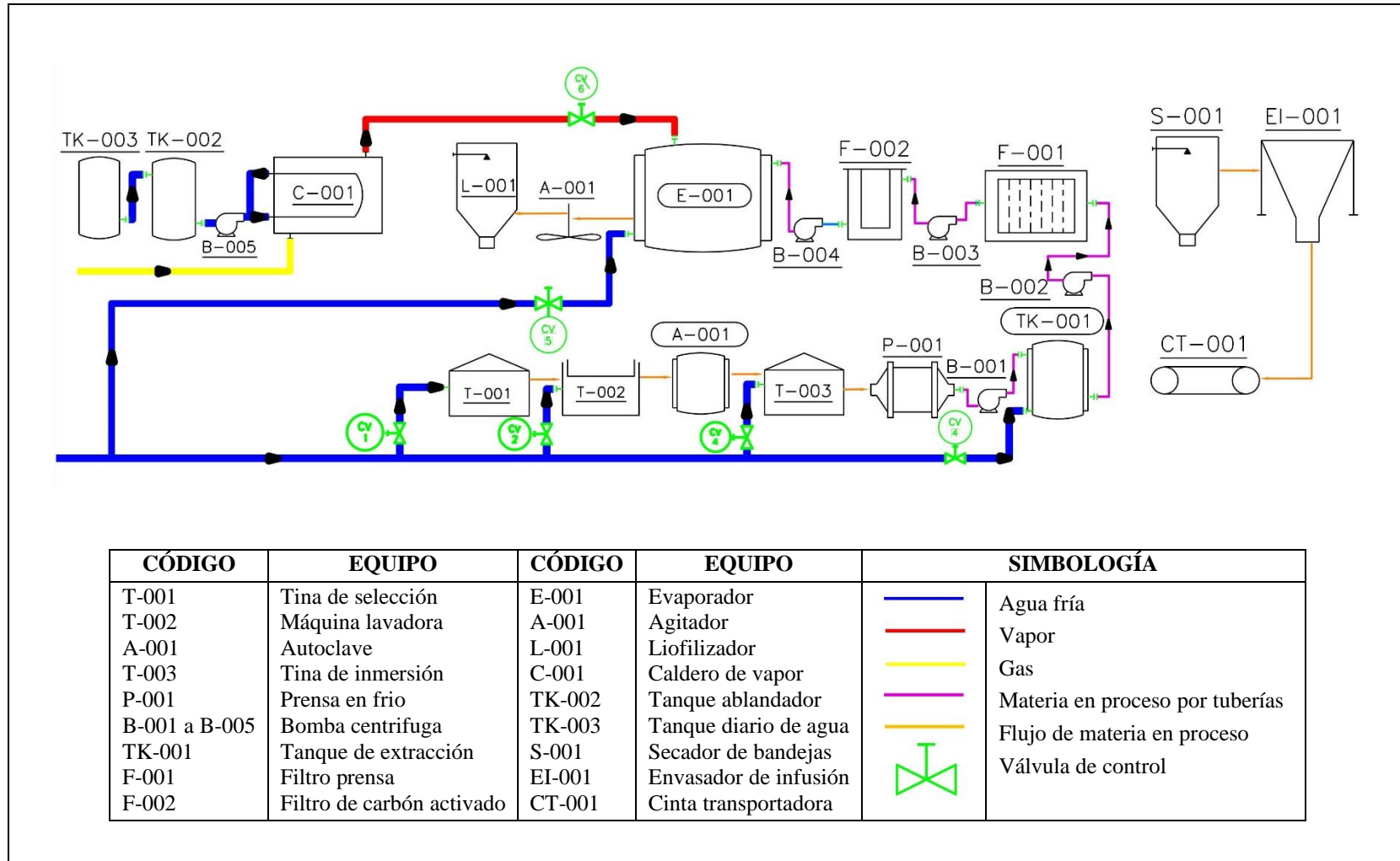
El layout de equipos se muestra en la figura 4.8, el cual se realizó en base a la norma ISA (Instrument Society of America - Sociedad de Instrumentos de Estados Unidos) como referencia para establecer la simbología a emplear.



<b>U.A.J.M.S.</b>	<b>PLANO DE DISTRIBUCIÓN GENERAL - PLANTA PILOTO PROCESADORA DE YACÓN</b>					<b>LÁMINA</b>
	<b>SUPERFICIE:</b> Sala de terreno: 631,00 m <sup>2</sup> Superficie construida: 352,00 m <sup>2</sup>	<b>ESCALA:</b> 1:50	<b>AÑO:</b> 2021	<b>UBICACIÓN:</b> B/ 3 DE MAYO	<b>CÓDIGO:</b> PROYECTO DE GRADO	<b>ÚNICA</b>
	<b>EGRESADO:</b> CAROLINA MIRANDA					

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.7.** Plano de proceso de la planta piloto procesadora de yacón.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.8.** Layout de equipos de la planta piloto procesadora de yacón.

**CAPÍTULO V**

**COSTOS DEL PROYECTO**

## 5.1 Costo de inversión en la adquisición de activos fijos de la planta procesadora de yacón

En el presente proyecto se tomó en cuenta la inversión requerida para la adquisición de activos fijos considerando los activos que están relacionados con el proceso de producción, tales como terreno, edificación, obra civil, maquinaria, equipos, instrumentos, mobiliario, entre otros.

### 5.1.1 Costo de inversión en terreno y obra civil para la planta piloto procesadora de yacón

El costo de terreno para la planta procesadora de yacón fue estimado en base al valor comercial de terreno según la Dirección de Catastro Urbano de la alcaldía de Cercado con un costo de 120 USD/m<sup>2</sup> de terreno en el Barrio 3 de Mayo y tomando en cuenta la superficie estimada para la planta, la cual se presenta en la tabla 4.32 del capítulo cuatro. En cuanto al costo de la edificación y obra civil para la planta piloto procesadora de yacón fue estimado en base a la consulta realizada a un experto en el área.

En la tabla 5.1, se muestra el costo de inversión en terreno, edificación y obra civil para la implementación de la planta piloto procesadora de yacón.

**Tabla 5.1**

*Costo de terreno, edificación y obra civil para la planta piloto procesadora de yacón*

Detalle	Área	Costo (USD/m <sup>2</sup> )	Costo total (USD)	Costo total (Bs)
Terreno	631	120	75.720,00	527.011,20
Edificación y obra civil		-	70.000,00	487.200,00
<b>Total</b>			145.720,00	1.014.211,20

Fuente: Elaboración propia

### 5.1.2 Costo de inversión en maquinaria, equipos y materiales para la planta piloto procesadora de yacón

El costo de inversión en maquinaria, equipos y materiales que intervienen directamente en el proceso productivo de obtención del edulcorante en polvo e infusión de yacón, se muestran en la tabla 5.2.

**Tabla 5.2**

*Costo de maquinaria, equipos y materiales para el proceso productivo de la planta piloto procesadora de yacón*

Detalle	Capacidad		Cantidad	Precio unitario (USD)	Costo total (USD)	Costo total (Bs)
	Unidad	Valor				
Máquina lavadora con cepillos	kg/h	180	1	2.828,9	2.828,9	19.689,1
Autoclave vertical automático	L	120	1	3.412,6	3.412,6	23.751,7
Exprimidor prensa en frío	kg/h	100-500	1	3.368,6	3.368,6	23.445,2
Tanque agitador con calefacción	L	200	1	5.859,4	5.859,4	40.781,5
Filtro prensa manual	t/h	1	1	6.143,4	6.143,4	42.758,2
Filtro de carbon activado	L/h	500	1	1.462,0	1.462,0	10.175,4
Concentrador al vacío de un solo efecto	LPH	100	1	15.687,9	15.687,9	109.187,7
Liofilizador	kg/lote	20	1	81.779,6	81.779,6	569.186,0
Codificadora de inyección	m/min	70	1	880,1	880,1	6.125,2
Cinta transportadora para codificar	mm	1500*250*750	1	747,8	747,8	5.204,9
Secador de bandejas	kg/h	60	1	10.776,6	10.776,6	75.004,8
Envasadora automática de té	Bolsas/min	40-60	1	11.139,9	11.139,9	77.533,6
Caldero de vapor a gas natural	kg/h	200	1	9.897,5	9.897,5	68.886,3
Tanque de agua diario	L	500	1	1.262,9	1.262,9	8.789,9
Ablandador de agua	L/h	300	1	765,6	765,6	5.328,4
Bomba centrífuga vertical	m <sup>3</sup> /h	1	4	2.173,3	8.693,3	60.505,4
Agitador aéreo de laboratorio	L	40	1	840,0	840,0	5.846,4
Balanza de plataforma	kg	150	1	170,0	170,0	1.183,2
Balanza digital	kg	1	1	251,4	251,4	1.750,0
Mesa de trabajo	mm	1800*1500*800	1	474,1	474,1	3.300,0
Mesa de trabajo	mm	1500*600*800	1	169,5	169,5	1.180,0
Tina de acero inoxidable	L	150	2	617,8	1.235,6	8.600,0
Olla de acero inoxidable	L	40	1	43,1	43,1	300,0
Licuada industrial	L	6	1	330,5	330,5	2.300,0
	<b>Total</b>				168.220,2	1.170.812,9

Fuente: Elaboración propia

Debido a la dificultad que se tuvo para obtener cotizaciones de importadoras de maquinaria y equipos puestos en Bolivia y/o cotizaciones de fabricantes nacionales, los precios de la maquinaria y equipos que se detallan en la tabla 5.2, fueron obtenidos de cotizaciones solicitadas a diferentes empresas de China, las cuales se indican en el Anexo A, a través de la marca de los equipos. Estas empresas fueron contactadas por medio de la plataforma de comercio electrónico Alibaba. Es por tal razón se realizó los cálculos de importación para obtener el precio de cada maquinaria o equipo puesto en Tarija, considerando el flete y seguro marítimo, transporte y seguro terrestre, gastos por liberación en aduana, impuesto al valor agregado (IVA), gravamen, servicio de aduana despachante, entre otros, los cálculos realizados se muestran en el Anexo B.1.



En el caso de las balanzas, licuadora industrial y mesa de trabajo, fueron cotizados en empresas importadoras de Bolivia, y la tina de acero inoxidable fue cotizada en una empresa fabricante de Bolivia. El nombre de las importadoras y de la empresa fabricante se indican en la fuente de las especificaciones de la maquinaria y equipos detalladas en el Anexo A.

### 5.1.3 Costo de inversión en instrumentos de laboratorio y materiales para la planta piloto procesadora de yacón

En la tabla 5.3, se presenta los costos de inversión en instrumentos de laboratorio y materiales requeridos en la planta procesadora de yacón.

**Tabla 5.3**

*Costo de instrumentos de laboratorio y materiales para la planta piloto procesadora de yacón*

Detalle	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Costo total (USD)	Costo total (Bs)
Balanza de precisión (0,01g)	1	1.609,2	1.609,2	11.200,0
pHmetro digital de mesa	1	1.465,5	1.465,5	10.200,0
Refractómetro manual (0-80°Brix)	1	603,4	603,4	4.200,0
Analizador de humedad	1	3.175,3	3.175,3	22.100,0
Termómetro infrarrojo (32-400°C)	1	35,9	35,9	250,0
Termómetro de alcohol (-10 a 200°C)	1	5,7	5,7	40,0
<b>Total</b>			6.895,1	47.990,0

Fuente: Elaboración propia

Los costos de los instrumentos laboratorio y materiales fueron cotizados en empresas importadoras de Bolivia, cuyos nombres se indican en la fuente de las especificaciones presentadas en el Anexo A.

### 5.1.4 Costo de inversión en el mobiliario y equipo de oficina para la planta procesadora de yacón

En la tabla 5.4, se presenta el costo de inversión en el mobiliario que se requieren para la sala de almacenamiento de la planta procesadora de yacón como ser: estantes, mesa de trabajo, pallets; así como el mobiliario y equipo de computación para la oficina del departamento de producción y calidad.

**Tabla 5.4***Costo de mobiliario y equipo de oficina para la planta piloto procesadora de yacón*

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Costo total (USD)</b>	<b>Costo total (Bs)</b>
Estantes	2	114,9	229,9	1.600,0
Mesa de trabajo AISI 304	1	169,5	169,5	1.180,0
Pallets	3	5,0	15,1	105,0
Escritorios	2	100,6	201,1	1.400,0
Computadoras	2	646,6	1.293,1	9.000,0
Sillas giratorias	2	96,3	192,5	1.340,0
Archivador	1	71,8	71,8	500,0
<b>Total</b>			2.173,1	15.125,0

Fuente: Elaboración propia

### 5.1.5 Resumen del costo total de inversión en activos fijos para la planta piloto procesadora de yacón

El costo de inversión total en activos fijos que tienen relación con el proceso productivo de la planta piloto procesadora de yacón se muestra en la tabla 5.5.

**Tabla 5.5***Costo total de inversión en activos fijos para la planta procesadora piloto de yacón*

<b>Detalle</b>	<b>Costo total (USD)</b>	<b>Costo total (Bs)</b>
Maquinaria, equipos y materiales del proceso productivo	168.220,2	1.170.812,9
Instrumentos y materiales de laboratorio	6.895,1	47.990,0
Mobiliario y equipo de oficina	2.173,1	15.125,0
Terreno	75.720,0	527.011,2
Edificación y obra civil	70.000,0	487.200,0
<b>Total</b>	323.008,5	2.248.139,1

Fuente: Elaboración propia

### 5.1.6 Depreciación de activos fijos

En la depreciación de activos fijos se incluye: depreciación edificación y obra civil; depreciación de la maquinaria, equipos y materiales que intervienen directamente en el proceso productivo de obtención del edulcorante e infusión de yacón; y los instrumentos de laboratorio, mobiliario y equipo de oficina.

El cálculo de la depreciación de activos fijos fue calculado en base a la vida útil de los mismos de acuerdo a Bolivia Impuestos (2019), donde indica una vida útil de 40 años para la edificación y obra civil, 8 años de vida útil para la maquinaria, equipos e

instrumentos de laboratorio, 10 años de vida útil para el mobiliario, y 4 años de vida útil para las computadoras, termómetro de alcohol y termómetro infrarrojo. El cálculo de la depreciación de los activos fijos se encuentra detallado en el Anexo B.2.

En la tabla 5.6, se muestra el resumen de la depreciación de activos fijos relacionados con el proceso productivo de la planta piloto procesadora de yacón.

**Tabla 5.6**

*Depreciación de activos fijos de la planta piloto procesadora de yacón*

<b>Detalle</b>	<b>Depreciación anual (Bs)</b>
Edificación y obra civil	12.180,0
Maquinaria y equipos	146.351,6
Instrumentos de laboratorio	6.035,0
Mobiliario y equipos de oficina	2.862,5
<b>Total</b>	<b>167.429,1</b>

Fuente: Elaboración propia

## **5.2 Costos de producción del edulcorante en polvo e infusión de yacón**

Para el cálculo de los costos de producción de la obtención del edulcorante en polvo y de la infusión de yacón, se tomó en cuenta los costos directos e indirectos de fabricación incluyendo el costo de materia prima e insumos directos, materiales indirectos, mano de obra directa e indirecta, costo de luz, costo de agua y costo de gas.

### **5.2.1 Costos directos de fabricación para la obtención de edulcorante e infusión de yacón**

Dentro de los costos directos de fabricación, se incluye el costo de materia prima, insumos, materiales y mano de obra directa.

#### **5.2.1.1 Costo de materia prima e insumos directos para la obtención de edulcorante e infusión de yacón**

En la tabla 5.7, se detallan los costos de materia prima e insumos de acuerdo con los requerimientos diarios de materia prima e insumos para la obtención de edulcorante en polvo de yacón detallados en la tabla 4.26, la cual se encuentra en el capítulo cuatro. Estos requerimientos fueron determinados en base al balance de materia presentado en

la figura 4.5 del capítulo cuatro, el cual fue realizado en base a 80 kg de yacón, obteniendo 5,27 kg de edulcorante, lo que representa 21 frascos de 250g de edulcorante en polvo de yacón.

**Tabla 5.7**

*Costo de materia prima e insumos directos para la obtención de edulcorante en polvo de yacón*

Detalle	Unidad	Cantidad/ unidad	Costo unitario (Bs)	Costo día (Bs)	Costo mensual (Bs)	Costo anual (Bs)
<b>Materia prima</b>						
Yacón	kg	3,810	8,47	177,78	2311,11	9.244,44
<b>Insumos</b>						
Ácido ascórbico	kg	0,004	0,95	20,00	260,00	1.040,00
Maltodextrina	kg	0,025	0,37	7,80	101,40	405,60
<b>Materiales directos</b>						
Frascos	Pieza	1,000	5,00	105,00	1.365,00	5.460,00
Etiquetas	Pieza	1,000	2,00	42,00	546,00	2.184,00
<b>Total</b>			16,79	352,58	4.583,51	18.334,04

Fuente: Elaboración propia

Los costos de materiales directos para elaborar la infusión de yacón fueron calculados en base a los requerimientos de materiales directos detallados en la tabla 4.27 del capítulo cuatro, los cuales fueron cuantificados de acuerdo con el balance de materia prima presentado en la figura 4.6 del capítulo cuatro. Cabe recalcar que no se tomó en cuenta los costos desde la etapa de recepción hasta la filtración, debido a que son operaciones compartidas con el proceso de obtención del edulcorante, por lo cual se tomó como base de cálculo a la cantidad de bagazo que se obtiene de la etapa de filtración, la cual es 20,86 kg, representando un costo de Bs 0, ya que es un residuo que se obtiene del proceso de elaboración del edulcorante. A partir de la cantidad de bagazo mencionada se consigue 3,726 kg de infusión de yacón, lo que representa 1863 saquitos y 93 cajas de 20 unidades de infusión.

En la tabla 5.8, se detallan los costos de materiales directos para la obtención de edulcorante en polvo, los cuales llegan a formar parte del producto final, pero no son parte comestible del producto.

**Tabla 5.8***Costo de materiales directos para la obtención de infusión de yacón*

Detalle	Unidad	Cantidad/ unidad	Costo unitario (Bs)	Costo día (Bs)	Costo mensual (Bs)	Costo anual (Bs)
Papel filtro termosellable para envasar	kg	0,004	0,56	51,92	674,90	2.699,61
Hilo para envasar	m	4,011	0,80	74,60	969,80	3.879,20
Cajas pequeñas para envasado	Pieza	1,000	4,50	418,50	5.440,50	21.762,00
Bolsas de plástico pequeñas para envasar	Pieza	1,000	0,05	4,65	60,45	241,80
<b>Total</b>			5,91	549,67	7145,65	28582,61

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.1.2 Costo de mano de obra directa para la obtención de edulcorante e infusión de yacón

Los costos de mano de obra directa fueron calculados de acuerdo a los requerimientos de personal y tiempos determinados para cada etapa del proceso productivo de obtención de edulcorante e infusión de yacón presentados en la tabla 4.22 y tabla 4.23 respectivamente, las cuales se encuentran en el capítulo cuatro. Se consideró un pago de sueldos por horas de trabajo, considerando que la planta procesa materia prima 3 veces por semana.

De acuerdo con la ley de trabajo, la jornada diaria de trabajo es de 8 h/día, 48 h/semana, 6 días/semana para hombres; y 6,67 h/día, 40h/semana, 5 días/semana para mujeres. Considerando que un mes tiene 30 días y no se trabaja los 4 domingos del mes, se tiene 26 días de trabajo por mes. (Pérez, 2017)

El salario mínimo nacional en Bolivia es de Bs 2.122, en base a lo cual se estableció un salario de Bs 3.000 por mes, para el operador de producción de la planta procesadora, con las consideraciones descritas anteriormente para un trabajo de 8 h/día y 26 días al mes, a partir de dichos datos se calculó el jornal/hora, que es el sueldo a pagar por hora, obteniendo un salario de 14,42 Bs/h. Se realizó el mismo cálculo para establecer el sueldo del operador de liofilización con la diferencia de que se planteó un sueldo de Bs 3.500 por mes, obteniendo un salario de 16,83 Bs/h, siendo un sueldo mayor al del operario de producción, ya que, es un operario especializado.

Los costos de mano de obra directa para la obtención de edulcorante en polvo e infusión de yacón fueron calculados considerando los sueldos por hora indicados anteriormente, tomando en cuenta que el operador de liofilización trabaja 8 h/día por 13 días/mes y cuatro 4 meses/año; y el operario de liofilización trabaja 4 h/día, ya que, de acuerdo al proceso de elaboración del edulcorante un día se debe introducir el extracto concentrado de FOS al liofilizador y volver al día siguiente para descargar y envasar el edulcorante en polvo, por lo cual se consideró que el operador de liofilización trabaje por medio tiempo al día, por 26 días/mes y 4 meses/año.

El aguinaldo fue calculado en base al salario mensual de cada personal y considerando 4 meses de trabajo al año, que es el tiempo establecido de funcionamiento de la planta según el periodo de producción de la raíz de yacón.

En la tabla 5.9, se muestra el costo de mano de obra directa para la obtención de edulcorante e infusión de yacón.

**Tabla 5.9**

*Costo de mano de obra directa para la obtención de edulcorante e infusión de yacón*

Cargo	Cantidad	Tiempo (h/día)	Sueldo unitario (Bs)	Sueldo proceso (Bs)	Sueldo mensual (Bs)	Aguinaldo (Bs)	Total anual (Bs)
<b>Edulcorante</b>							
Operador de producción	1	8,00	5,49	115,38	1.500,00	500,00	6.500,00
Operador de liofilización	1	4,00	6,41	134,62	1.750,00	583,33	7.583,33
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>12,00</b>	<b>11,90</b>	<b>250,00</b>	<b>3.250,00</b>	<b>1.083,33</b>	<b>14.083,33</b>
<b>Infusión</b>							
Operador de producción	1	8,00	1,24	115,38	1.500,00	500,00	6.500,00
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>8,00</b>	<b>1,24</b>	<b>115,38</b>	<b>1.500,00</b>	<b>500,00</b>	<b>6.500,00</b>

Fuente: Elaboración propia

### **5.2.2 Costos indirectos para la obtención de edulcorante en polvo e infusión de yacón**

En los costos indirectos de fabricación se incluye el costo de materiales indirectos, los cuales no llegan a formar parte del producto final; asimismo, se tomó el costo de mano de mano de obra indirecta, quienes no están directamente manipulando la materia prima e insumos durante el proceso de elaboración de los productos; también se tomó en

cuenta el costo del consumo energético, consumo de agua y consumo de gas, los cuales se consideran como costos indirectos debido que no entran en contacto directo con los alimentos en proceso.

### 5.2.2.1 Costo de materiales indirectos para la obtención del edulcorante en polvo

De acuerdo con los requerimientos de materiales directos para la obtención del edulcorante en polvo de yacón, detallados en la tabla 4.26 del capítulo cuatro, se calcularon los costos de materiales indirectos, los cuales se muestran en tabla 5.10.

**Tabla 5.10**

*Costo de materiales indirectos para la obtención de edulcorante en polvo de yacón*

Detalle	Unidad	Cantidad/ unidad	Costo unitario (Bs)	Costo día (Bs)	Costo mensual (Bs)	Costo anual (Bs)
Kilol	L	0,0076	0,610	12,80	166,40	665,60
Ácido cítrico	Kg	0,0003	0,007	0,15	1,95	7,80
<b>Total</b>			0,617	12,95	168,35	673,40

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.2.2 Costo de mano de obra indirecta para la obtención del edulcorante en polvo e infusión de yacón

Los costos de mano de obra indirecta fueron calculados de acuerdo con los requerimientos de personal y tiempo determinados para la obtención de edulcorante en polvo e infusión de yacón presentados en la tabla 4.22 y tabla 4.23 respectivamente, las cuales se encuentran en el capítulo cuatro. Se consideró un sueldo por horas de trabajo, considerando que la planta procesa materia prima 3 veces por semana, por otra parte, no es necesario que el personal de mano de obra indirecta este permanentemente en la planta tomando en cuenta el tipo proceso de producción planteado en el presente proyecto. En el caso del jefe de producción se requiere que de indicaciones y supervise por un periodo de tiempo el proceso, en cuanto al jefe de control de calidad se requiere que controle ciertos aspectos de calidad en la planta, que realice algunos análisis de laboratorio para que pueda dar el visto bueno de los productos en proceso y del producto terminado. Por último, en el caso del personal de limpieza se requiere que

realice la limpieza de la planta en la mañana, trabajo que requerirá sólo un periodo de tiempo.

De acuerdo con la ley de trabajo la jornada diaria de trabajo es de 8 h/día, 48 h/semana, 6 días/semana para hombres: y 6,67 h/día, 40h/semana, 5 días/semana para mujeres. Considerando que un mes tiene 30 días y no se trabaja los 4 domingos del mes, se tiene 26 días de trabajo por mes. (Pérez, 2017)

El salario mínimo nacional en Bolivia es de Bs 2.122, en base a lo cual se estableció un salario de Bs 5.000 por mes para el jefe de producción de la planta procesadora, con las consideraciones descritas anteriormente para un trabajo de 8 h/día y 26 días al mes. A partir de dichos datos se calculó el jornal/hora, que es el sueldo a pagar por hora, obteniendo un salario de 24,04 Bs/h. Se realizó el mismo cálculo para establecer el jornal/día del jefe de control de calidad con la diferencia de que se planteó un sueldo de Bs 4.500 por mes, obteniendo un salario de 21,63 Bs/h, y por último se calculó de la misma manera el jornal/día del personal de limpieza tomando en cuenta un salario de Bs 2.800, obteniendo un sueldo de 13,46 Bs/h.

Los costos de mano de obra indirecta para la obtención de edulcorante en polvo e infusión de yacón fueron calculados, considerando los sueldos por hora indicados anteriormente, tomando en cuenta las horas de trabajo por día de cada personal, como se detalla en la tabla 5.11. El aguinaldo fue calculado en base al salario mensual de cada personal y considerando 4 meses de trabajo al año, que es el tiempo establecido de funcionamiento de la planta según el periodo de producción de la raíz de yacón.

El costo de mano de obra indirecta para la obtención de edulcorante en polvo e infusión de yacón se muestra en la tabla 5.11.



**Tabla 5.11***Mano de obra indirecta para la obtención de edulcorante en polvo de yacón*

Cargo	Cantidad	Tiempo (h/día)	Sueldo unitario (Bs)	Sueldo proceso (Bs)	Sueldo mensual (Bs)	Aguinaldo (Bs)	Total anual (Bs)
<b>Edulcorante en polvo</b>							
Jefe de producción	1	2,00	2,29	48,08	625,00	208,33	2.708,33
Jefe control de calidad	1	3,00	3,09	64,90	843,75	281,25	3.656,25
Personal de limpieza	1	2,50	1,60	33,65	437,50	145,83	1.895,83
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>7,50</b>	<b>6,98</b>	<b>146,63</b>	<b>1.906,25</b>	<b>635,42</b>	<b>8.260,42</b>
<b>Infusión</b>							
Jefe de producción	1	0,33	0,09	7,93	103,13	34,38	446,88
Jefe control de calidad	1	0,33	0,08	7,14	92,81	30,94	402,19
Personal de limpieza	1	0,50	0,07	6,73	87,50	29,17	379,17
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>1,16</b>	<b>0,23</b>	<b>21,80</b>	<b>283,44</b>	<b>94,48</b>	<b>1.228,23</b>

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.2.3 Costo del consumo de energía eléctrica para la obtención del edulcorante en polvo e infusión de yacón

El costo de energía eléctrica fue calculado en base a datos obtenidos de SETAR (2021) a partir de los cuales se calculó el costo mensual de energía eléctrica como se muestra en la tabla 5.12, para una empresa de categoría industrial menor, debido a que la potencia instalada que requiere la planta es menor a 50kW según la suma de la potencia de toda maquinaria y equipos que consumen energía dentro del proceso productivo de la planta procesadora de yacón. Los datos del consumo energético se encuentran detallados en la tabla 4.28 del capítulo cuatro, donde se indica que el consumo mensual es de 5.122,92 kWh. El costo de 1kWh hora de acuerdo a SETAR (2021) para una empresa industrial menor es de Bs 0,88 Bs.

**Tabla 5.12***Cálculo del costo mensual de energía eléctrica*

<b>Detalle</b>	<b>Costo unitario</b>		<b>Costo total (Bs)</b>
Cargo mínimo fijo hasta 100 kWh/mes	Bs	92,21	92,21
Cargo variable 1 - de 101 a 300 kWh	Bs/kWh	0,728	144,87
Cargo variable 2 - mayor a 300 kWh	Bs/kWh	0,881	4248,99
<b>Total costo mensual</b>			<b>4486,07</b>
<b>Costo unitario (Bs/kWh)</b>			<b>0,88</b>

Nota. Calculado en base a 5.122,92 kWh consumidos por mes.

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de SETAR (2021)

En la tabla 5.13, se detalla el costo de la energía consumida en el proceso productivo de elaboración de edulcorante en polvo e infusión de yacón.

**Tabla 5.13***Costo de energía eléctrica consumida en la obtención de edulcorante en polvo*

<b>Elemento</b>	<b>Consumo (kWh/unidad)</b>	<b>Costo unitario (Bs)</b>	<b>Costo día (Bs)</b>	<b>Costo mensual (Bs)</b>	<b>Costo anual (Bs)</b>
<b>Edulcorante</b>					
Máquina lavadora con cepillos	0,01536	0,01345	0,2824	3,671	14,69
Autoclave vertical automático	0,16571	0,14511	3,0474	39,616	158,46
Exprimidor prensa en frío	0,01821	0,01595	0,3350	4,354	17,42
Tanque agitador con calefacción	0,06000	0,05254	1,1034	14,344	57,38
Filtro prensa	0,00357	0,00313	0,0657	0,854	3,42
Concentrador (bomba de vacío)	0,26143	0,22893	4,8075	62,498	249,99
Liofilizador	17,14286	15,01178	315,2473	4.098,215	16.392,86
Codificadora de inyección	0,00002	0,00002	0,0004	0,005	0,02
Cinta transportadora para codificar	0,00023	0,00020	0,0042	0,055	0,22
Caldero de vapor (bomba de agua)	0,05238	0,04587	0,9633	12,522	50,09
Bomba centrífuga vertical	0,00564	0,00494	0,1037	1,348	5,39
Agitador eléctrico de laboratorio	0,00050	0,00043	0,0091	0,118	0,47
<b>Subtotal</b>	<b>17,72590</b>	<b>15,52234</b>	<b>325,9692</b>	<b>4.237,600</b>	<b>16.950,40</b>
<b>Infusión</b>					
Secador de bandejas	0,20323	0,17796	16,5505	215,156	860,63
Envasador automático de té	0,03103	0,02717	2,5272	32,854	131,42
Licuadora industrial	0,00032	0,00028	0,0259	0,337	1,35
Codificadora de inyección	0,00001	0,00001	0,0007	0,010	0,04
Cinta transportadora para codificar	0,00011	0,00010	0,0089	0,116	0,46
<b>Subtotal</b>	<b>0,23470</b>	<b>0,20552</b>	<b>19,1133</b>	<b>248,473</b>	<b>993,89</b>
<b>Total</b>	<b>17,96060</b>	<b>15,72786</b>	<b>345,0825</b>	<b>4.486,073</b>	<b>17.944,29</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 5.2.2.4 Costo del consumo de agua potable en el proceso productivo de obtención del edulcorante en polvo e infusión de yacón

El costo de agua potable fue calculado en base a datos de la tarifa obtenida de COSSALT (2021) para una empresa industrial, la cual se muestra en el Anexo C, a partir de la cual se realizó el cálculo del costo mensual de agua, como se muestra en la tabla 5.14, realizado en base al consumo mensual total de agua según el requerimiento para el proceso productivo de obtención del edulcorante e infusión de yacón, el cual se detalla en la tabla 4.29 del capítulo cuatro, donde se indica que el consumo mensual de agua es de 57,1 m<sup>3</sup>. Las consideraciones que se tomaron para determinar dichos requerimientos de agua se describen en el subtítulo 4.17.2 del capítulo cuatro.

**Tabla 5.14**

*Cálculo del costo mensual de agua*

Detalle	Costo unitario		Costo total (Bs)
Costo fijo alcantarillado	Bs	223,56	223,56
Costo fijo alcantarillado	Bs	178,85	178,85
Cargo consumo (0-10 m <sup>3</sup> )	Bs/m <sup>3</sup>	1,42	14,23
Cargo consumo (11-40 m <sup>3</sup> )	Bs/m <sup>3</sup>	3,13	90,78
Cargo consumo (mayor a 40 m <sup>3</sup> )	Bs/m <sup>3</sup>	5,69	97,32
<b>Total costo mensual</b>			604,75
<b>Costo (Bs/m<sup>3</sup>)</b>			10,59

Nota. Calculado en base a 57,1 m<sup>3</sup> consumidos por mes.

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de COSSALT

En la tabla 5.15, se presenta el costo del consumo de agua potable en el proceso de obtención de edulcorante en polvo e infusión de yacón, calculados en base al agua requerida en las operaciones del proceso productivo de acuerdo a la capacidad y tipo de operación del equipo; asimismo, se tomó en cuenta el agua necesaria para la limpieza de maquinaria y equipos de acuerdo a la capacidad y tipo de lavado; y el agua requerida para la limpieza de piso, tomándose un 80% de la cantidad total de agua necesaria para la operación y limpieza de la maquinaria y equipos.

**Tabla 5.15**

*Costo de agua en el proceso productivo de obtención del edulcorante e infusión de yacón*

Detalle	Consumo unitario (m <sup>3</sup> )	Costo unitario (Bs)	Costo día (Bs)	Costo Mensual (Bs)	Total anual (Bs)
<b>Edulcorante en polvo</b>					
Selección	0,0048	0,05	1,06	13,77	55,08
Lavado y desinfección	0,0143	0,15	3,18	41,31	165,23
Inmersión	0,0048	0,05	1,06	13,77	55,08
Extracción sólido-líquido	0,0017	0,02	0,37	4,82	19,28
Caldero de vapor	0,0110	0,12	2,44	31,67	126,68
Limpieza de maquinaria y equipos	0,0714	0,76	15,89	206,54	826,16
Limpieza de piso	0,0863	0,91	19,19	249,50	998,00
<b>Subtotal</b>	0,1941	2,06	43,18	561,37	2.245,50
<b>Infusión</b>					
Limpieza de maquinaria y equipos	0,0019	0,02	1,85	24,10	96,39
Limpieza de piso	0,0015	0,02	1,48	19,28	77,11
<b>Subtotal</b>	0,0034	0,04	3,34	43,37	173,49
<b>Total</b>	0,1975	2,09	46,52	604,75	2.418,99

Fuente: Elaboración propia

#### **5.2.2.5 Costo del consumo de gas natural en el proceso productivo de obtención del edulcorante en polvo de yacón**

El costo del consumo de gas fue determinado en base a los datos del costo de 1 MPC (millar pie cúbico) de gas natural obtenido de EMTAGAS (2021), para la categoría industrial, dicha categoría posee 4 niveles según el consumo mensual de gas. De acuerdo con dichas categorías la planta procesadora de yacón se encuentra dentro de la categoría industrial 1, debido a que el consumo mensual de gas es menor a 20 MPC, como se detalla en la tabla 4.30 del capítulo cuatro, donde se muestra que solo se requiere gas natural para el funcionamiento del caldero de vapor, el cual tiene un consumo mensual de gas de 14,38 MPC. El costo de 1 MPC de gas de acuerdo a EMTAGAS (2021) es de USD 1,7 (Bs 11,83) para la categoría industrial 1.

En la tabla 5.16, se muestra el costo del consumo de gas en el proceso de obtención del edulcorante de yacón, calculado en base al consumo de gas natural del caldero de vapor, el cual es de 16,5 m<sup>3</sup>/h, y considerando que trabaja 2h/día para suministrar de vapor al concentrador al vacío, como se detalla en la tabla 4.30 del capítulo cuatro, donde se

muestra el cálculo realizado para obtener el consumo unitario (MPC) de gas para producir un frasco de 250g de edulcorante en polvo de yacón, el cual es de 0,05 MPC.

**Tabla 5.16**

*Costo de gas para la obtención del edulcorante en polvo de yacón*

<b>Detalle</b>	<b>Consumo unitario (MPC)</b>	<b>Costo unitario (Bs)</b>	<b>Costo día (Bs)</b>	<b>Costo mensual (Bs)</b>	<b>Costo anual (Bs)</b>
Caldero	0,05	0,62	13,09	170,13	680,52
<b>Total</b>	0,05	0,62	13,09	170,13	680,52

Fuente: Elaboración propia

### **5.2.3 Resumen del costo unitario y costo total de producción para la obtención edulcorante en polvo e infusión de yacón**

Para calcular el costo total de producción para la obtención del edulcorante de yacón se tomó en cuenta los costos directos e indirectos de fabricación, incluyendo: costo de materia prima e insumos directos, mano de obra directa, materiales indirectos, mano de obra indirecta, costo del consumo de energía, agua y gas.

Los costos fueron calculados en base al balance de materia del edulcorante en polvo de yacón, presentado en la figura 4.5 del capítulo cuatro, y en base a los requerimientos descritos en el subtítulo 4.16 y 4.17 del capítulo cuatro, donde se muestra el detalle de los mismos en la tabla 4.26, tabla 4.28, tabla 4.29 y tabla 4.30. En cuanto al costo de mano de obra fue calculado en base a los requerimientos descritos en la tabla 4.22 del capítulo cuatro.

En la tabla 5.17, se muestra el resumen de los costos directos e indirectos de fabricación, para producir un frasco de 250g de edulcorante en polvo, así también se muestra el costo total del proceso de producción para obtener 21 frascos de yacón a partir del procesamiento de 80 kg de yacón.

**Tabla 5.17***Costo unitario y costo total de producción del edulcorante en polvo de yacón*

	Detalle	Unidad	Costo base (Bs)	Cantidad/ unidad	Costo unitario (Bs)	Costo p/proceso (Bs)	
<b>Costos directos</b>	<b>Materia prima</b>						
	Yacón	kg	2,22	3,80952	8,46561	177,7800	
	<b>Insumos</b>						
	Ácido ascórbico	kg	250,00	0,00381	0,95238	20,0000	
	Maltodextrina	kg	15,00	0,02476	0,37143	7,8000	
	<b>Materiales directos</b>						
	Frascos	Pieza	5,00	1,00000	5,00000	275,0000	
	Etiquetas	Pieza	2,00	1,00000	2,00000	110,0000	
	<b>Mano de obra directa</b>						
	Operador de producción	h/día	14,42	0,38095	5,49451	115,3846	
	Operador de liofilizacin	h/día	16,83	0,38095	6,41026	134,6154	
	<b>Materiales indirectos</b>						
	Kilol	L	80,00	0,00762	0,60952	12,8000	
	Ácido cítrico	Kg	25,00	0,00029	0,00714	0,1500	
	<b>Mano de obra indirecta</b>						
Jefe de producción	h/día	24,04	0,09524	2,28938	48,0769		
Jefe control de calidad	h/día	21,63	0,14286	3,09066	64,9038		
Personal de limpieza	h/día	13,46	0,11905	1,60256	33,6538		
<b>Costos indirectos</b>	<b>Consumo de electricidad</b>						
	Máquina lavadora con cepillos	kWh	0,88	0,01536	0,01345	0,2824	
	Autoclave vertical automático	kWh	0,88	0,16571	0,14511	3,0474	
	Exprimidor prensa en frío	kWh	0,88	0,01821	0,01595	0,3350	
	Tanque agitador con calefacción	kWh	0,88	0,06000	0,05254	1,1034	
	Filtro prensa	kWh	0,88	0,00357	0,00313	0,0657	
	Concentrador (bomba de vacío)	kWh	0,88	0,26143	0,22893	4,8075	
	Liofilizador	kWh	0,88	17,14286	15,01177	315,2473	
	Codificadora de inyección	kWh	0,88	0,00002	0,00002	0,0004	
	Cinta transportadora para codificar	kWh	0,88	0,00023	0,00020	0,0042	
	Caldero de vapor (bomba de agua)	kWh	0,88	0,05238	0,04587	0,9633	
	Bomba centrífuga vertical	kWh	0,88	0,00564	0,00494	0,1037	
	Agitador eléctrico de laboratorio	kWh	0,88	0,00050	0,00043	0,0091	
	<b>Consumo de agua</b>						
	Selección	m <sup>3</sup>	10,59	0,00476	0,05044	1,0592	
	Lavado y desinfección	m <sup>3</sup>	10,59	0,01429	0,15131	3,1775	
	Inmersión	m <sup>3</sup>	10,59	0,00476	0,05044	1,0592	
	Extracción sólido-líquido	m <sup>3</sup>	10,59	0,00167	0,01765	0,3707	
	Caldero de vapor	m <sup>3</sup>	10,59	0,01095	0,11601	2,4361	
	Limpieza de maquinaria y equipos	m <sup>3</sup>	10,59	0,07143	0,75656	15,8877	
	Limpieza de piso	m <sup>3</sup>	10,59	0,08629	0,91392	19,1923	
	<b>Consumo de gas natural</b>						
	Caldero	MPC	11,83	0,05267	0,62308	13,0847	
	<b>Total</b>					54,49518	1.144,3989

Fuente: Elaboración propia

Para calcular el costo total de producción de la obtención de infusión de yacón se tomó en cuenta los costos directos e indirectos de fabricación incluyendo: costo de materiales

directos, mano de obra directa, mano de obra indirecta, costo del consumo de energía y agua. Los costos fueron calculados en base al balance de materia de la infusión de yacón, presentado en la figura 4.6 del capítulo cuatro, y en base a los requerimientos descritos en el subtítulo 4.16 y 4.17 del capítulo cuatro, donde se encuentra el detalle de los mismos en la tabla 4.27, tabla 4.28 y tabla 4.29. En cuanto al costo de mano de obra fue calculado en base a los requerimientos descritos en la tabla 4.23 del capítulo cuatro.

En la tabla 5.18, se muestra el resumen de los costos directos e indirectos de fabricación para producir una caja de 20 unidades de saquitos de infusión, con un peso neto de 2g por saquito. Asimismo, se muestra el costo total de producción para obtener 93 cajas de infusión, a partir de 20,86 kg de bagazo de yacón, el cual se obtiene como residuo de la primera filtración del proceso de elaboración del edulcorante, por lo que se consideró un costo de Bs 0 para el bagazo de yacón.

**Tabla 5.18**

*Costo unitario y costo total de producción de infusión de yacón*

	Detalle	Unidad	Costo base (Bs)	Cantidad/unidad	Costo unitario (Bs)	Costo p/proceso (Bs)
Costos directos	<b>Materiales directos</b>					
	Papel filtro termosellable para envasar	kg	156,75	0,00356	0,55823	51,916
	Hilo para envasar	m	0,20	4,01075	0,80215	74,600
	Cajas pequeñas para envasado	Pieza	4,50	1,00000	4,50000	418,500
	Bolsas de plástico pequeñas para envasar	Pieza	0,05	1,00000	0,05000	4,650
	<b>Mano de obra directa</b>					
	Operador de producción	h/día	14,42	0,08602	1,24069	115,385
Costos indirectos	<b>Mano de obra indirecta</b>					
	Jefe de producción	h/día	24,04	0,00355	0,08530	7,933
	Jefe control de calidad	h/día	21,63	0,00355	0,07677	7,139
	Personal de limpieza	h/día	13,46	0,00538	0,07237	6,731
	<b>Consumo de electricidad</b>					
	Secador de bandejas	kWh	0,88	0,20323	0,17796	16,550
	Envasador automático de té	kWh	0,88	0,03103	0,02717	2,527
	Licuada industrial	kWh	0,88	0,00032	0,00028	0,026
	Codificadora de inyección	kWh	0,88	0,00001	0,00001	0,001
	Cinta transportadora para codificar	kWh	0,88	0,00011	0,00010	0,009
	<b>Consumo de agua potable</b>					
	Limpieza de maquinaria y equipos	m <sup>3</sup>	10,59	0,00190	0,02012	1,872
	Limpieza de piso	m <sup>3</sup>	10,59	0,00150	0,01589	1,478
	<b>Total</b>					7,62705

Fuente: Elaboración propia

**CAPÍTULO VI**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**



## 6.1 Conclusiones

- Se estableció el tamaño de la planta de acuerdo a la disponibilidad de materia prima según el análisis realizado de la producción y destino de las raíces de yacón, concluyendo que la producción es baja y no existe un excedente de producción, se determinó que la planta sea de escala piloto con una capacidad de producción de 80 kg/día, a partir de la cual se pueda realizar estudios del comportamiento del mercado e investigar acerca de las mejoras que se puede implementar en la planta en relación al proceso productivo. El abastecimiento de materia prima para la planta será de tres veces por semana (día por medio), teniendo en cuenta que se pueda cubrir con el requerimiento de materia prima de acuerdo a la disponibilidad que se observó de la misma y considerando que el proceso de obtención del edulcorante en polvo requiere alrededor de 30 horas.
- Se realizó el balance de materia del edulcorante de yacón a partir de 80 kg de yacón como materia prima, obteniendo 5,27 kg, lo que representa 21 frascos de 250g cada uno, con un rendimiento de 6,59%, el cual es bajo debido a que las raíces de yacón poseen en su composición fisicoquímica mayor proporción de agua siendo alrededor del 85%.

En cuanto al balance de materia realizado para la infusión de yacón se consideró como materia prima al bagazo de yacón, ya que las operaciones desde la recepción hasta la filtración son compartidas con la elaboración del edulcorante de yacón. Es así que a partir de 20,86 kg de bagazo de yacón se obtuvo 3,726 kg de infusión, lo que representa 93 cajas de 20 unidades de saquitos de infusión cada una, con un rendimiento del 17,86%, debido a que el bagazo contiene un porcentaje alto de humedad alrededor del 80%.

- Se realizó el layout de procesos y equipos en base a los procesos determinados para la elaboración del edulcorante en polvo e infusión de yacón, velando de que se mantenga la mayor proporción de nutrientes, asimismo, se elaboró los layouts

en base a los requerimientos y especificaciones técnicas de la maquinaria y equipos, los cuales fueron definidos según el nivel de automatización necesario para cada operación del proceso productivo y empleando el método de factores ponderados para realizar una óptima selección de equipos.

- La inversión requerida en cuanto activos fijos incluyendo terreno, edificación, obra civil, maquinaria, equipos, materiales, instrumentos de laboratorio, mobiliario y equipo de oficina relacionados con el proceso de producción es de USD 323.008,49, lo que representa Bs 2.248.139,09. La depreciación total anual de activos fijos obtenida de acuerdo a la vida útil establecida para activo fijo es de Bs 167.429,1, el cual es elevado y según las unidades producidas anuales del edulcorante en polvo e infusión de yacón, trabajando por cuatro meses/año según el periodo de cosecha de la raíz, se infiere que la recuperación de la inversión se lograría en un largo periodo de años, por lo que se sugiere producir productos a base de otras materias primas durante el periodo de 8 meses que no se cuenta con la raíz de yacón como materia prima para suministro de la planta, y de esta manera lograr recuperar la inversión realizada en el periodo establecido de vida útil para cada activo fijo.
- Respecto a los costos de producción del edulcorante en polvo y de la infusión de yacón, que fueron calculados en base a los costos directos e indirectos de fabricación, tomando en cuenta los requerimientos de materia prima e insumos, mano de obra, requerimiento de electricidad, agua potable y gas, se obtuvo un costo total en base a 80 kg de yacón por proceso productivo de Bs 1.144,40 del cual se obtiene 21 frascos de 250g de yacón en polvo con un costo unitario de Bs 54,50.

En cuanto al costo total de producción de la infusión de yacón en base a 20,86 kg de bagazo, obtenido de la etapa de filtración del proceso de elaboración del edulcorante, es de Bs 709,31, del cual se obtiene 93 cajas de 20 unidades de saquitos de infusión de yacón con un costo unitario de Bs 7,63 por cada caja.

- Evaluando el costo unitario obtenido para el edulcorante e infusión de yacón se observa que se puede agregar un porcentaje de utilidad para generar ganancias a través de la venta de los mismos, comparando con el precio venta de productos con características similares en el mercado y considerando el valor nutricional y funcional destacado que poseen.
- De acuerdo con los resultados obtenidos de los costos de inversión y producción de la planta piloto procesadora de yacón se estima que, implementando una planta de mayor capacidad de producción, los costos de producción se verían reducidos y permitiría añadir un mayor porcentaje de utilidad.

## **6.2 Recomendaciones**

- Se recomienda profundizar la investigación técnica para obtener mayores rendimientos de extracción de fructooligosacáridos (FOS) del yacón, así como realizar investigaciones acerca de procesos que se pueden emplear para potenciar el poder edulcorante, como agregar stevia en pequeñas cantidades para aumentar el dulzor del edulcorante de yacón, pudiendo de esta forma influir en el costo de los productos de manera que reduzcan o sean considerados más aceptables por la población por su capacidad de sustituir a las características de dulzor, apariencia, funciones y usos del azúcar en los alimentos, pero con propiedades nutricionales y funcionales superiores.
- Se recomienda realizar un estudio de mercado para determinar la oferta y demanda del edulcorante en polvo y de la infusión de yacón para evaluar de manera más profunda la verdadera acogida que tendrán los productos en la ciudad de Tarija, así como para conocer el nicho de mercado y los competidores, permitiendo a partir de resultados que se obtengan implementar estrategias de venta (promoción, publicidad, etc.) y posicionamiento.
- Se recomienda ampliar la diversidad de productos derivados de yacón que se producen en la planta procesadora como ser: té de hojas de yacón, mermelada,

jarabe, harina, hojuelas, etc., ya que para su elaboración se requieren procesos y equipos similares a los empleados para producir edulcorante en polvo e infusión de yacón. Pudiendo así generar mayor rentabilidad y reconocimiento de la empresa, ya que el yacón posee propiedades benéficas destacadas para la salud humana, que generan atracción, intención de compra y aumento de la demanda de los productos, pudiendo llegar a atraer a mercados extranjeros (EEUU, Japón, Europa), que muestran una importante demanda por los productos derivados de yacón.

- Se recomienda elaborar productos a partir de otras materias primas empleando la maquinaria y equipos con los que cuenta la planta piloto como por ejemplo productos concentrados, deshidratados, entre otros, durante los ocho meses que no se puede abastecer de yacón a la planta, ya que el periodo de funcionamiento planteado para la misma es de cuatro meses de acuerdo al periodo de cosecha de las raíces de yacón, generando así un mayor aprovechamiento de los activos fijos, lo que derivaría en reducir los gastos de depreciación de activos fijos por unidad producida, al elaborar otros alimentos aumentando las unidades producidas por año en la planta, recuperando así la inversión realizada en menor tiempo.
- Se recomienda realizar un estudio de evaluación financiera para determinar la rentabilidad económica de la implementación de la planta piloto procesadora de yacón.