

# Diseño Conceptual De Una Planta Para La Fabricación De Miel De Yacón (*Smallanthus Sonchifolius*)

Sara Alvarez Barrientos<sup>a</sup>

María Camila Herrera Palacio<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Estudiante de Ingeniería de Procesos, Universidad EAFIT, Medellín Colombia

<sup>b</sup> Profesor, Asesor del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería de Procesos, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia

---

## Resumen

El yacón es un tubérculo de origen andino cuyas propiedades son desconocidas por la población, mediante la elaboración de un producto con valor agregado se busca potencializar su consumo. En el presente proyecto se realiza el diseño conceptual de una planta para la producción de miel de yacón, esta fábrica será localizada en el municipio de Sabaneta en el departamento de Antioquia. Para comenzar se realiza un diseño experimental empleando el software estadístico Statgraphics, empleando como factores el volumen de agua adicionado, el volumen final y el estabilizante adicionado, mientras que se usan como variables de respuesta la concentración de azúcares, la densidad y la viscosidad. Tras efectuar las diferentes corridas se realiza una optimización del proceso mediante el Solver de Excel, encontrando que el menor costo de producción se puede alcanzar al adicionar 388,88 mL de agua, buscar un volumen final de 15 mL, emplear 13,88 mg de estabilizante, para así alcanzar una concentración de azúcares de 64,4 °Brix, una densidad de 1,22 g/mL y una viscosidad de 197,27 cP. El producto obtenido bajo estas condiciones de operación es sometido a una evaluación organoléptica por el público, generando excelentes resultados en la fase olfativa y de gusto, mientras que la fase visual genera resultados menos alentadores. A continuación se realiza el dimensionamiento de la planta y los equipos a emplear; tanques de calentamiento, parrillas y licuadoras industriales son los equipos principales del proceso productivo. Una vez finalizado el diseño se procede con el análisis económico, donde se encuentra que los costos de las materias primas resultan ser bajos frente a otros proyectos, y los mayores costos del proceso productivo se encuentran asociados a la inversión inicial. Mediante el flujo de caja proyectado hasta el año 2039, se evidencia que el proyecto es rentable, generando ganancias a partir del tercer año de comenzar la producción, una vez se libra la inversión inicial.

## 1. Introducción

El yacón es una planta que fue domesticada siglos atrás por los pobladores de las culturas pre Incas. Hasta hace poco, únicamente se cultivaba en los jardines y los huertos caseros para el autoconsumo y el consumo en algunas festividades religiosas especiales. Recientemente se ha comenzado a indagar y a difundir algunas de las propiedades promisorias que posee esta raíz. (Seminario, Valderrama, & Manrique, 2003).

En Colombia, el yacón se encuentra en peligro de extinción, debido al desconocimiento de la población sobre sus propiedades alimenticias, medicinales y ecológicas, motivo por el que no ha recibido un nivel de atención significativo, no se han ejecutado investigaciones con el fin de conocer su diversidad genética o comportamiento agronómico (Polanco Puerta & García, 2013).

El yacón, a diferencia de otros tubérculos y raíces, almacena los carbohidratos en forma de Fructo-oligosacáridos (FOS) y de inulina, azúcares que poseen múltiples beneficios para la salud humana (Rosales Cornejo & Pinto Maguiña, 2007). La inulina es una fibra no digestible encargada del sabor dulce característico. Contrariamente a lo que sucede con el resto de los nutrientes, la inulina no es atacada por las diversas enzimas del estómago y del intestino delgado, por lo que logran llegar al colon sin haber sufrido la degradación. Es aquí donde se evidencia el gran potencial de este fruto, resulta apto para diabéticos (Bautista, Reyna, & Cornejo, 2004).

Los FOS por su parte, son altamente solubles en agua, se caracterizan por un ligero sabor dulce y pueden comercializarse con gran facilidad como sustitutos del azúcar común. El efecto fisiológico tanto de la insulina como de los FOS es el mismo, otorgan únicamente la cuarta parte del valor calórico de los carbohidratos comunes, adicionalmente son reconocidos como un tipo de fibra dietética y se recurre a ellos para la elaboración de diferentes productos funcionales (Polanco Puerta & García, 2013).

Usualmente el yacón es consumido crudo, también se prepara hervido, deshidratado, en bebidas o incluso procesado en forma de mermelada, miel, vinagre, chips o harina (de Almeida Paula, Abranches, & de Luces Fortes Ferreira, 2015). El interés por fabricar productos derivados del yacón reside en que esta raíz es bastante perecedera, tras ser cosechada el tiempo de vida es de siete días (Carvalho Salvador et al., 2012). Adicionalmente, los países occidentales han mostrado una significativa inclinación hacia la búsqueda de alimentos saludables y funcionales, los cuales generen la prevención de diferentes enfermedades. El efecto antidiabético de esta raíz, y el alto potencial que tiene la misma para ejercer cierto control sobre el peso corporal, ha llevado a la población a buscar preparaciones que faciliten su consumo (Ojansivu, Ferreira, & Salminen, 2011).

Una alternativa para dar un uso diferente a este tubérculo es la fabricación de productos con valor agregado como lo es la miel de yacón, la cual es bastante novedosa en el territorio colombiano y con el auge de los endulzantes bajos en calorías y aptos para diabéticos podría ser comercialmente exitosa. El método de procesamiento para obtener este producto inicia con la selección de la materia prima, posteriormente se procede con el lavado, donde se deben de retirar todos los residuos orgánicos que puedan encontrarse adheridos al tubérculo. Luego se pasa a la etapa de pelado, con el uso de un pelador de papas se retira la piel de la materia prima, a continuación se procede con la extracción del jugo empleando un extractor de jugos, al cual se le introduce la raíz permitiendo la separación tanto del extracto como del bagazo, adicionalmente en esta etapa se realiza la adición del ácido ascórbico para impedir que se dé la oxidación del yacón. Luego se concentra el extracto, calentando el fluido por un periodo de una hora donde la temperatura de operación es de 100°C. Finalizado este proceso, se continúa con un segundo filtrado, para pasar a la concentración final, en esta etapa también se realiza la adición del gelificante, insumo que incrementa la viscosidad del producto final.

La elaboración de la miel de yacón no es algo completamente nuevo en el mercado, anteriormente se habían realizado estudios previos en el país vecino de Perú, donde se afirma que para la producción de 1 Kg de miel de yacón es necesario emplear 10 Kg del fruto fresco. Adicionalmente los investigadores afirman que no se precisa de equipos de alto nivel de automatización, y que el proceso resulta ser viable tanto técnica como económicamente [1]. Por su parte, Bautista, Reyna y Cornejo, afirman que para el proceso productivo la etapa de mayor relevancia resulta ser la selección de la materia prima, así como el lavado de las raíces [2].

Aunque el proceso ya se encuentra descrito en la literatura, no se registran artículos en los que se evidencie la aplicación del mismo en el territorio colombiano. Este resulta ser uno de los pilares del presente proyecto, ajustar la metodología al entorno seleccionado, el cual en este caso es la ciudad de Medellín. Para seleccionar las condiciones de operación de la planta se realizará en primer lugar, un diseño de experimentos en donde se consideren variables como volumen de agua adicionado en el proceso de extracción, volumen final tras la concentración y cantidad de estabilizante añadido a la mezcla. Adicionalmente, para determinar el volumen de producción es imprescindible contar con la demanda, por lo que se desarrollará una encuesta de mercado que nos permita conocer el interés de los consumidores en el producto. Partiendo de esta última información se realizará el diseño conceptual de la planta, usando las condiciones de operación seleccionadas. Finalmente se determinará la viabilidad económica del proyecto mediante el valor presente neto y la tasa interna de retorno.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Reactivos y equipos

#### 2.1.1. Reactivos

Para la presente investigación se empleó como materia prima el yacón (Figura 1), este es un tubérculo de origen andino, el cual se adquirió de mercados campesinos. Se empleó un total de 3 kilogramos para el desarrollo experimental. Con el fin de evitar el pardeamiento de la materia prima se empleó el ácido ascórbico USP comprado en “Químicos J.M S.A.”. Para incrementar la viscosidad del producto final se adicionó gelatina sin sabor marca “Euro” como gelificante, la cual fue adquirida en “Euro supermercados”.



Figura 1 Materia Prima - Yacón

#### 2.1.2. Equipos

Todos los equipos empleados en la experimentación fueron suministrados por el laboratorio de fenómenos químicos de la Universidad EAFIT.

Para efectuar la concentración inicial y la concentración final, fue necesario el uso de una plancha de agitación-calentamiento de marca Corning PC420D. La concentración de azúcares presentes tanto en la materia prima como en el producto final, se determinó con el refractómetro analógico modelo Abbe AR4 de marca KRÜSS Optronic. Este equipo es de lectura vía ocular, con escala graduable y prismas de temperatura controlable [3]. La extracción del concentrado de yacón se logró empleando un extractor de jugos (Figura 2). “The juice machine” es un equipo que permite introducir la fruta en fragmentos para realizar la separación del extracto y el bagazo de la misma. Este equipo es de la marca MR.Coffee, cuenta con 300 Watts de potencia y es el modelo JEH200. El peso de la materia prima a se determinó usando una balanza de precisión modelo “Adventurer” de la marca Ohaus. Esta cuenta con una capacidad máxima de 510 gramos, sensibilidad de 0,01 y un plato con diámetro de 18 cm [4].

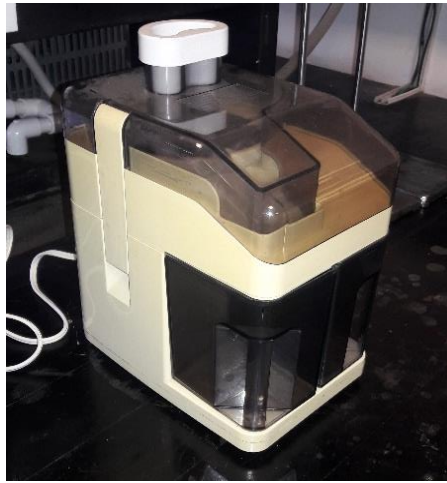


Figura 2 Extractor de Jugos "The Juice Machine"

## 2.2. Métodos analíticos

### 2.2.1. Determinación de la concentración de azúcares

La determinación de la concentración de azúcares se realiza partiendo del extracto líquido de la muestra a medir. Se deposita 1 gota en el prisma del refractómetro. Después de depositar la muestra se regula el lente hasta que se logre visualizar un contraste definido entre la zona oscura y clara, como lo indica la Figura 3. En este punto se reportan los grados Brix leídos en el equipo.

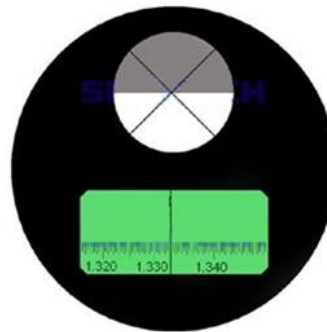


Figura 3 Foco del refractómetro

### 2.2.2. Determinación de la viscosidad

Para determinar la viscosidad se recurrió al viscosímetro de Brookfield. En primer lugar se lleva la temperatura del fluido a 25°C. Posteriormente se realizó la selección de la aguja a emplear, la literatura reporta que la viscosidad de la miel de yacón cuando esta posee 74 °Brix es de 174,27cps [5], por este motivo se realizó una selección inicial de las agujas diseñadas para fluidos de menor viscosidad. El procedimiento constó de adecuar la aguja número 1 al equipo, posteriormente el fluido se ubicó en el beaker bajo la aguja y esta última fue introducida en el recipiente hasta la marca. Se encendió el motor y se tomó la medida.

### 2.2.3. Determinación del costo de procesamiento

Se emplearon los siguientes valores para cuantificar los costos operativos de procesamiento: requerimiento energético e insumos (ácido ascórbico, agua, estabilizante y yacón).

Los costos de las materias primas se detallan en la Tabla 1

Tabla 1 Costos de la materia prima

Ítem	Cantidad	Unidades	Valor	Unidades	Valor
Yacón	1000	Gr	2300	\$	2,3
Ácido Ascórbico	1000	Gr	20000	\$	20
Estabilizante	30	Gr	1920	\$	0,064
Agua	1000	L	2300	\$	0,0023

El costo del yacón es el ofertado en los mercados campesinos. Por su parte, el costo del ácido ascórbico fue suministrado por Protoquímica. Finalmente el valor del agua, fue obtenido mediante las listas de precios publicadas por empresas públicas de Medellín [6].

A continuación se muestran las ecuaciones empleadas para el cálculo de la energía requerida para la evaporación de los diferentes volúmenes de agua:

$$\begin{aligned} & \text{Cantidad de H}_2\text{O a evaporar} * \lambda_{\text{vaporización del H}_2\text{O}} + m * C_p \text{ del H}_2\text{O} * \Delta T \\ & = \text{Energía requerida} \quad (1) \end{aligned}$$

$$\frac{\text{Energía requerida}}{\text{Poder Calorífico del gas}} = \text{Cantidad de gas requerido} \quad (2)$$

$$\text{Cantidad de gas requerido} * \text{Precio del gas} = \text{Costo Energético Teórico Ideal} \quad (3)$$

Para efectuar el cálculo con la ecuación número 1, se empleó el calor de vaporización del agua reportado en la literatura [7].

$$\lambda_{\text{vaporización del H}_2\text{O}} = 2269 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Igualmente se empleó el siguiente calor específico:

$$C_p \text{ del H}_2\text{O} = 4,186 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Por su parte, para efectuar el cálculo de la ecuación número 2, se empleó la información reportada por Empresas Públicas de Medellín [8]:

$$\text{Poder Calorífico del gas} = 34000 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^3}$$

Finalmente, para hacer uso de la ecuación número 3 y obtener el costo del producto, se recurrió al sistema de información de petróleo y gas colombiano, donde se encontró la siguiente información [9]:

$$\text{Precio del gas} = 1404 \frac{\$}{m^3}$$

## 2.3. Procedimientos experimentales

### 2.3.1. Selección de la materia prima para ejecutar los experimentos

Para la selección de la materia prima se tienen en cuenta dos factores estos son: concentración de azúcares y la estructura en general de la materia prima (que no posea fisuras o se encuentre deteriorado). A continuación se explica el proceso empleado para determinar si la raíz resultaba o no apta.

#### 2.3.1.1. Parámetros físicos

La selección de la materia prima se realizó inicialmente partiendo de los parámetros físicos, se tomó como base la información reportada en las investigaciones de Huiman y Arroyo (Huiaman Arroyo & Luna Jerí, 2014). Para esto, a la hora de adquirir la materia prima, se tuvo en cuenta el tamaño de la raíz, según los autores es preferible seleccionar aquellos tubérculos que posean un mayor tamaño para evitar las pérdidas, adicionalmente las raíces elegidas no debían de presentar ningún tipo de golpes, raspones o fisuras que pudiesen generar la degradación del producto.

#### 2.3.1.2. Concentración de azúcares

El segundo parámetro de selección es la concentración de azúcares. Este parámetro resulta ser de gran relevancia puesto que determinará el sabor final del producto, una raíz con elevada concentración de azúcares permitirá obtener mayor rendimiento en el proceso. Las raíces únicamente resultaran ser aptas si su contenido de azúcares es superior a 8 grados Brix [1]. Para determinar la concentración de azúcares se peló el tubérculo, posteriormente se extrajo la pulpa y se tomó una muestra de aproximadamente 30 gramos, esta fue triturada y paralelamente se le adicionó ácido ascórbico, conservando la relación de 0.15 g de ácido por kg de yacón. Al extracto se miden los grados Brix de acuerdo al procedimiento del numeral 2.2.1. Aquellas raíces que no cumplían con este segundo criterio, fueron almacenadas, con el objetivo de aguardar hasta que el nivel de madurez de las mismas fuese el adecuado para ser aptas para el proceso.

### 2.3.2. Obtención del extracto para producción de la miel

Posterior al proceso de selección, cada una de las raíces fue pelada, el peso del material perdido fue medido para la cuantificación de costos de materia prima. Luego fueron fraccionadas y homogenizadas con mortero para obtener una mezcla homogénea, para cada corrida fueron extraídos 200 gramos de yacón de pulpa homogénea.

La pulpa se llevó a un beaker en el que se adicionó un volumen de agua que osciló entre 0 y 700 mL por cada Kg de raíz con el fin de incrementar el contenido de azúcares en el producto final (Torrez López, 2007). A continuación en ese mismo beaker fue adicionado el ácido ascórbico USP en una relación de 0,15 gramos de ácido por cada kilogramo de raíz de yacón. Se tomó la mezcla y se depositó en el extractor de jugos donde se transformó la mezcla en un extracto, dejando por separado el bagazo. En este punto se determinó el porcentaje de extracto obtenido, así como la cantidad de bagazo, con el objetivo de determinar el rendimiento del proceso.

### 2.3.3. Concentración inicial del extracto

El extracto obtenido se calentó con agitación uniforme. La temperatura de operación empleada fue la establecida por Rosales y Pinto (Rosales Cornejo & Pinto Maguiña, 2007), la cual fue de 100°C regulada directamente en la plancha de agitación- calentamiento y con un tiempo de 60 minutos, este

tiempo fue el reportado por Bautista, Reyna & Cornejo, en su artículo “Optimización de parámetros para obtención de miel de yacón en planta piloto y evaluación de oligofructanos” (Bautista et al., 2004).

#### 2.3.4. Concentración final

Al finalizar el calentamiento se filtró nuevamente el extracto y se sometió a calentamiento hasta reducir su volumen. Además se adicionó el estabilizante cuyo objetivo es incrementar la viscosidad del producto. Para controlar el volumen final se realizó una marca de nivel en los beakers en los que se desarrolló esta etapa, en algunos casos fue inevitable que el volumen descendiese un poco más de lo esperado y se debió ajustar con una pequeña cantidad de agua desionizada.

#### 2.3.5. Evaluación de las propiedades finales del producto

Obtenida la miel, se procedió a determinar los diferentes valores correspondientes a las variables respuesta. La densidad fue determinada mediante la relación de peso y volumen con picnómetro, mientras que la concentración de azúcares y viscosidad se midieron de acuerdo al procedimiento descrito en la sección de métodos analíticos.

### 2.4. Diseño de experimentos empleado

El diseño de experimentos seleccionado fue el Box-Behnken. Dentro de las principales ventajas que podemos encontrar frente a otros modelos factoriales es que se requieren un número mínimo de ensayos, para este caso son 15 experimentos, lo que hace que el diseño sea más rápido de realizar, requiriendo menor inversión de tiempo en el desarrollo de las corridas. Para la programación de los experimentos se empleó el software Statgraphics Centurion XVI versión 16.1.18, este se encarga de definir aleatoriamente los niveles intermedios para cada uno de los factores operacionales.

#### 2.4.1. Selección de los factores (variables de operación)

##### 2.4.1.1. Volumen de agua a adicionar

De acuerdo al artículo de López Torrez “Valorización de la raíz de yacón: obtención de un jarabe rico en fructooligosacáridos” [10]. Adicionar agua durante el proceso de extracción de la miel de yacón promueve la extracción de azúcares de la fibra, sin embargo, esta agua luego debe ser evaporada por lo que esto incrementará los costos energéticos. Partiendo de esta información se determina que para el diseño de experimentos, las condiciones a evaluar partirán desde no adicionar agua a la materia prima, hasta emplear un máximo de 700 mL durante el proceso de extracción.

##### 2.4.1.2. Volumen final del extracto

En el caso del volumen final del extracto, se empleó como referencia bibliográfica el libro “Jarabe de yacón: Principios y procesamiento” de Manrique, Párraga y Hermaan [11]. De este se puede estimar que para la producción de 1 litro de miel de Yacón es necesario emplear alrededor de 9 kilogramos de extracto de pulpa, conservando estas proporciones partiendo de 200 gramos de miel es necesario reducir el volumen hasta entre 15 y 25 mL, donde se estaría efectuando la evaporación de los porcentajes anteriormente mencionados. Mientras mayor sea el volumen final menor será el costo de producción por unidad de volumen producida.

##### 2.4.1.3. Cantidad de gelificante a adicionar

Tomando como referencia el Codex Alimentarius y la normatividad emitida por el INVIMA, documentos en los que se establecen los límites máximos de aditivos que pueden ser incorporados a los productos espesantes comúnmente empleados como lo son la pectina, la gretina (gelatina sin sabor) y el almidón de maíz, únicamente se encuentran límites para el primero, mientras que los últimos dos no son mencionados [12], ([13]. Por lo anterior, se selecciona como valor máximo el establecido

en la normatividad mexicana de 1.5 mg/100 mL de solución [14]. Este valor se aplicará para la gernetina, gelificante a usar en esta experimentación.

A continuación, la Tabla 2 muestra la información referente a los factores operacionales del diseño mientras la Tabla 3 contiene la información de las variables de respuesta.

Tabla 2 Factores Operacionales

Factores	Bajo	Alto	Unidades	Continuo
Volumen Adicionado	0	700	mL	Sí
Volumen Final	15	25	mL	Sí
Estabilizante	5	15	mg/L	Sí

Tabla 3 Variables de respuesta

Respuestas	Unidades
Grados Brix	°Brix
Viscosidad	cP
Densidad	g/mL
Costo procesamiento	\$/Litro
Organolépticas	(cualitativa)

La evaluación de las propiedades organolépticas se realizó únicamente con el ensayo realizado una vez fueron seleccionadas las condiciones óptimas de operación. Para esto se recurrió al formato que se encuentra referenciado en la Tabla 4, el procedimiento consistió en seleccionar 20 individuos mayores de edad. A cada uno de ellos se le permitió degustar la muestra y posteriormente estos debieron de completar el formato. Para obtener el resultado se promediaron las calificaciones que cada catador le otorgo al ensayo.

Tabla 4 Formato evaluación de propiedades organolépticas

Fecha							
Catador							
N° de Muestra							
Ubicación							
Fases	5	4	3	2	1	0	Observaciones
Fase Visual							
Fase Olfativa	Intensidad						
	Calidad						
Fase Gustativa	Intensidad						
	Calidad						
Total							

## 2.5. Optimización del proceso (Selección de las condiciones óptimas)

A partir de los resultados del diseño de experimentos se desarrollaron modelos de regresión de segundo orden (Se desarrollaron para todas las variables respuesta exceptuando la calificación de las características organolépticas que se analizará de forma independiente). La ecuación 4 muestra el modelo de regresión que se empleó en donde  $\beta_0$ ,  $\beta_i$ ,  $\beta_{ii}$ ,  $\beta_{ij}$  son los coeficientes de regresión para: el

intercepto y los términos lineal, cuadrático y de interacciones respectivamente:  $X_i$  y  $X_{ij}$  son las variables independientes.

$$Y_i = \beta_0 + \sum_1^3 \beta_i x_i + \sum_1^3 \beta_{ii} x_{ii}^2 + \sum_1^3 \sum_1^3 \beta_{ij} x_i x_j \quad (4)$$

Tras obtener los coeficientes de regresión y de los polinomios, se desarrolló un análisis fijando tres restricciones (grados Brix, densidad y viscosidad), para las cuales, con ayuda de Excel, se buscaron las condiciones de operación para las que se tuviesen los menores costos de operación.

## 2.6. Validación de las correlaciones obtenidas

Para la validación de las correlaciones obtenidas primero se calcularon los coeficientes de determinación  $R^2$  y  $R^2_{adj}$ , estos describen el grado en que la varianza de los resultados puede ser descrita por los modelos obtenidos. Una vez se verificó el ajuste se validó que bajo las condiciones seleccionadas se obtuviesen los resultados descritos por el modelo (considerando la varianza de los puntos centrales del diseño), para esto se realizó un experimento bajo las condiciones de operación seleccionadas y se verificó que cada una de las variables respuesta se ajustase a los valores esperados.

## 2.7. Diseño conceptual

Se tomaron como base las condiciones seleccionadas a partir de los ensayos experimentales, adicionalmente se partió del volumen calculado mediante la encuesta de mercado. Por otra parte, se tomaron diferentes ecuaciones de diseño y heurísticas para el dimensionamiento de los equipos necesarios, las cuales se asumieron como válidas y aplicables al proceso. Se emplearon las ecuaciones y las heurísticas de diseño reportadas por Walas en su libro “Chemical Process Equipment Selection and Design”, donde se encontraba reportada la información necesaria para dimensionar los equipos involucrados en el proceso (Walas, 1990).

Adicionalmente se consultó sobre la normatividad que rige la industria de alimentos para seleccionar los materiales de construcción de los equipos y finalmente se realizó la cotización de cada uno de ellos. En el análisis económico del proceso, se tuvo en cuenta el valor comercial de los subproductos, como lo son el bagazo extraído de la filtración y las raíces que no fueron seleccionadas para la fabricación de la miel de yacón.

## 2.8. Viabilidad económica

La viabilidad económica del proyecto se determinó a partir de los costos establecidos en el diseño conceptual y el valor del producto en el mercado, para esto se empleó el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR). Para realizar el cálculo del VPN, se estimarán los flujos que se esperan producir. A continuación, se amplió el procedimiento básico de los flujos de efectivo descontados para así estimar el valor presente de esos flujos de efectivo. Teniendo ese valor, se estimó el VPN como la diferencia entre el valor presente de los flujos de efectivo esperados y el costo de inversión (Fundamentos de Finanzas, n.d.). Para el cálculo del VPN se empleó la siguiente definición:

$$VPN = \sum_{n=0}^N \frac{I_n - E_n}{(1 + i)^n} \quad (5)$$

Donde:

$I_n$ : Ingresos

$E_n$ : Egresos

$N$ : Número de períodos

$i$ : Tipo de interes

Se seleccionó el VPN para evaluar la viabilidad económica del proyecto, debido a que emplea el concepto del valor del dinero en el tiempo, adicionalmente diferentes referencias afirman que da la decisión correcta de aceptación o negación de un proyecto (Desarrollo, 2004).

La tasa interna de retorno (TIR), nos complementó el análisis de la rentabilidad del negocio. La tasa interna de retorno es la máxima tasa de descuento que puede tener un proyecto para que sea rentable, adicionalmente es aquella que hace que el valor presente neto sea igual a cero, para su cálculo se empleó a la siguiente expresión (Ecuación 6) (Fundamentos de Finanzas, n.d.):

$$VPN = -I + \sum_{i=1}^N \frac{Q_i}{(1 + TIR)^i} \quad (6)$$

Donde:

$Q_i$ : Flujo de caja en el periodo  $i$

### 3. Resultados y análisis

#### 3.1. Selección y adecuación de la materia prima

Basándonos en los parámetros mencionados en el apartado anterior, se seleccionaron los tubérculos que no presentasen ningún tipo de fisuras, cortes o heridas. Adicionalmente, tras elaborar la muestra del extracto, se descartaron las raíces con un contenido de azúcares inferior a los 8° Brix.

En el proceso de selección se rechazaron el 10 por ciento de los tubérculos. Al realizar el proceso de pelado del producto se perdió en promedio 100 gramos por cada kilogramo de yacón, mientras que en la etapa de extracción se obtuvo en promedio 400 mililitros por cada kilogramo de yacón procesado.

#### 3.2. Resultados Diseño de experimentos

La Tabla 5 muestra los resultados obtenidos del diseño de experimentos. Se muestran los valores obtenidos para la viscosidad empleando el viscosímetro de Brookfield, el valor de la densidad empleando el picnómetro, los grados Brix que son una medida de la concentración de azúcares con la lectura en el refractómetro, así como el costo operativo que considera las materias primas y la energía del proceso.

La densidad encontrada para el producto elaborado oscilo entre 1,09 y 1,25 gr/mL, la viscosidad por su parte oscilo entre 168 y 206 cP, finalmente la concentración de azúcares se encontró entre 35 y 69 °Brix.

Tabla 5 Resultados diseño de experimentos

Condiciones experimentales				Variables de respuesta			
Corrida	Vol adicionado	Vol Final	Estabilizante	Densidad	Costo Total	Viscosidad	[ ] Azúcares
	mL	mL	mg	gr/mL	\$/mL	cP	° Brix
1	350	20	10	1,17	15,3903755	178	50
2	350	15	5	1,21	20,5616315	175	61
3	0	15	10	1,23	19,5272238	192	56
4	350	20	10	1,16	15,3903755	185	49
5	0	25	10	1,1	11,6413772	177	35
6	700	25	10	1,11	12,9082665	188	43
7	350	20	10	1,16	15,3903755	182	45
8	0	20	5	1,19	14,5825697	178	38
9	350	25	15	1,09	12,2876218	200	42
10	350	25	5	1,09	12,2620218	168	39
11	0	20	15	1,18	14,6145697	194	43
12	700	20	15	1,15	16,1981813	206	52
13	700	15	10	1,22	21,638706	190	69
14	350	15	15	1,24	20,6042982	201	62
15	700	20	5	1,14	16,1661813	175	45

##### 3.2.1. Análisis estadístico

Realizando el análisis estadístico para las diferentes variables de respuesta se obtienen los siguientes análisis de varianza (ANOVA), diagramas de Pareto y graficos de superficie de respuesta.

Para realizar estos análisis estadísticos se recurrió al software estadístico Statgraphics. Mediante este se construyó la siguiente tabla de varianzas para cada una de las variables de respuesta.

Tabla 6 Tabla ANOVA para las diferentes variables de respuesta

	[ ] De Azúcares	Densidad	Viscosidad	Costo total
Fuente	Valor-P	Valor-P	Valor-P	Valor-P
A:Volumen adicionado	0,0027	0,1138	0,1001	0,0000
B:Volumen Final	0,0000	0,0001	0,0381	0,0000
C:Estabilizante	0,0632	0,5050	0,0001	0,2203
AA	0,1900	0,5771	0,0762	1,0000
AB	0,3411	0,5286	0,0948	0,0001
AC	0,6914	0,5286	0,0637	1,0000
BB	0,0134	0,7200	0,4283	0,0000
BC	0,6914	0,3566	0,3860	0,8085
CC	0,2460	0,7200	0,1363	1,0000
R-cuadrada	97,8912	96,8892	97,1195	99,9962
R-cuadrada (ajustada por g.l.)	94,0953	91,2899	91,9347	99,9894

A partir de esta información es factible afirmar que para la concentración de azúcares las variables más significativas son el volumen adicionado y el volumen final. Adicionalmente se puede afirmar que el modelo es adecuado para describir la relación existente entre las variables, puesto que el R cuadrado da un valor superior al 95% y el R cuadrado ajustado da un valor superior al 75%. Por su parte, para la densidad la variable más significativa es el volumen final, y al igual que en la concentración de azúcares, el modelo resulta ser adecuado. Para la viscosidad, las variables más significativas son el volumen final y la cantidad de estabilizante añadido, mientras que para el costo total hay cuatro variables significativas con un intervalo de confianza del 95%, estas son el volumen adicionado, el volumen final, la interacción entre el volumen adicionado y el volumen final y la interacción del volumen final con el mismo. El R cuadrado de esta última variable resulta ser perfecto debido a que toda la información recopilada corresponde netamente a cálculos matemáticos, por lo que los errores experimentales son completamente ajenos.

Los diferentes gráficos de superficie de respuesta que se muestran a continuación, se realizan fijando el factor “Estabilizante” debido a que es el que posee menor impacto en el diseño, esta información se obtiene a partir de los diferentes diagramas de Pareto.

### 3.2.1.1. Concentración de azúcares

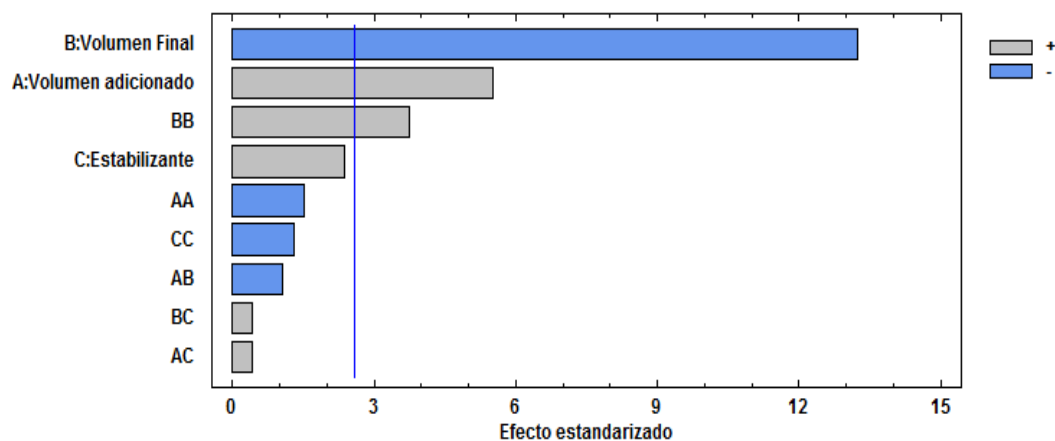


Figura 4 Diagrama de Pareto para la concentración de azúcares

Como se evidencia en la Figura 4, el diagrama de Pareto para la concentración de azúcares corrobora la información obtenida mediante el análisis de varianza, los factores más significativos para esta variable de respuesta son el volumen final con un efecto negativo, y el volumen adicionado con un efecto positivo. El efecto negativo del volumen final se debe a que a mayor volumen final, mayor dilución de los azúcares, lo que deteriora las características de la miel. En cuando al volumen adicionado, su efecto es positivo, es decir, a medida que se agrega mayor volumen de agua en el proceso productivo, mayor es la concentración de azúcares, generando un producto de mejor calidad.

Adicionalmente, extrayendo los coeficientes de regresión para esta variable de respuesta obtenemos que la ecuación de regresión que se ajusta a los datos es la siguiente:

$$[ ]Azúcares = 149,5 + 0,03 * Va - 9,57 * Vf + 1,2 * Estabilizante - 0,00 * Va^2 - 0,00 * Va * Vf + 0,00 * Va * Estabilizante + 0,18 * Vf^2 + 0,02 * Vf * Estabilizante - 0,06 * Estabilizante^2$$

*Va: Volumen adicionado*

*Vf: Volumen final*

Empleando dicha ecuación, se realiza un gráfico de superficie de respuesta.

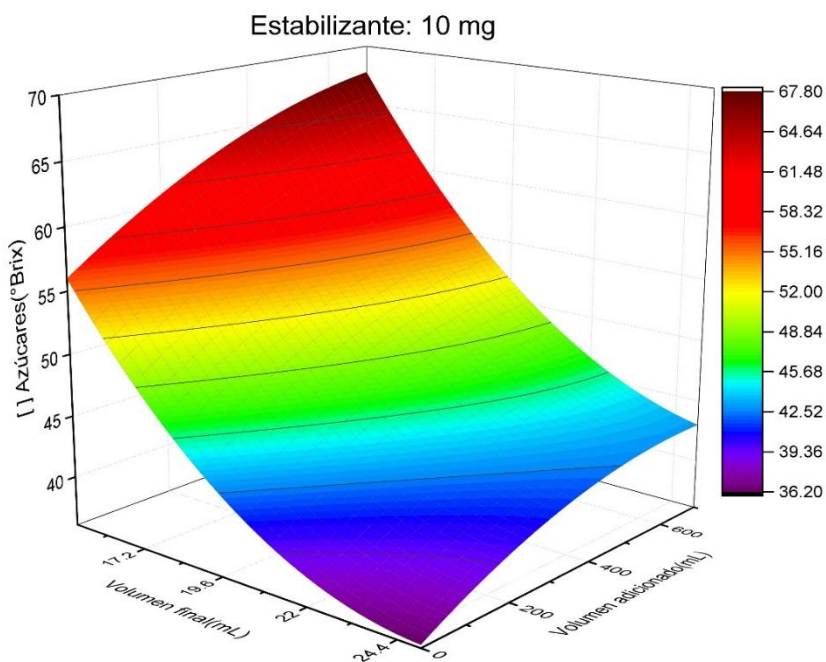


Figura 5 Superficie de respuesta [ ] de Azúcares

Como se muestra en la Figura 5, la superficie de respuesta muestra que la mayor concentración de azúcares se logra con el menor volumen final y el mayor volumen adicionado. Como lo afirma Pinto en su artículo “Comparación de dos métodos tecnológicos para obtención de miel de yacón ( *Smallanthus Sonchifolius* ) utilizando un concentrador a presión a vacío y una marmita a presión atmosférica”, es ideal obtener una miel donde la concentración de azúcares se encuentre entre 60 y 65 °Brix, por lo anterior resulta imprescindible manejar bajos volúmenes finales en el proceso productivo, de manera que se alcance este rango [5].

### 3.2.1.2. Densidad

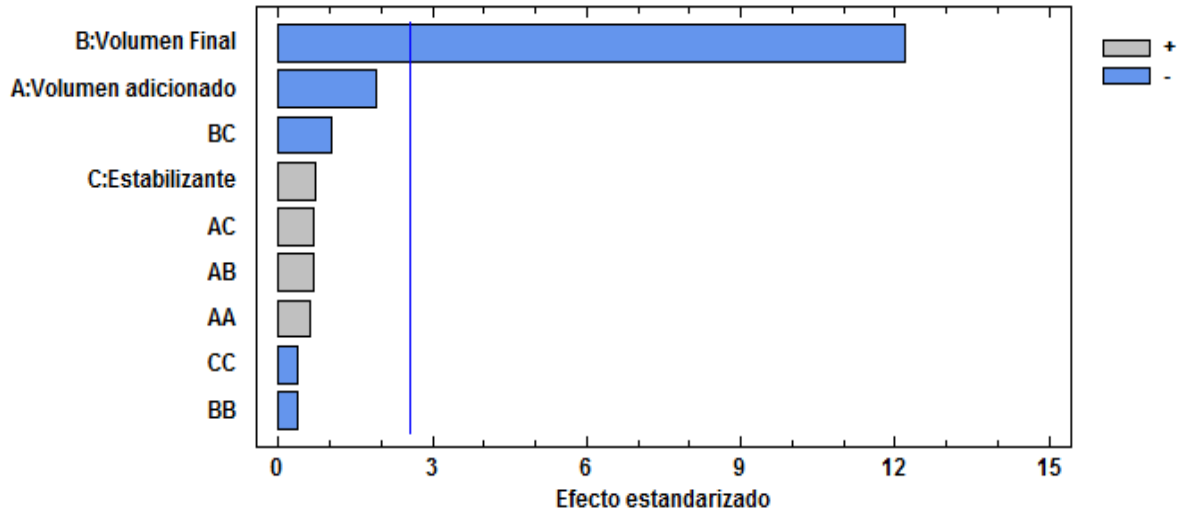


Figura 6 Diagrama de Pareto para la densidad

Como se evidencia en la Figura 6, el diagrama de Pareto para la densidad corrobora la información obtenida mediante el análisis de varianza, el factor más significativo para esta variable de respuesta es el volumen final con un efecto negativo. Esto implica que a mayor volumen final menores son los valores de densidad, puesto que no se logra una concentración del producto ni una evaporación de los volúmenes de agua que son adicionados en el proceso productivo.

Adicionalmente, extrayendo los coeficientes de regresión para esta variable de respuesta obtenemos que la ecuación de regresión que se ajusta a los datos es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Densidad} = & 1,33 - 0,00 * Va - 0,00 * Vf + 0,00 * \text{Estabilizante} + 3,7415E - 8 * Va^2 \\ & + 0,00 * Va * Vf + 0,00 * Va * \text{Estabilizante} - 0,00 * Vf^2 - 0,00 * Vf \\ & * \text{Estabilizante} - 0,00 * \text{Estabilizante}^2 \end{aligned}$$

*Va: Volumen adicionado*

*Vf: Volumen final*

Empleando dicha ecuación, se realiza un gráfico de superficie de respuesta.

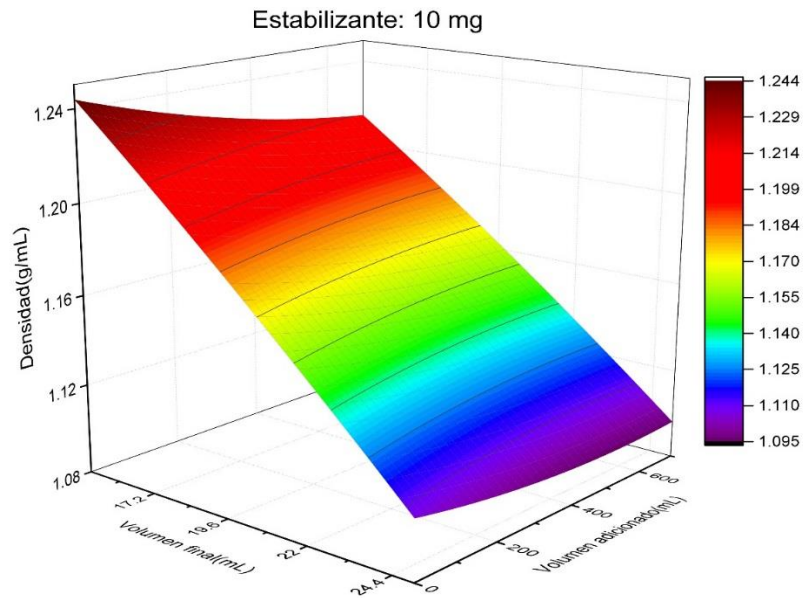


Figura 7 Superficie de respuesta densidad

Como se evidencia en la Figura 7, hay una dependencia directa entre la densidad y el volumen final, mientras que el efecto del volumen adicionado no resulta ser tan considerable. Como lo afirma Manrique, Párraga y Hermaan en su libro “Jarabe de yacón: Principios y procesamiento”, entre mayor sea la densidad del producto final, mejores características organolépticas podrá presentar. Por lo anterior se buscan densidades entre 1,20 y 1,24 g/mL, por lo que obtener volúmenes finales superiores a 20 mL no resulta idóneo para el proceso. [11].

### 3.2.1.3. Viscosidad

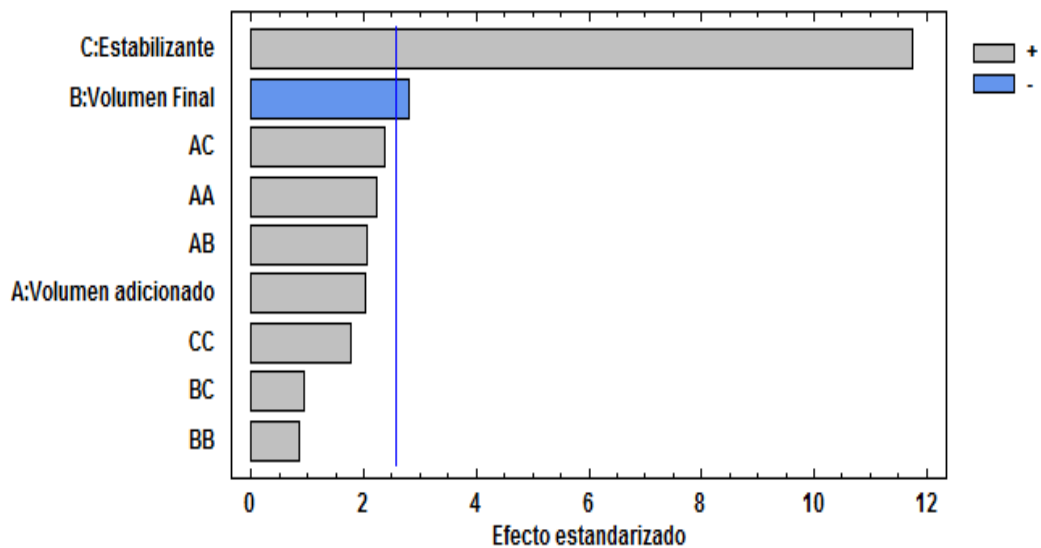


Figura 8 Diagrama de Pareto para la viscosidad

Como se evidencia en la Figura 8, el diagrama de Pareto para la viscosidad corrobora la información obtenida mediante el análisis de varianza, los factores más significativos para esta variable de respuesta son el volumen final con un efecto inverso y la cantidad de estabilizante añadido con un efecto directo. El efecto negativo del volumen final se debe a que a mayor volumen, la viscosidad del producto será menor, debido a que el estabilizante se encontrará diluido en una cantidad superior de fluido. Por su parte, el estabilizante tiene un efecto positivo, a medida que se adiciona una cantidad mayor de estabilizante, la viscosidad del producto se incrementa.

Adicionalmente, extrayendo los coeficientes de regresión para esta variable de respuesta obtenemos que la ecuación de regresión que se ajusta a los datos es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Viscosidad} = & 236,16 - 0,07 * Va - 4,14 * Vf - 1,65 * \text{Estabilizante} + 0,00 * Va^2 + 0,00 \\ & * Va * Vf + 0,00 * Va * \text{Estabilizante} + 0,05 * Vf^2 + 0,06 * Vf \\ & * \text{Estabilizante} + 0,11 * \text{Estabilizante}^2 \end{aligned}$$

*Va: Volumen adicionado*

*Vf: Volumen final*

Los mayores valores de viscosidad se alcanzan empleando elevados volúmenes de agua adicionados y altos volúmenes de producto final. También se logra empleando bajos volúmenes finales y bajos volúmenes adicionados. Como lo afirman Cornejo y Maguiña en su artículo “Comparación de dos métodos tecnológicos para obtención de miel de yacón ( *Smallanthus Sonchifolius* ) utilizando un concentrador a presión a vacío y una marmita a presión atmosférica”, la miel de yacón de forma natural debe de poseer como mínimo un valor de 157 cP, en el presente proyecto se recurrió a la adición de estabilizante, motivo por el que las viscosidades se incrementan significativamente [5].

#### 3.2.1.4. Costo total

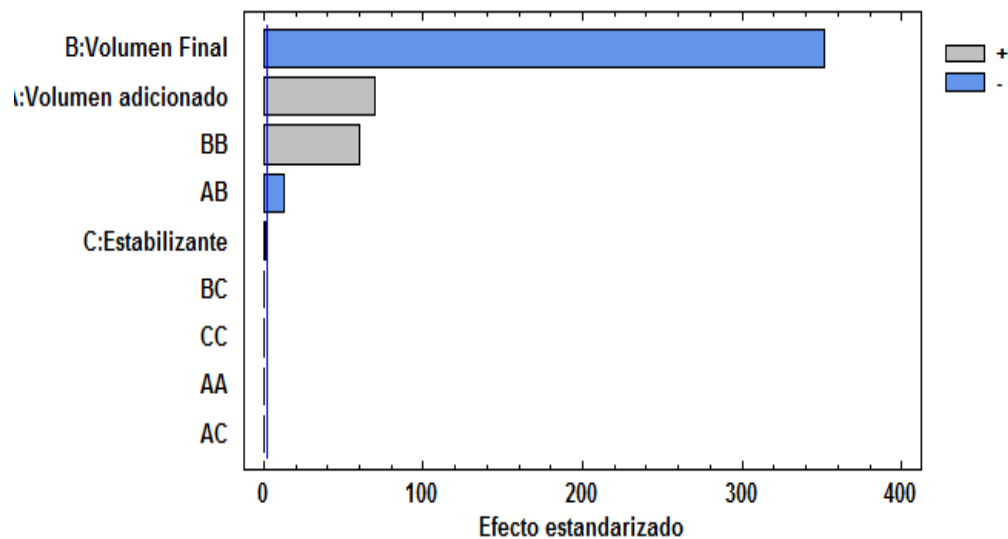


Figura 9 Diagrama de Pareto para el costo total

Como se evidencia en la Figura 9, el diagrama de Pareto para el costo total corrobora la información obtenida mediante el análisis de varianza, el costo total cuenta con cuatro factores relevantes. El volumen final es la variable con mayor impacto, su incidencia es inversamente proporcional, en

segundo lugar encontramos el volumen adicionado cuyo efecto es positivo, este comportamiento también lo evidencia la interacción del volumen final con el mismo volumen final, mientras que la interacción del volumen final con el volumen adicionado, aunque con una incidencia menor, posee un efecto negativo.

El efecto del volumen adicionado es positivo, puesto que a medida que adiciona mayores cantidades de agua se incurren en más gastos de materia prima y gastos energéticos para realizar el proceso de evaporación. Por su parte, el volumen final posee un efecto negativo en el costo, puesto que a medida que se obtienen mayores volúmenes finales, menores son los costos de producción, puesto que se realizan procesos de evaporación más cortos con menor gasto energético.

Adicionalmente, extrayendo los coeficientes de regresión para esta variable de respuesta obtenemos que la ecuación de regresión que se ajusta a los datos es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Costo Total} = & 46,893 + 0,00475083 * Va - 2,44851 * VF + 0,00672 * \text{Estabilizante} + 0,0 \\ & * Va^2 - 0,000120656 * Va * VF + 0,0 * Va * \text{Estabilizante} + 0,0415407 \\ & * VF^2 - 0,000170667 * VF * \text{Estabilizante} + 0,0 * \text{Estabilizante}^2 \end{aligned}$$

*Va: Volumen adicionado*

*Vf: Volumen final*

Empleando dicha ecuación, se realiza un gráfico de superficie de respuesta.

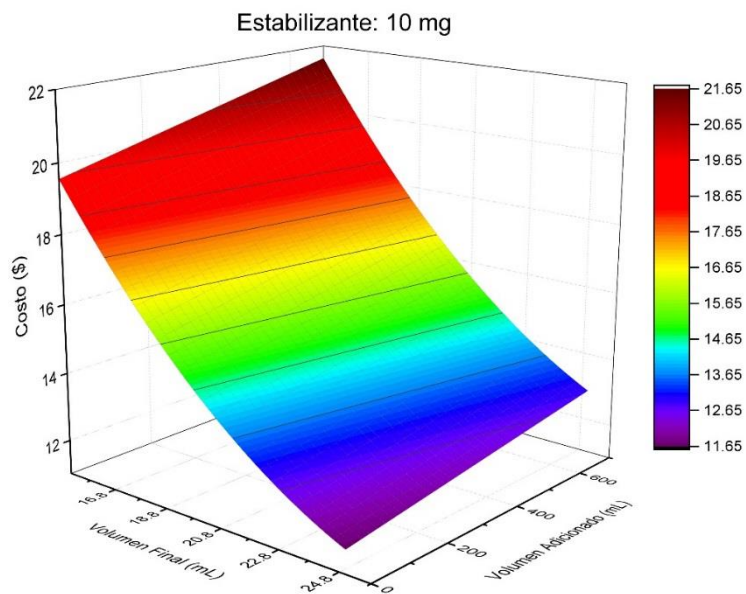


Figura 10 Superficie de respuesta costo

Como lo muestra la Figura 10, los costos mayores se obtienen con los menores volúmenes finales y los mayores volúmenes adicionados, esto se debe principalmente a que el proceso de evaporación prolongado para obtener un bajo volumen final requiere de una alta inversión energética. Por otra parte, mayores volúmenes adicionados significa incurrir en gastos de materia prima, que a su vez lleva a que se requiera una evaporación más extensa.

### 3.3. Optimización del proceso

Empleando los coeficientes de regresión y los polinomios obtenidos, se procedió a realizar un análisis en el que se fijaron tres restricciones (grados Brix, densidad y viscosidad). Con ayuda del Solver de Excel, se buscaron las condiciones de operación en las que los costes fueran los mínimos posibles.

### 3.3.1. Selección de las restricciones

#### 3.3.1.1. Concentración de azúcares

Como lo afirma Pinto, es ideal obtener una miel donde la concentración de azúcares se encuentre entre 60 y 65 °Brix, por lo anterior se selecciona como restricción que la miel deba de contar con 62,5 °Brix [5].

#### 3.3.1.2. Densidad

Manrique, Párraga y Hermaan, comentan que entre mayor sea la densidad del producto final, mejores características organolépticas podrá presentar. Por lo anterior resulta necesario buscar densidades que se encuentren entre 1,20 y 1,24 g/mL. Partiendo de los anterior, como restricción se considera una densidad de 1,22 g/mL [11].

#### 3.3.1.3. Viscosidad

Cornejo y Maguiña, indican que la miel de yacón de forma natural debe de poseer como mínimo un valor de 157 cP, los valores obtenidos en el proceso al emplear estabilizante se encuentran entre 178 y 190 cP, por esto se considera como restricción para el proceso productivo un valor promedio, el cual es de 184 cP. Al emplear este valor promedio la calidad del producto final resulta ser ideal, las características organolépticas resultan ser idóneas [5].

### 3.3.2. Condiciones óptimas empleando Solver

Empleando la herramienta Solver de Excel se logran obtener las condiciones en las cuales el costo del proceso productivo es el mínimo. Usando las restricciones anteriormente mencionados se llega a que las condiciones operativas son: la adición de un volumen de 388,88 mL, realizar una evaporación hasta obtener 15 mL del producto, y adicionar 13,88 mg de estabilizante para incrementar la viscosidad del producto. Es de esta manera que se logra elaborar un producto donde el costo es de 20,71 \$/mL.

### 3.3.3. Validación de las condiciones óptimas encontradas

Una vez se seleccionaron las condiciones óptimas para realizar el proceso productivo se procedió a realizar una corrida para validar los parámetros encontrados. Se realizó el ensayo obteniendo los siguientes valores para las variables de respuesta.

Tabla 7 Condiciones óptimas

Factores		Variables de respuesta	
Volumen de agua adicionado	388,88 mL	[ ] De azúcares	64,6 °Brix
Volumen final	15 mL	Densidad	1,22 g/mL
Estabilizante adicionado	13,88 mg	Viscosidad	197,27 cP

### 3.3.4. Prueba organoléptica para el diseño seleccionado

Para validar con el público la selección de las condiciones operativas, se procedió a emplear el formato mostrado en el numeral 2.4.

Se seleccionaron 20 individuos mayores de edad para que realizaran la degustación del producto. A continuación se muestran los promedios de la información obtenida a partir de los diferentes formatos diligenciados:

Fase Visual: 4.2

Fase olfativa:

- Intensidad: 4.7
- Calidad: 4.4

Fase gustativa:

- Intensidad: 4.6
- Calidad: 4.8

A partir de estos promedios se puede afirmar que la aceptación del producto fue buena. El público en general comentó que el jarabe presenta un agradable sabor, el aroma resulta ser peculiar pero en ningún momento se torna desagradable, mientras que quizás la variable que menor aceptación presentó fue la visual, puesto que la miel de yacón se caracteriza por un color ocre bastante particular.

### **3.4. Encuesta de mercado:**

La encuesta de mercado fue aplicada a un total de 110 individuos. Esta se dio a conocer por medio de las redes sociales estando disponible desde el día 9 de febrero del 2017 hasta el día 29 de febrero del mismo año. El objetivo de la misma fue obtener información para determinar el volumen de producción.

El formato de la encuesta así como los porcentajes obtenidos, pueden encontrarse en el apartado de anexos.

Partiendo de la información recopilada mediante estas encuestas, se realiza el cálculo para determinar el volumen de producción. Se selecciona como población objetivo los habitantes de la ciudad de Medellín. Según el perfil socioeconómico publicado por la alcaldía de Medellín para el año 2013, la población que se encuentra abarcada dentro de este grupo es de 2.417.325 personas [15]. De esta población, el 85,45% estaría dispuesto a consumir la miel de yacón, lo que correspondería a 2.065.604 personas.

De esa muestra poblacional, nos enfocaremos en los estratos 5 y 6 de la ciudad de Medellín, lo que según la encuesta correspondería al 50% de los encuestados. Finalmente tendríamos que sería un total de 1.032.802 personas, de las cuales pretendemos abarcar un 10%, lo que nos indica que la población objetivo es de 103.280 personas.

El volumen de los envases a comercializar sería de 200 mL, suponiendo que se comercialice con esta población objetivo una botella anual, se requerirían al año 20.656,04 Litros de miel de yacón. El objetivo sería realizar una producción anual igualitaria, por lo que mensualmente se deberían de producir 1721 litros, asumiendo que la planta operará 21 días al mes y por turnos de 8 horas, el volumen sería entonces de 10,24 L/hora.

### **3.5. Diseño conceptual**

Para el Diseño conceptual debemos de partir de la siguiente información:

Tabla 8 Insumos necesarios por volúmenes de producción

	Vol producto (L)	Yacón (Kg)	H2O proceso (L)	Estabilizante (Kg)
15 mL	0,015	0,2	0,388	0,000013
Unidad (200 mL)	0,2	2,66	5,17	0,00018
Producción diaria	81,96	1092,8	2120,032	0,075
Producción mes	1721	22946,66	44516,53	1,59
Producción Anual	20656	275413,33	534301,86	19,11

3.5.1. Diagrama de bloques del proceso (BFD)

A continuación se muestra el diagrama de bloques del proceso.

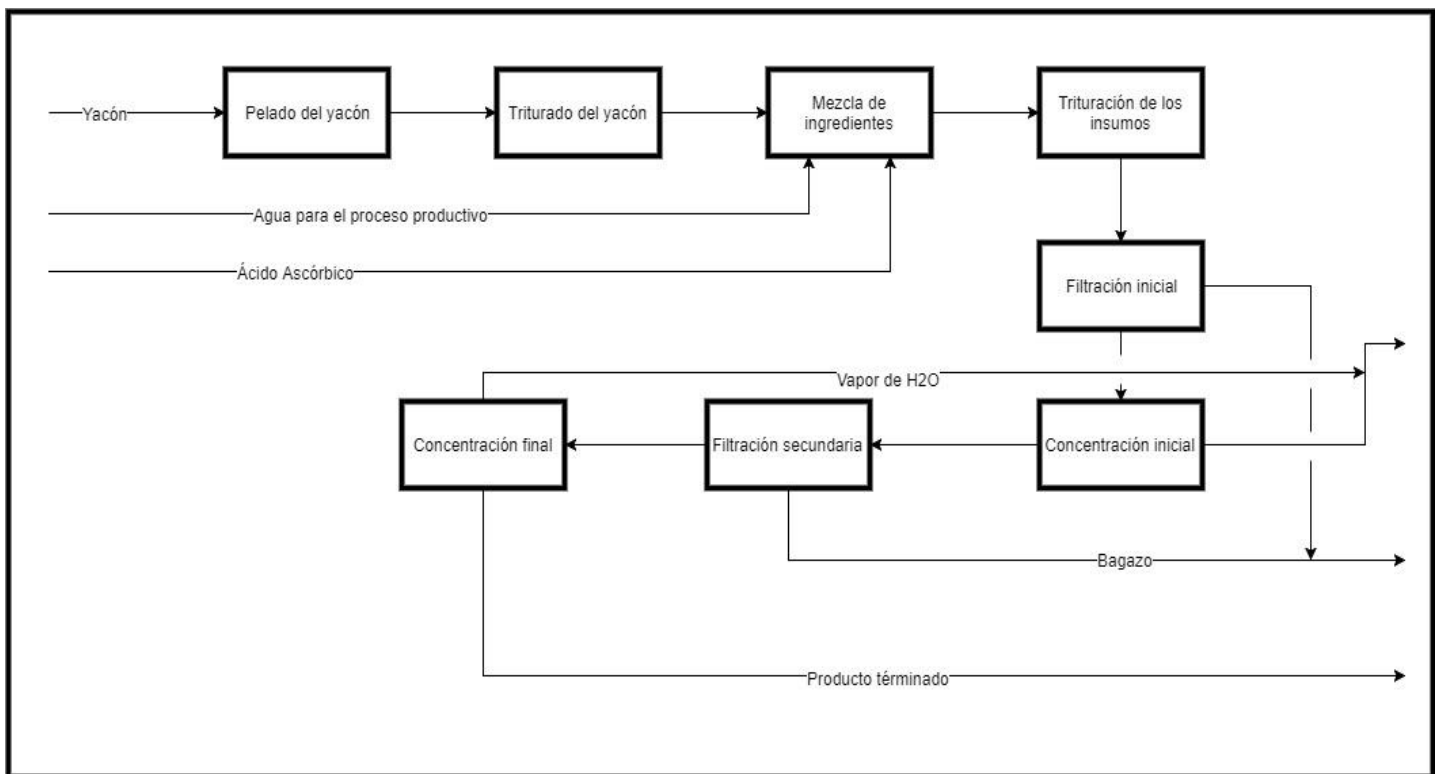


Figura 11 Diagrama de bloques del proceso (BFD)

### 3.5.2. Diagrama del proceso (PFD)

A continuación se muestra el diagrama del proceso con los equipos y corrientes respectivas.

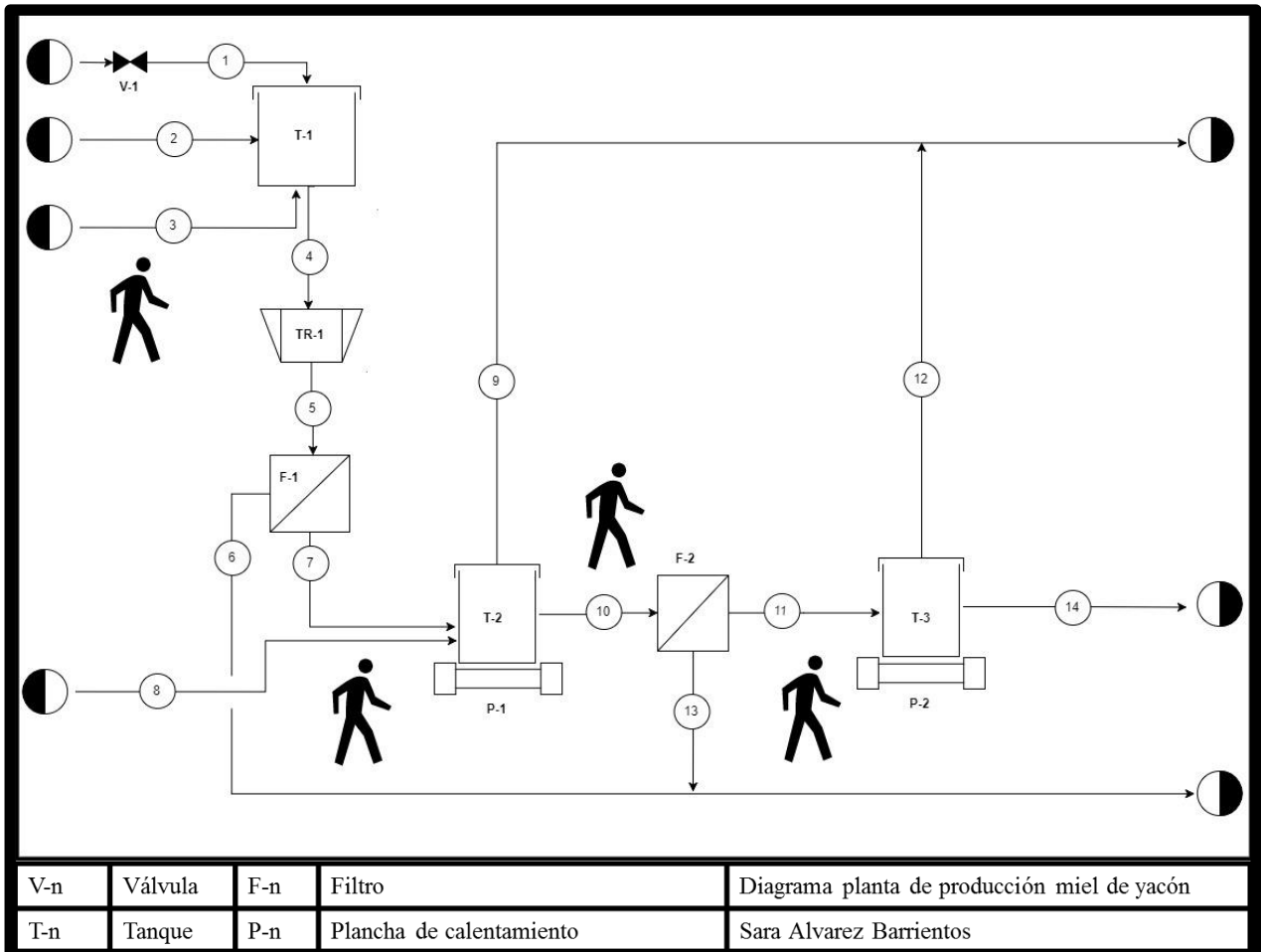


Figura 12 Diagrama del proceso (PFD)

Listado de corrientes:

1. Agua para el proceso productivo.
2. Materia prima: Yacón pelado y triturado.
3. Ácido ascórbico para evitar el pardeamiento.
4. Mezcla de agua, ácido ascórbico y yacón.
5. Solución de agua, ácido ascórbico y yacón.
6. Bagazo del yacón.
7. Solución de yacón sin bagazo.
8. Estabilizante: Gelatina sin sabor.
9. Vapor de agua.
10. Solución de yacón concentrada.
11. Solución de yacón concentrada y filtrada.
12. Vapor de agua.

13. Bagazo de yacón.

14. Miel de yacón.

### 3.5.3. Cálculos equipos

Las especificaciones técnicas de los diferentes equipos empleados en el proceso productivo pueden encontrarse en la sección de los anexos.

#### 3.5.3.1. Pelado y fraccionado del fruto

Ambas etapas del proceso productivo serán llevadas a cabo de forma manual por operarios de la planta. Por lo anterior no se describen equipos pero se tiene presente en los cálculos de los costos de producción las horas hombre necesarias para ejecutar estas tareas.

#### 3.5.3.2. Para los tanques de calentamiento:

Se emplean tres unidades idénticas del siguiente producto (dos de calentamiento y una de recepción inicial).

Basándonos en la resolución 0000683 del 2012 del ministerio de salud y de protección social, el material ideal para la elaboración de estos equipos es el acero inoxidable [16].

Para el proceso productivo se selecciona entonces un tanque de 20 litros (Figura 13) elaborado en acero inoxidable.



Figura 13 Tanque de calentamiento proceso productivo

#### 3.5.3.3. Quemadores para el calentamiento

Para lograr realizar el calentamiento de los tanques seleccionados en el apartado 3.5.1.1. , se seleccionan dos quemadores con un diámetro de 30 cm. A continuación se muestra el esquema del equipo (Figura 14):



Figura 14 Quemador a gas

#### 3.5.3.4. Licuadora industrial

Para la trituración del material a emplear se recurre a una licuadora industrial (Figura 15).



Figura 15 Licuadora industrial

#### 3.5.3.5. Coladores industriales

Para los dos procesos de filtración en los que se retira el bagazo presente en las soluciones se emplea el siguiente equipo (Figura 16):



Figura 16 Colador acero inoxidable

#### 3.5.4. Selección del área operativa

La planta de producción será instaurada al interior del Valle de Aburra. Con el objetivo de suplir la demanda y localizar la planta de producción en un área de fácil acceso para el personal, se determina que las instalaciones serán localizadas en el municipio de sabaneta.

El área para operar la planta de producción debe ser de aproximadamente 350 metros cuadrados, por lo anterior se selecciona el siguiente inmueble (Tabla 9).

Tabla 9 Especificaciones área planta de producción

Especificaciones	
Área	350 m <sup>2</sup>
Tipo de inmueble	Bodega
Altura	8 m
Energía	Trifásica 75 KVA
Parqueadero	Si
Precio	1.230.00.0

#### 3.6. Viabilidad económica

La viabilidad económica del proyecto se establece evaluando diferentes costos asociados al proceso productivo. En primer lugar se tienen en cuenta los costos de capital donde se encuentran todos los valores económicos de los diferentes equipos requeridos para elaborar la miel de yacón. Posteriormente se tienen presentes los costos de mano de obra asumiendo que mensualmente los días laborales son 21 y la planta opera un turno de ocho horas diarias. Los costos directos de manufactura hacen parte de los cálculos, donde se encuentran principalmente los costos asociados a las materias primas. Adicionalmente se tienen presentes los costos administrativos, los costos de investigación, patentes, distribución y ventas, entre otros.

Los cálculos realizados para establecer los valores de cada uno de los ítems mencionados anteriormente, pueden ser encontrados en el apartado de los anexos. Es a partir de esta información que se construye el siguiente flujo de caja. Para la construcción del mismo se asume la siguiente información:

1. La demanda es constante a lo largo del periodo comprendido en el análisis.
2. El precio de venta del producto terminado permanece constante a lo largo de los años.
3. Durante los dos primeros años (2017 y 2018) únicamente se realizan inversiones puesto que nos encontramos en el proceso de construcción de la planta.
4. El envasado del producto en ningún momento es considerado puesto que se pretende tercerizar esta operación.
5. La proyección se realiza hasta el año 2039, ms sin embargo a continuación se muestra únicamente hasta el año 2021.

Tabla 10 Flujo de caja

<b>Ingresos</b>	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021
Demanda de miel de yacón (ml/año)	0	0	124.624.167	124.624.167	124.624.167
precio (\$/kwh)	42				
<b>Total ingresos</b>	0	0	5.234.215.001	5.234.215.001	5.234.215.001
<b>Flujo de caja proyectado</b>					
	0	1	2	3	4
	2.017	2.017	2.017	2.017	2.017
<b>Total ingresos</b>	0	0	5.234.215.001	5.234.215.001	5.234.215.001
<b>Costos de capital</b>					
<b>Inversión inicial</b>					
Maquinaria y equipos	16.044.271	0	0	0	0
Costo predio	1.230.000.000	0	0	0	0
<b>Total inversión inicial</b>	1.246.044.271	0	0	0	0
<b>Otros</b>					
Ingeniería	99.683.542	99.683.542	0	0	0
Imprevistos	2.406.641	2.406.641	0	0	0
<b>Total costos de capital</b>	1.348.134.454	102.090.182	0	0	0
<b>Costos directos de manufactura</b>					
<b>Materia prima</b>					
Yacón/ácido ascórbico/gelificante/agua	0	0	3.721.959.770	3.721.959.770	3.721.959.770
<b>Otros</b>					
Mano de obra oficina y supervisión	0	0	14.341.238	14.341.238	14.341.238
Mantenimiento y reparación	0	0	962.656	962.656	962.656
Suministros de operación	0	0	144.398	144.398	144.398
Cargas de laboratorio	0	0	11.951.032	11.951.032	11.951.032
Patentes y regalías	0	0	22.925.205	22.925.205	22.925.205
<b>Total costos de manufactura directos</b>	0	0	3.772.284.299	3.772.284.299	3.772.284.299

<b>Costos fijos de manufactura</b>					
Depreciación	0	0	1.604.427	1.604.427	1.604.427
Impuestos locales y seguros	0	0	513.417	513.417	513.417
Costos generales de la planta	0	0	56.986.463	56.986.463	56.986.463
<b>Total costos fijos de manufactura</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>59.104.307</b>	<b>59.104.307</b>	<b>59.104.307</b>
<b>Gastos generales de manufactura</b>					
Costos de administración	0	0	14.246.616	14.246.616	14.246.616
Costos de distribución y venta	0	0	84.059.086	84.059.086	84.059.086
Investigación y desarrollo	0	0	38.208.676	38.208.676	38.208.676
<b>Total costos generales de manufactura</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>136.514.378</b>	<b>136.514.378</b>	<b>136.514.378</b>
<b>Total egresos</b>	<b>1.348.134.454</b>	<b>102.090.182</b>	<b>3.967.902.984</b>	<b>3.967.902.984</b>	<b>3.967.902.984</b>
<b>Ganancias netas</b>	<b>-1.348.134.454</b>	<b>-102.090.182</b>	<b>1.266.312.018</b>	<b>1.266.312.018</b>	<b>1.266.312.018</b>
<b>Ganancias acumuladas</b>	<b>-1.348.134.454</b>	<b>-1.450.224.636</b>	<b>-183.912.618</b>	<b>1.082.399.400</b>	<b>2.348.711.417</b>

Para el cálculo de la TIR y el VPN del proyecto se empleando una tasa de descuento del 15 por ciento. Esta tasa de descuento fue seleccionada basándonos en un proyecto previo realizado con relación a la industria apícola [17].

Es sí como se obtiene la siguiente información:

Tabla 11 VPN y TIR

<b>Tasa de descuento</b>	15%
<b>VPN</b>	\$967.929.008,47
<b>TIR</b>	24%

Como se logra observar en la información anterior, el VPN del proyecto da un valor positivo, por lo que claramente el proceso productivo resulta ser un negocio rentable.

#### 4. Conclusiones

- La calidad de la materia prima es determinante en el proceso productivo. Los tubérculos deben de encontrarse en excelentes condiciones físicas y en un grado de madurez adecuado. Esta última variable resulta bastante compleja de controlar en el proceso, puesto que al adquirir los insumos se desconoce el tiempo que las raíces llevan fuera del cultivo.
- Las pérdidas asociadas a la primera parte del proceso donde se realiza la remoción de la piel son una variable dependiente de los operarios. Esto resulta significativo en cuanto al costo del proceso productivo, motivo por el que es idóneo estandarizar esta etapa del proceso.
- La viscosidad es afectada directamente por la cantidad de estabilizante que sea adicionado al producto, mientras que la concentración de azúcares de la miel de yacón depende directamente del volumen final, a menor volumen final mayor será la concentración de azúcares.
- El menor costo de producción se obtiene cuando se emplean como factores un volumen de agua adicionado de 388,88 mL, un volumen final de 15 mL y una cantidad de estabilizantes de 13,88 mg. Con estas condiciones de operación se obtiene un producto con 64,4°Brxi de concentración de azúcares, una densidad de 1,22 g/mL y una viscosidad de 197,27 cP.
- La miel de yacón elaborada bajo las condiciones óptimas de procesamiento presenta una excelente aceptación por parte del público objetivo.
- Para realiza el diseño de una planta de procesamiento, es fundamental tener claro cuál es mercado objetivo al cual se dirige el producto, de manera que no se realice un diseño donde la producción sobrepase la demanda, ni que la producción se insuficiente para suplir la demanda. La diagramación de los procesos (BFD y PFD) es fundamental para tener claridad sobre el dimensionamiento de los equipos.
- El diseño del proceso productivo es sencillo, se diseña partiendo de que el procedimiento se llevará a cabo en batch, operando un turno diario de ocho horas de duración, así como un total de 21 días al mes operativos.
- Los costos totales del proceso productivo se estiman en \$766.407.279,06, donde se tiene en cuenta los costos de las materias primas, los costos de manufactura, servicios, investigación, patentes, ventas y distribución.
- El valor del VPN es positivo, indicando que es un proyecto rentable. Basándonos en el flujo de caja se puede evidenciar que a partir del tercer año se comienzan a evidenciar las ganancias del proyecto.

## 5. Anexos

A continuación se muestran los anexos empleados en el desarrollo del Proyecto (Tabla 12).

Tabla 12 Anexos

<b>Nombre</b>	<b>Desarrollo (propio/terceros)</b>	<b>Tipo de Archivo</b>	<b>Enlace google drive (https://goo.gl/)</b>
Cálculos de los costos del proceso productivo	Propio	PDF	<a href="https://drive.google.com/open?id=0B9MsRZHvdYA3bWlINTJLeldHRnc">https://drive.google.com/open?id=0B9MsRZHvdYA3bWlINTJLeldHRnc</a>
Encuesta de mercado	Propio	PDF	<a href="https://drive.google.com/open?id=0B9MsRZHvdYA3Tk1wWTJvSzkTE0">https://drive.google.com/open?id=0B9MsRZHvdYA3Tk1wWTJvSzkTE0</a>
Especificaciones de los equipos	Propio	PDF	<a href="https://drive.google.com/open?id=0B9MsRZHvdYA3c1huQmprQ0drRk0">https://drive.google.com/open?id=0B9MsRZHvdYA3c1huQmprQ0drRk0</a>

## 6. Referencias

- [1] V. Huiman Arroyo y D. Luna Jerí, “Proyecto de instalación de una planta elaboradora de jarabe de yacón Project of installation of a yacon syrup processing plant”, vol. 32, pp. 1025–9929, 2014.
- [2] M. Bautista, L. Reyna, y O. Cornejo, “OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS PARA OBTENCIÓN DE MIEL DE YACÓN EN PLANTA PILOTO Y EVALUACIÓN DE OLIGOFRUCTANOS”, *Química e ...*, 2004.
- [3] A.KRUSS OPTONIC, “Refractómetros”. Hamburg, 2014.
- [4] LABEQUIM, “Balanza de precision Adventurer”.
- [5] Y. Rosales Cornejo y L. G. Pinto Maguiña, “Comparación de dos métodos tecnológicos para obtención de miel de yacón ( *Smallanthus Sonchifolius* ) utilizando un concentrador a presión a vacío y una marmita a presión atmosférica”, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2007.
- [6] EPM, “Tarifas para servicios de acueducto y aguas residuales”, 2017.
- [7] L. G. Ríos, “Determinación del calor de vaporización del agua”, *Sci. Tech.*, vol. 49, 2011.
- [8] EPM, “Formato memorias cálculo red industrial”, 2015.
- [9] “Sistema de Información de Petróleo y Gas Colombiano”. [En línea]. Disponible en: <http://www.sipg.gov.co/>. [Accedido: 09-ago-2017].
- [10] D. L. Torrez López, “VALORIZACIÓN DE LA RAÍZ DE YACÓN: OBTENCIÓN DE UN JARABE RICO EN FRUCTOOLIGOSACÁRIDOS”, *Investig. y Desarro.*, vol. 7, pp. 93–106, 2007.
- [11] I. Manrique, A. Párraga, y M. Hermaan, *Jarabe de yacón: Principios y procesamiento*. Lima: Centro Internacional de la Papa (CIP), 2005.
- [12] FAO, “NORMA GENERAL DEL CODEX PARA LOS ADITIVOS ALIMENTARIOS”, 1995.
- [13] Ministerio de Salud y Protección Social, ““Por el cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir las frutas que se procesen, empaquen, transporten, importen y comercialicen en el territorio nacional””, Bogotá, 2011.
- [14] S. Woldenberg Chertorivski, “ACUERDO por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias.”, México D,F, 2012.
- [15] Alcaldía de Medellín, “Población total por grupo de edad y sexo Medellín”, 2013.
- [16] Ministerio de Salud y Protección Social, “Resolución 0000683 del 2012 del ministerio de salud y de protección social”, 2012.
- [17] L. M. Díaz Herrera, “Estudio de factibilidad técnico económica de una planta procesadora de miel de abejas en la VI región”, 2006.