

*Universidad de Matanzas
Facultad de Ciencias Técnicas*



**Análisis del proceso de producción de sirope Juventi en la UEB España
Republicana.**

**Trabajo de diploma en opción del título:
Ingeniero Químico**

Autor: Liadna Torres Fernández

Tutores: Lic. Wendy Vázquez Sotolongo

Lic. Leissy Gómez Vrizueta, Dra

Consultante: Ing. Jesús D. Luis Orozco, DrC.

Matanzas, 2018

"Para el logro del triunfo siempre ha sido indispensable pasar por la senda de los sacrificios."

Simón Bolívar

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Mediante el presente documento , me declaro como única autora de este trabajo de tesis como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Químico, realizado en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, y autorizo que el mismo sea utilizado por dicha institución como material de consulta.

Firma

NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

Presidente

Secretario

Vocal

*A mis padres,
por su constante apoyo y amor brindado a lo largo de mi vida*

*A toda mi familia,
por su apoyo incondicional y por estar siempre.*

Agradecimientos

Para cursar una carrera universitaria se necesita de mucha entrega y dedicación, pero sobre todo es fundamental el apoyo de muchas personas, las cuales se hace imposible no mencionar.

.....A mis padres por su ejemplo, sabios y precisos consejos.

.....A mi hermana por ayudarme incondicionalmente y estar a mi lado en cada paso.

..... A Yami por sus cuidados y preocupación constante.

.....A toda mi familia por todo cuanto me han apoyado y por confiar en mi.

.....A mis grandes amigos por poder contar con ellos siempre que los necesité, no necesito mencionar sus nombres ellos saben que los amo.

.....A mis tutoras por brindarme todos sus conocimientos, en especial a Wendy Vázquez Sotolongo porque a pesar de todo siempre estuvo presente y por haber aceptado este trabajo como suyo.

.....A mis compañeras Leydet y Patricia por apoyarme en la etapa de experimentación.

.....A Héctor Luis por brindarme su apoyo y encontrar siempre una solución correcta a los problemas.

.....A todos los trabajadores de la UEB España Republicana por darme la posibilidad de realizar este trabajo y estar dispuestos a ayudarme en todo momento.

..... A todos los profesores de la carrera, a los que han contribuido de una forma u otra en la realización de este trabajo y a los que no; por ser excelentes educadores.

..... A todos los que de una forma u otra me apoyaron y estuvieron presentes, no solos en la realización de este trabajo, sino a lo largo de toda mi carrera.

Pido disculpa, si olvido mencionar a alguien, lo importante es que llevo guardado en mi mente y en mi corazón la ayuda brindada por todo.

Muchas gracias.....

RESUMEN

Existen diferentes métodos para la obtención de siropes de azúcar invertido, dentro de los cuales se destaca, debido a su rentabilidad y fácil implementación, la hidrólisis ácida. Se reporta el uso de varios tipos de ácidos, entre ellos el ácido cítrico, donde su uso indiscriminado pudiera traer consigo daños perjudiciales a los consumidores. Este trabajo, se caracterizó las etapas del proceso de producción de dicho sirope donde se fomentaron las bases para la etapa de experimentación, se realizó un análisis del proceso, donde se evidencia que la materia prima (azúcar refino B) no cumple con los requerimientos establecidos en la carta tecnológica. Se determinaron los niveles de ácido cítrico adecuados en el proceso de producción mediante técnicas analíticas, arrojando como resultado la posibilidad de disminuir la cantidad de este ácido de 7 kg por templa a 1 kg por templa, sin afectar la calidad del sirope. Esto conlleva a un ahorro de 66 CUC, siendo más factible económicamente.

ABSTRACT

There are different methods for obtaining syrups of inverted sugar, among which stands out, due to its profitability and easy implementation, acid hydrolysis. The use of several types of acids is reported, among them citric acid, where its indiscriminate use could bring damages to consumers. This work, characterized the stages of the process of production of said syrup where the bases for the experimentation stage were fomented, an analysis of the process was made, where it is evidenced that the raw material (refined sugar B) does not fulfill the established requirements in the technological chart. The levels of citric acid suitable in the production process were determined by analytical techniques, resulting in the possibility of reducing the amount of this acid from 7 kg per temper to 1 kg per temper, without affecting the quality of the syrup. This leads to a saving of 66 cuc, being more economically feasible.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción.....	1
Capítulo 1 Revisión Bibliográfica.....	4
1.1. Edulcorantes, características y variedades.	4
1.1.1. Siropes.....	6
1.1.2. Tipos de siropes.....	6
1.2. Producción de sirope en Cuba y en el mundo. Características y peculiaridades.....	11
1.2.1. Caracterización físico-química de los siropes a nivel mundial. Normas.....	12
1.3. Tecnologías, métodos y procedimientos de obtención de sirope a escala industrial.....	16
1.3.1. Azúcares reductores.....	18
1.4. Parámetros para el control del proceso y del producto final.....	19
1.5. Conclusiones parciales.	22
Capítulo 2 Materiales y métodos.....	23
2.1. Descripción del proceso productivo.	23
2.1.1. Diagrama de flujo del proceso. (Ver Anexo 1).....	23
2.1.2. Descripción de las etapas de obtención del sirope Juventi.	23
2.2. Análisis crítico del proceso productivo.	27
2.3. Materiales utilizados en la etapa de experimentación.....	28
2.4. Caracterización de la materia prima.	28
2.5. Variación del contenido de ácido cítrico en el proceso.	30
2.6. Determinación de sólidos refractométricos disueltos en el sirope.....	30
2.7. Determinación de azúcares reductores.....	31
2.8. Determinación potenciométrica de pH.	31
2.9. Determinación gravimétrica de los sólidos insolubles.....	32
2.10. Determinación de la calidad sensorial de los principales atributos del sirope.	33
Capítulo 3 Análisis de los Resultados.....	37
3.1. Análisis crítico del proceso productivo.	37
3.1.2. Análisis estadístico de las variables que se controlan en el producto.....	40
3.1.2. Análisis del consumo de masa de vapor en la elaboración del sirope.	42
3.2. Análisis de la caracterización de la materia prima.	43
3.3. Análisis de la variación del contenido de ácido cítrico en el proceso.....	45
3.3.1 Análisis de los sólidos disueltos en el sirope (grados Brix), por vía refractométrica.	45

3.3.2. Análisis de azúcares reductores.....	47
3.3.3. Análisis de la determinación del pH.....	51
3.3.4 Análisis de la determinación gravimétrica de los sólidos insolubles...	54
3.3.5. Análisis de la calidad sensorial de los principales atributos de las muestras preparadas.	56
3.4. Valoración económica de la cantidad de ácido añadida en el proceso....	59
3.5. Conclusiones parciales.	60
Conclusiones.....	61
Recomendaciones.....	62
Referencias Bibliográficas	63
Anexos	69

INTRODUCCIÓN

Los jarabes o siropes tienen una alta demanda en la industria alimentaria a nivel mundial por su poder edulcorante y por su diversidad. Los siropes de azúcar invertido (igual proporción de azúcares reductores: glucosa y fructuosa) son disoluciones más o menos concentradas, elaboradas con azúcar como ingrediente principal, aportándole su sabor dulce característico, valor alimenticio o energético y actuando como preservante en la conservación y prolongación de la vida media de este alimento. Como ingrediente secundario se emplea agua de excelente calidad para evitar la descomposición de los mismos, ya que constituyen un medio notable para el crecimiento de hongos, levaduras y bacterias (Rivera *et al.*, 2005).

Existen diferentes tipos de siropes entre los que se destacan los siropes concentrados de sacarosa (66,5-68 %), los de sacarosa parcial o totalmente hidrolizados para producir una mezcla de glucosa y fructosa. También se encuentran los siropes de glucosa obtenidos por hidrólisis química o enzimática de almidones y los de fructosa, producidos por isomerización enzimática de la glucosa. Se pueden obtener mediante la extracción y concentración térmica de la sabia rica en azúcares de diferentes plantas, como es el caso de los jarabes de agave, melaza, maple y sorgo dulce (García, 2007).

Los métodos más tradicionales de obtención de sirope se basan en la inversión de la sacarosa, utilizando ácidos (hidrólisis ácida), resinas de intercambio iónico o enzimas (hidrólisis enzimática). El primero tiene como inconveniente la formación de productos no aceptables y corrosión en los equipos. El segundo, genera residuos y requiere de un consumo de productos químicos para la regeneración de las resinas. Por otro lado, la hidrólisis enzimática es el método más empleado a nivel mundial, pero requiere de un alto costo debido a la poca recuperación de la enzima utilizada, motivo por el cual no es muy implementada en Cuba (Menéndez *et al.*, 2014).

Cuba por ser un país altamente productor de azúcar, es a su vez productor de diferentes tipos de jarabes, entre los cuales se encuentra el sirope Juventi. Este es producido en la UEB España Republicana perteneciente al municipio matancero Perico. Es el resultado de mezclar proporcionalmente jarabe de fructuosa refinado (56 %) y jarabe de azúcar refino B (43 %). Este último es el producto de la hidrólisis ácida de la sacarosa, lo cual garantiza el sabor característico del sirope y la no cristalización del mismo a lo largo del tiempo. Según Tejeda *et al.*, (2011), la hidrólisis ácida es el mejor método para la obtención de azúcares reductores; pero a su vez puede ocasionar daños perjudiciales a la salud por el uso excesivo de ácido.

El sirope Juventi ha presentado problemas con respecto a su sabor y a los niveles de inversión de sacarosa, los cuales se encuentran estrechamente relacionados con las dosis de ácido cítrico que se adiciona en el proceso para la hidrólisis ácida. Por tales motivos se plantea realizar un estudio variando las concentraciones del ácido para determinar su influencia en el proceso, garantizando una mayor aceptación por parte del consumidor así como un menor daño a la salud humana.

Por lo que se plantea como **Problema Científico** de esta investigación: ¿Son adecuadas las condiciones de operación bajo las cuales opera el proceso de producción del sirope Juventi?

Para solucionar dicho problema, la investigación propone la siguiente **Hipótesis**:

Si se realiza un estudio del proceso de producción del sirope Juventi se podrá determinar si el mismo opera bajo condiciones adecuadas.

Objetivo general: Analizar las condiciones operacionales del proceso de producción del sirope Juventi.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar las etapas del proceso de producción del sirope Juventi.

2. Realizar un análisis crítico del proceso productivo.
3. Determinar experimentalmente los niveles de ácido cítrico adecuados para el proceso de producción.

CAPÍTULO 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Edulcorantes, características y variedades.

Durante la época prehispana los únicos edulcorantes usados por los indígenas fueron la miel de abeja y el aguamiel. Con la llegada de los españoles al continente americano se introdujo el cultivo de la caña de azúcar, lo cual marcó el inicio de la participación de la sacarosa en el mercado de los edulcorantes.

Debido a la variedad de edulcorantes se han establecidos diversas categorías para agruparlos y poder referirlos respecto a propiedades en común, algunas de estas categorías se muestran en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Clasificaciones comunes de los edulcorantes.

<i>Descripción de clases</i>	<i>Categorías</i>
En función del origen	Naturales o sintéticos
Aporte calórico	Calóricos, bajos en calorías o no calóricos
Requerimiento metabólico de insulina	Dependiente de insulina o no dependiente de insulina
Proceso de obtención	Naturales, químicos, biotecnológicos o químico- biológico

Fuente: Tesis en opción al grado de Licenciatura en Ingeniería Química, Molina 2015

Actualmente existen en el mercado varios productos que presentan diversas propiedades funcionales tales como el poder edulcorante y aporte calórico, siendo éstos los aspectos más relevantes que determinan su utilización en la elaboración de una gran variedad de alimentos, bebidas y productos farmacéuticos. El poder edulcorante de una sustancia se refiere a su capacidad de producir la sensación de dulzor al interactuar con las papilas gustativas y se mide tomando como base de comparación el dulzor de la sacarosa, a la que se

le atribuye un valor relativo de 1 o de 100. El dulzor que presentan los edulcorantes se ve afectado por varios factores como: la temperatura, la concentración, la presencia de otros compuestos, la viscosidad, la presencia de sales, ácidos y algunos polímeros (Rodríguez, 2016). En la Tabla 1.2 se observa el poder edulcorante relativo de varios edulcorantes.

Tabla 1.2. Poder edulcorante relativo de algunas sustancias.

<i>Edulcorantes calóricos</i>	<i>Poder edulcorante relativo</i>
Glucosa	0,74
Sacarosa	1
Azúcar invertido	1,15
Fructuosa	1,73

Fuente: (Badui, 1997)

Como se había clasificado anteriormente los edulcorantes pueden ser naturales o artificiales y su uso en la industria alimentaria se destina a la elaboración de alimentos bajos en calorías. Entre sus principales características se destacan: tener un sabor lo más similar posible a la sacarosa, percibir un sabor dulce rápidamente y a la vez desaparecer de la misma manera, ser resistente a las condiciones de procesamiento del producto en el cual va a ser incluido.

Estos también pueden ser clasificados según su aporte calórico como:

- Edulcorantes nutritivos: en este grupo se encuentran la sacarosa y otros disacáridos (maltosa, lactosa). Los monosacáridos (glucosa, fructosa). Los polioles (sorbitol, manitol, xilitol, lactitol).
- Edulcorantes no nutritivos: se encuentran los edulcorantes intensos (sacarina, ciclamato, neohesperidina dihidrochalcona (NHDC), taurina, aspartame) (Gerena, 2016).

Entre los edulcorantes que más destacan a nivel mundial se encuentran los siropes de azúcar invertido utilizados a gran escala para el consumo humano.

1.1.1. Siropes.

Según Rivera,*et.al*, (2016) los jarabes o siropes son disoluciones más o menos concentradas de azúcar, siendo esta su ingrediente principal aportando sabor dulce y valor energético. A su vez el azúcar constituye un medio considerable para el crecimiento de hongos, levaduras y bacterias, recomendándose el uso de agua de excelente calidad, lo que garantizaría una prolongación de la vida media de los siropes así como evitaría su descomposición.

El jarabe es un líquido viscoso, fluido y comestible. El jarabe de mesa debe contener al menos 60 % de sólidos de azúcar solubles del peso total, y se pueden preparar añadiendo o no agua, otros ingredientes con propósitos nutricionales. Además, se le pueden agregar saborizantes naturales o artificiales, aditivos de color, frutas, sal, agentes espesantes, etcétera, siempre y cuando sean compatibles con este alimento. Para darle el nombre al jarabe se debe identificar que por lo menos tenga el 80 % del total de sólidos del edulcorante o materia prima utilizada, de este modo el nombre del alimento puede ser designado como el jarabe correspondiente, por ejemplo el “jarabe de maíz” (NMX-F-169-1984; Valenzuela, 2010).

1.1.2. Tipos de siropes.

- Sirope de agave.

El jarabe de agave o miel de agave es un delicioso néctar obtenido por la concentración del aguamiel o savia del maguey, es también llamado néctar o sirope de agave, se trata de un producto de consumo popular alimenticio, endulzante 100 % natural. Se obtiene a partir del *Agave tequilana* Weber variedad. Azul y del *Agave americana* L. Dentro de sus características organolépticas destacan su transparencia, color ámbar, de olor y sabor muy especial. Su poder endulzante es 30 % mayor que el del azúcar comercial, con

un beneficio muy espectacular, su bajo índice glucémico, y permite por tanto, ser consumido por todo individuo y en especial para personas con problemas de salud como la diabetes. La incorporación de dicho jarabe en la industria se ha incrementado desde que se han presentado con mayor intensidad los problemas de salud producto de una mala alimentación, motivando a la búsqueda de nuevas alternativas que satisfagan las necesidades de sabor, pero al mismo tiempo cumplir un beneficio y una función nutritiva. El sirope de agave es un producto no rentable ya que para obtener el peso deseado se necesita más del doble de aguamiel, y depende de la calidad del aguamiel y del punto de cocción (Sánchez *et. al* ,2016).

Según Mellado, López, (2013) el jarabe de agave azul es la sustancia dulce natural producida por hidrólisis de los fructanos almacenados en la planta de maguey. Este endulzante se ha popularizado por su capacidad prebiótica e índice glucémico bajo respecto a otros jarabes y mieles naturales.

Según Cabrera, Castañeda, (2014), el sirope de agave, un potente endulzante con sus luces y sus sombras, es conocido también como néctar de agave o miel de agave y se extrae de la base o piña del agave, planta de aspecto parecido a una yuca.

Se estima que dicho sirope tiene el doble de poder edulcorante que el azúcar común gracias a su composición, principalmente fructosa (70-73 %) y dextrosa o glucosa (25 %). Ésta es la razón que hace que sea tan estimado como endulzante y que se considere un excelente potenciador del sabor y del aroma (Gonzales, Humberto 2013).

➤ Sirope de mesa.

Según la FDA (Food and Drugs Administration) (1993), el sirope de mesa es un fluido comestible que contiene no menos de 65 % de sólidos de azúcar solubles del peso total, y es preparada añadiendo o no agua. Puede contener uno o más ingredientes opcionales y los que el fabricante decida que son seguros y convenientes (vitaminas, minerales y proteínas añadidas con propósitos

nutricionales y saborizantes artificiales los cuales no se consideran como ingredientes convenientes para este alimento). Se pueden agregar productos opcionales como miel, otros azúcares, mantequilla (no más de 2 % del peso total del alimento), saborizantes naturales y artificiales, frutas, aditivos de color, sal, agentes espesantes y cualquier otro ingrediente que sea compatible con los otros ingredientes del jarabe (FDA, 1993).

➤ Siropes de azúcar crudo (morena).

Estos siropes tienen ligero color amarillo debido al contenido de miel del cristal de azúcar, su sabor es agradable, no tienen efectos residuales, permiten su empleo donde se desee un producto edulcorante natural, que no contengan más sustancias químicas que las empleadas en la elaboración del azúcar. Presentan la siguiente composición:

Brix: 75°

Azúcares reductores: 45-46 %

Sacarosa: 29-30 %

Ceniza: 0,2-0,3 (ICINAZ, 2017)

➤ Siropes de azúcar blanco.

Se producen dos calidades de este producto, empleando como materia prima azúcar refino de calidad o licor clarificado decolorado. Del azúcar refino se obtiene un sirope incoloro apto para uso industrial en productos de alta calidad, refrescos y licores cordiales, puede sustituir al azúcar en sus múltiples usos. Su composición es la siguiente:

Brix: 78,0°

Azúcares reductores: 58 %

Sacarosa: 20 %

Ceniza: 0,01

➤ Siropes de licor de refino.

Este es un sirope de bajo color, opcional para ser elaborado en refinarías por ser un proceso más económico, dando un producto con calidad para sustituir al azúcar en cualquiera de sus usos en la industria alimentaria, es de fácil aplicación a la producción de siropes saborizados para uso casero. Tiene la siguiente composición:

Brix: 76,0°

Azúcares reductores: 56 %

Sacarosa: 20 %

Ceniza: 0,02-0,03

➤ Sirope Dorado.

Estos siropes son obtenidos a partir de sirope de off; tienen una forma espesa y de color ámbar que lo hacen atractivo a la vista, con sabor agradable con ligero toque a miel. Se obtienen de la refinación del jugo de la caña de azúcar, o mediante el tratamiento de una solución de azúcar con ácido. Se usan en diversas recetas de repostería y postres, además puede sustituir al sirope de maple y jarabe de maíz. Su composición es:

Brix: 75°

Azúcares reductores: 50 %

Sacarosa: 25 %

Ceniza: 1,5-2,0 (ICINAZ, 2017)

➤ Siropes para uso apícola.

Son siropes con alta concentración y alto contenido de fructosa, pueden tener adicionado otros elementos nutritivos. Su composición general es la siguiente:

Brix: 75-80°

Glucosa: 47-48 %

Fructosa: 47-48 %

Sacarosa: 4-6 %

Ceniza: 0,2-0,3 (ICINAZ, 2017)

➤ Sirope de sorgo dulce.

El sirope de sorgo dulce puede sustituir la forma convencional de hacer jarabes de alta fructosa, debido a que su costo de producción es más económico, y rápido porque no requiere el uso de enzimas para su elaboración. Existen diversas variedades de sorgo dulce, como el sorgo RB cañero, del cual no se obtiene gran rendimiento de grano, pero sí puede ser aprovechado su tallo rico en azúcares simples para elaboración de jarabes, estos pueden ser utilizados en la industria alimentaria como edulcorantes o saborizantes.

El sorgo RB cañero representa la mayor cantidad de sacarosa, y la variedad experimental proporciona cantidades importantes de azúcares reductores. Según (Arvizu-Castro et. al, 2016) dicho jarabe supera al jarabe comercial con mayor concentración de todos los azúcares analizados. Vargas (2009) en su jarabe reporta 80 % de fructosa. Solís-Fuentes y colaboradores en el 2010 elaboró su jarabe de caña con la misma concentración de glucosa y fructosa con 30,2 % y Quesada-Salazar y Hernández-Peñaranda (2012) con 47,13 % de fructosa en su jarabe de tiquis, donde el jarabe de sorgo representa una buena fuente de fructosa y los métodos de elaboración son sencillos.

➤ Sirope de maíz de alta fructuosa.

El jarabe de maíz de alta fructuosa se ha convertido en el endulzante calórico más ampliamente utilizado, desplazando a la sacarosa desde 1970, debido a la necesidad de obtener sustancias de bajo costo y alto rendimiento. Dicho producto es obtenido de la molienda húmeda del grano de maíz por medio de una triple hidrólisis ácida del almidón, por la acción de la enzima glucosa isomerasa.

Existen dos tipos de dicho jarabe, de acuerdo al contenido de fructosa: el JMAF42 y el JMAF 55. El JMAF 42 contiene un 42 % de fructosa, 53 % de

glucosa y un 5 % de otros azúcares como maltosa y dextrosa. Por otro lado el JMAF 55 contiene un 55 % de fructosa, 41 % de glucosa y un 4 % de otros azúcares. Ambos pueden contener hasta un 20 % de agua (Gerena, 2016).

Según Lancho, (2015) el jarabe de maíz de alta fructosa está definido por la FDA como una mezcla de sacáridos nutritivos. Este es preparado como una solución acuosa del hidrolizado de almidón de maíz de alta dextrosa. Este jarabe ofrece una dulzura que reemplaza al azúcar en los refrescos y en los jugos de frutas. Es altamente fermentable, bajo en viscosidad y está disponible en varios niveles de fructosa, además proporciona una mejor percepción del sabor cuando se utiliza especias como la canela.

1.2. Producción de sirope en Cuba y en el mundo. Características y peculiaridades.

En la década del 70, comenzó el desarrollo de los siropes de fructosa de primera generación a partir del almidón de maíz y, posteriormente, los de segunda generación con un contenido de dicho azúcar superior al 50 %, representando cerca del 10 % del total de la producción mundial de edulcorantes. Según Arvizu-Castro *et. al.*, (2016), los jarabes presentan una gran demanda debido a la diversidad de aplicaciones, son aditivos económicos y fáciles de homogenizar. La forma convencional de elaborar el sirope de fructosa a partir de almidón requiere el uso de enzimas y procesos de producción complejos, por lo cual su costo de producción es elevado. Dentro de las soluciones acuosas azucaradas concentradas se destacan:

- a) siropes concentrados de sacarosa (66,5-68 %).
- b) siropes de sacarosa parcial o totalmente hidrolizados para producir una mezcla de glucosa y fructosa.
- c) siropes de glucosa obtenidos por hidrólisis química o enzimática de almidones.
- d) siropes de fructosa producidos por isomerización enzimática de la glucosa.

En 1992 el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB) obtuvo un premio otorgado por la Academia de Ciencias de Cuba con el trabajo “*Biotecnologías de producción de sirope invertido de glucosa fructuosa utilizando microorganismos inmovilizados con alta actividad de sacarosa invertasa recombinante*”. En este los biocatalizadores se basan en células vivas a partir de células inmovilizadas en alginato de calcio de diferentes levaduras que acumulaban en el espacio periplasmático la invertasa (Suc2) de *S. cerevisiae*. Sin embargo estos biocatalizadores presentaron serios inconvenientes operacionales que impidieron su implantación a escala industrial.

Según Méndez, Martínez, *et al.*, (2014) teniendo en cuenta lo propuesto con anterioridad se plantea una nueva línea de investigación donde múltiples copias del gen codificante para esta enzima se insertaron en el genoma de la levadura hospedera *P. pastoris* para su expresión constitutiva. Esta variación permitió la inmovilización de las células de la levadura recombinante en perlas de alginato o de la enzima libre sobre un soporte sólido adecuado, brindándole ventajas sobre los biocatalizadores anteriores y logrando el 100 % de conversión de sacarosa a glucosa más fructosa.

**1.2.1. Caracterización físico-química de los siropes a nivel mundial.
Normas.**

Tabla.1.3.Características de los jarabes.

Nombre	Características
Jarabe de Azúcar invertido	Solución acuosa, eventualmente cristalizada, de sacarosa parcialmente invertida por hidrólisis, en la que el contenido de azúcar invertido debe ser superior al 50 % en peso de la materia seca. Cenizas conductimétricas no más del 0,4 % en peso de la materia seca.

	El calificativo de “blanco” se reserva para el jarabe de azúcar invertido, con un contenido de cenizas conductimétricas que no supere el 0,1 %, en una solución cuya coloración no supere las 25 unidades ICUMSA.
Jarabe de glucosa	Solución acuosa purificada y concentrada de sacáridos nutritivos, obtenida a partir del almidón o de la fécula y/o de la inulina, cuya materia seca es, no menos del 70 % en peso; equivalente en dextrosa, no menos del 20 % en peso de la materia seca, expresado en D-glucosa. Cenizas sulfatadas, no más del 1 % en peso de la materia seca.
Jarabe simple	Solución ligeramente espesa, de color semiamarillo y de sabor dulce, con un 63° Brix mínimo, constituido químicamente por azúcar blanca refinada, que es una sacarosa diluida en agua tratada sin adición de aromatizantes ni colorantes.
Jarabe de azúcar	Es una solución acuosa de sacarosa en una proporción hasta un máximo de 62 % de materia seca. Si la proporción de azúcar es mayor se trata de un azúcar líquido.
Jarabes naturales	Son los jugos naturales de productos vegetales (maíz, frutas y otros), azucarados, concentrados hasta la

	consistencia de jarabe, con un mínimo 62° Brix y sin sustancias aromáticas artificiales, ni sustancias colorantes.
--	--

Fuente: Norma Técnica Sanitaria aplicable a los azúcares y jarabes destinados al consumo humano (2015).

En la Figura 1 se observa la composición de los siropes:

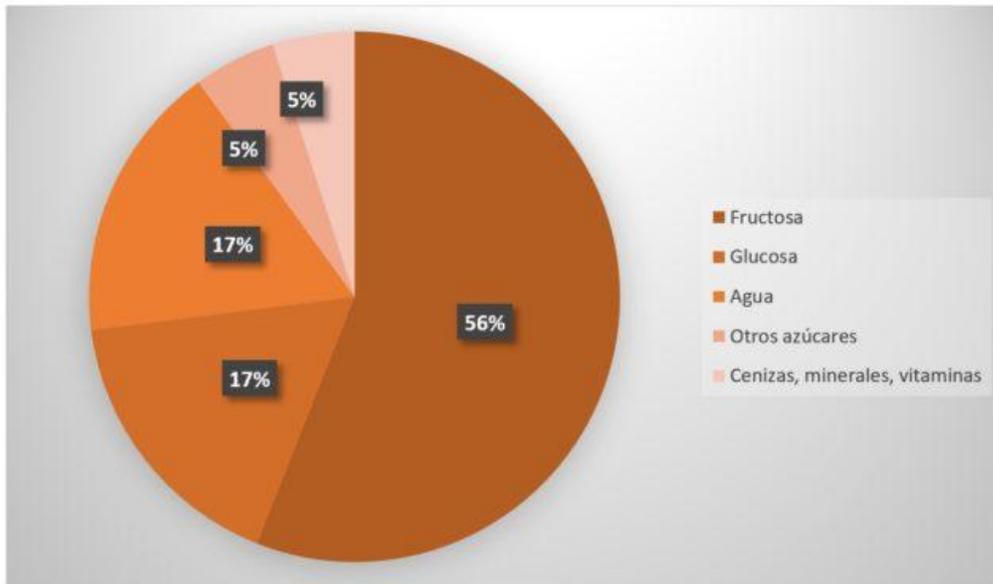


Figura.1: Composición de los siropes. Fuente: Rivera,M, *et.al.* (2016)

En diferentes países no existe una norma obligatoria para el control de los siropes. La Oficina Nacional de Normas y Unidades de Medida (ONNUM) no puede evaluar la calidad de estos productos alimenticios; por lo tanto, se realiza un estudio con las diferentes presentaciones de siropes del mercado nacional, que permita caracterizar la composición fisicoquímica de los principales componentes de estos productos y elaborar una propuesta parcial de norma obligatoria, permitiendo la evaluación de la calidad de los siropes.

Estudios han demostrado que la mayoría de los siropes presentan un contenido de sacarosa de entre 50 y 60 % m/m, excepto los siropes dietéticos y los de alta acidez (bajo pH), lo cual promueve la hidrólisis de la sacarosa y un incremento

en el contenido de azúcares reductores (glucosa y fructosa). En cuanto al contenido de azúcares totales, un 60% de los siropes coinciden con el valor medio (61 % m/m). La normativa internacional establece un mínimo de azúcares totales de 62 % m/m para siropes.

Se reporta un valor medio para el contenido de sólidos totales de 62 %, con un intervalo al 99 % de confianza de 60 a 63 % m/m. Sin embargo autores recomiendan un mínimo de sólidos totales de 62,5% m/m (Rivera, *et al.*, 2016).

-El *valor medio para el pH de los siropes* es de 4,0; con un intervalo de confianza (99 %) de 3,6-4,3 unidades de pH.

-La acidez de los siropes varía en forma inversa con el pH y los valores obtenidos se encuentran dentro de un amplio intervalo (0,04-0,30 % m/m).

Por otro lado la evaluación fisicoquímica de 25 marcas de sirope permitió concluir, en lo referente a concentraciones de azúcares reductores y sólidos totales, que la mayoría de los siropes se encuentran dentro de los valores recomendados por la normativa internacional y que menos del 30 % de los siropes son adulterados con agentes espesantes (polisacáridos) para obtener una mayor viscosidad, pero con menos poder edulcorante (Arvizu-Castro *et al.*, 2016).

Analizando la producción y las características de diferentes variedades de siropes en distintos países del mundo como Costa Rica, México, Venezuela y Cuba podemos llegar a la conclusión que el jarabe de agave es uno de los siropes con mayor aceptabilidad en el mercado mundial puesto que: es un endulzante natural 100 %, que en las porciones servidas correctamente reduce los niveles de colesterol, triglicéridos, ácido úrico, además que funciona como un excelente sustituto del azúcar, y por esta razón puede ser mejor tolerado por las personas diabéticas ya que no afecta tanto a la glucemia.

1.3. Tecnologías, métodos y procedimientos de obtención de sirope a escala industrial.

Tradicionalmente el sirope obtenido del procesamiento de la caña de azúcar había sido utilizado por mucho tiempo por la industria de bebidas, luego fue sustituido por jarabe de maíz alto en fructosa al ser más barato, aunque no provee todas las características de dulzura del sirope de caña. El sirope de caña aporta al organismo vitamina A, azúcares simples, minerales, hierro, magnesio, por lo que se recomienda su consumo a vegetarianos (Chen, 1991).

La mayoría de los siropes se obtiene por hidrólisis enzimática del almidón de diversas materias primas, como es el caso del maíz, la yuca, el yacón, papa, etcétera (Hernández-Uribe *et al.*, 2008). También se puede elaborar siropes por disolución de azúcar en agua caliente, donde el producto obtenido se denomina sirope crudo, después es sometido a varias etapas como filtración, clarificación y evaporación para obtener un excelente grado de pureza (James, 2014). Se pueden obtener de diferentes plantas mediante la extracción y concentración térmica de su sabia rica en azúcares (García, 2017).

El método más empleado para la obtención de los siropes, es la inversión de la sacarosa, que a su vez esta puede ser efectuada por medio de ácidos, resinas de intercambio iónico y métodos enzimáticos como ha sido mencionado anteriormente.

➤ Inversión de la sacarosa por acción de un ácido a temperatura elevada

El proceso de inversión ácida de la sacarosa se lleva a cabo con una tecnología de origen nacional que opera en régimen discontinuo. Desarrolla la producción de glucosa y sirope rico en fructosa a partir del azúcar refino, mediante la inversión ácida de la sacarosa. Este método de hidrólisis tiene como inconveniente el empleo de un ácido (tales como clorhídrico, fosfórico, cítrico, etc) a elevada temperatura (85-90°C), lo que puede originar productos coloreados con presencia de cenizas y subproductos no deseados (Albertini,

2012). Además el empleo inadecuado de estos puede ser perjudicial para el organismo de los consumidores. Los azúcares reductores tienden a reducir su concentración cuando aumenta la concentración del ácido, formando compuestos tóxicos, ya que la hidrólisis continua, hasta generar productos como HMF (Hidroximetilfurfural) y furfural. Estos compuestos traen alta incidencia en la reducción en el porcentaje de azúcares reductores y sobre los procesos fermentativos, inhibiendo el crecimiento microbiano (Domínguez, 2011)

En este proceso, los enlaces glucosídicos entre los dos monómeros de la sacarosa se hidrolizan al incorporar una molécula de agua. Comúnmente, este tipo de proceso se realiza en un reactor del tipo tanque agitado.

Podemos resumir que la inversión de la sacarosa en medio ácido presenta los siguientes inconvenientes (Kurup, 2005; Nasef, 2005):

- Bajo % de inversión.
- Alto consumo de sacarosa.
- Elevado tiempo de reacción.
- Color y sabor no característico del azúcar invertido.
- Origina corrosión.
- Presencia de residuos ácidos en el producto, lo que representa un problema de salud.

➤ Inversión de la sacarosa por intercambio iónico

En este método se emplean resinas de intercambio iónico catiónicas fuertemente ácidas que contienen ácido sulfónico. El interior de este tipo de resina hinchada con agua, puede considerarse como una solución de ácido bastante concentrada. Estas resinas producirán reacciones catalizadas por ácidos tales como la inversión de la sacarosa. Esta propiedad puede utilizarse industrialmente como una alternativa de la catálisis mediante ácidos para invertir la sacarosa, evitando reacciones laterales no deseables mediante el empleo de un catalizador de intercambio iónico.

➤ Inversión de la sacarosa mediante enzimas

La hidrólisis enzimática se produce mediante un grupo de enzimas llamadas hidrolasas. Estas enzimas ejercen un efecto catalítico hidrolizante, es decir, producen la ruptura de enlaces por la adición de una molécula de agua. En algunos casos este grupo puede ser transferido por la enzima a otras moléculas, y se considera la hidrólisis misma como una transferencia del grupo al agua (Tejeda *et al.*, 2011).

Según Rodríguez, (2016) la hidrólisis enzimática de una disolución de sacarosa mediante el uso de la enzima invertasa o β -Fructosidasa (hidroliza la sacarosa en glucosa y fructosa) tiene un pH óptimo que oscila de 4,5 a 5. Diferentes estudios realizados han calculado que; en la mayoría de las veces al realizar hidrólisis para obtención de azúcares reductores los mejores métodos ha sido la hidrólisis ácida aunque la hidrólisis enzimática también tiene sus ventajas de acuerdo al objetivo requerido. Tejeda *et al.*, (2011), describe resultados de diferencia entre hidrólisis ácida y la hidrólisis enzimática dando a conocer que con la hidrólisis ácida se pueden llegar a obtener mejores resultados.

1.3.1. Azúcares reductores.

Los azúcares reductores son aquellos azúcares que poseen su grupo carbonilo (grupo funcional) intacto, un grupo hemiacetal (una interacción entre C-2 y C-5,) que le confiere la característica de poder reaccionar con otros compuestos. En solución acuosa, el grupo aldehído libre tiene la capacidad de reducir agentes oxidantes. Las formas cíclicas hemiacetales de los azúcares tiene la potencialidad de generar trazas de la forma abierta (grupos aldehídos libres).

Cuando se trata de obtener azúcares reductores, con altos D-glucosa provenientes de la celulosa y almidón, es necesario recurrir a la hidrólisis química, ya que se obtienen mejores resultados. Estos son valorados al finalizar por su equivalente de dextrosa y poder edulcorante, que además se establecen para incentivar productos y subproductos de materia orgánica vegetal y darle un

valor agregado a estos, llevándolos a la industria de alimentos, que en su generalidad se establece una demanda de edulcorantes como aditivos para diferentes alimentos procesados industrialmente (Gerena, 2016).

1.4. Parámetros para el control del proceso y del producto final.

Para la obtención de un sirope de excelente calidad deben ser controlados en forma responsable algunos parámetros que dan a la bebida, la textura, sabor y apariencia deseada. Entre los análisis más importantes para el control de especificaciones de calidad de un sirope se encuentran los controles microbiológicos; la determinación de azúcares totales, sólidos totales, acidez, pH, densidad y colorantes.

Para el análisis de azúcares totales y reductores, los métodos oficiales son el gravimétrico de Munson-Walker y el volumétrico de Lane- Eynon, recomendados por ICUMSA y varios autores (De Whalley, 1971; Junk y Pancoast, 1973). AOAC recomienda el método polarimétrico antes y después de la inversión con una disolución de ácido clorhídrico (Cunniff, 1995) o un método cromatográfico para la determinación simultánea de sacarosa, glucosa y fructosa en un tiempo muy corto, sin preparación previa de la muestra y con una mejor resolución (Snyder y Glajch, 1997). Otro método para la determinación de azúcares reductores es el método de Miller o DNS (ácido dinitrosalicílico), donde utilizan el ácido 3,5-ácidodinitrosalicílico para la hidrólisis de polisacáridos presentes en una muestra, y determinar los azúcares reductores mediante una determinación espectrofotométrica. Este método permite medir las unidades reductoras presentes en los azúcares y logra la precisión de la velocidad de los resultados (Gerena, 2016).

Según Molina (2015) los jarabes terminados que fueron endulzados con azúcar, la principal característica por controlar es el contenido de sacarosa, propiedad que se determina mediante los grados Brix. El uso de un hidrómetro graduado en grados Brix, también permite la determinación del contenido de azúcares. Este último es el más simple, rápido; requiere de una pequeña cantidad de la

muestra y el equipo es poco costoso y de fácil manejo (Morris, 1959; De Whalley, 1971; Cunniff, 1995).

Además del contenido de sacarosa, las propiedades organolépticas resultan determinantes ya que serán parte del producto final; por lo que el azúcar líquido debe ser libre de partículas extrañas, de un olor fuera de lo normal, aceptado para el azúcar, y de unidades de color, tan altas, que pueda afectar la apariencia del producto.

Otras de las variables que dan información acerca de la calidad del producto terminado son: la temperatura y el pH, puesto que son indicadores del tiempo que puede almacenarse el sirope previo a su uso. La acidez indica que los componentes están en proporciones adecuadas y un resultado, dentro de los límites de aceptación, indicando que las propiedades, como el sabor y el olor, son las esperadas (Molina, 2015).

Según Molina (2015) respecto al control microbiológico, además del control que se le realiza al agua del proceso y al azúcar líquido, se debe realizar un muestreo microbiológico a los tanques de preparación de jarabes periódicamente, así como del producto embotellado en todas las producciones; los resultados son indicadores directos de la efectividad de los procesos de limpiezas y buenos hábitos de manufactura.

Es importante destacar que, la eficiencia de la producción depende enteramente de los resultados de la caracterización y valoración de la calidad del jarabe terminado. La Tabla 1.4 muestra un resumen del control de la calidad de los jarabes.

Tabla 1.4. Control de la calidad empleado en la preparación de jarabes.

Aspectos controlar	Variables de control	Métodos o Equipos
Agua	Alcalinidad	Titulación (ácido-base)
	Dureza	Colorimetría
	pH	Potenciometría
	Turbidez	Espectrofotometría
	Sabor, olor y apariencia	Análisis sensorial
Azúcar	pH	Potenciometría
	Temperatura	Termómetro digital
	Sabor, olor y apariencia	Análisis sensorial
Jarabe terminado	pH	Potenciométrico
	Temperatura	Termómetro digital
	Volumen de preparación	Visor graduado en tanques
	Acidez	Titulación ácido- base
	Grados Brix	Densímetro digital

Fuente: Tesis en opción al grado de Licenciatura en Ingeniería Química, Molina 2015.

Es importante destacar que cada sirope tiene sus propias características y sus requerimientos de calidad. Estos varían según las materias primas con los que fueron elaborados, ya sea de plantas como el agave, maple, maíz, o de azúcar refinado como es el caso en cuestión. Todos se deben regir por las normas de calidad que presentan cada institución, y es por esto que se hace necesario realizar un control sistemático a lo largo de todo el proceso productivo y variar diferentes parámetros si fuera necesario.

1.5. Conclusiones parciales.

1. Los edulcorantes presentan gran variedad entre ellos y se clasifican por distintas categorías, por ejemplo por su poder endulzante, el mismo se ve afectado por varios factores.
2. Uno de los edulcorantes más usados a nivel mundial, son los siropes de azúcar invertido con un poder edulcorante relativo de 1,15 (%).
3. De los tipos de siropes que existen, ya sea de azúcar invertido, de maple de maíz, de agave, el de mayor aceptación a nivel mundial es este último por sus características y sus peculiaridades.
4. La producción de siropes en diferentes países como México, Venezuela y Costa Rica es bastante elevada pues existen diferentes tecnologías que facilitan el proceso productivo.
5. Los siropes de azúcar invertidos se obtienen a partir de hidrólisis enzimática, resinas de intercambio iónico o hidrólisis ácida.
6. La hidrólisis ácida por ser muy económica es la más utilizada en nuestro país, a pesar que la hidrólisis enzimática es la que utiliza la mayoría de los países para la producción de siropes.
7. Para obtener un producto final (sirope de azúcar invertido) de excelente calidad es necesario realizar un control sistemático a lo largo de todo el proceso, controlando en cada etapa los parámetros establecidos en las cartas tecnológicas de cada institución, y regirnos por las normativas alimenticias de cada país.

CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción del proceso productivo.

El sirope Juventi resulta de mezclar proporcionalmente jarabe de fructuosa refinado (56 %) y jarabe de azúcar refino B (43 %). Este último es elaborado en un tanque enchaquetado de forma cilíndrica a partir de azúcar refino B (70 %), agua con temperaturas cercanas a los 90°C y ácido cítrico (0,5 %) a razón de 1 g/L para acentuar el sabor del producto final y lograr la inversión de la sacarosa. Esta temperatura se logra calentando el medio a partir de vapor saturado proveniente de una caldera, dicho vapor circula por un serpentín colocado en el fondo del tanque.

Una vez preparada esta disolución se toman muestras para el control de la calidad y, es mezclada con el jarabe de fructosa refinado el cual se encuentra almacenado en tanques de plásticos conectados en serie. Luego, por gravedad, dicha mezcla pasa a tres tanques cilíndricos con agitación mecánica y agitación manual respectivamente para su posterior enfriamiento, mediante un sistema de enfriamiento rústico. Posterior a esta etapa, empleando una bomba centrífuga, se bombea hacia otra estación que consta de dos tanques cilíndricos con agitación mecánica para finalmente ser saborizados y coloreados con esencias y colores, según los patrones establecidos, para ser embazados y etiquetados.

2.1.1. Diagrama de flujo del proceso. (Ver Anexo 1)

2.1.2. Descripción de las etapas de obtención del sirope Juventi.

- Recepción del jarabe de fructuosa refinado y almacenamiento.

En esta etapa se persiguen dos objetivos básicos:

- Disponer de capacidades para un mes y medio de trabajo

-Contar con una superficie de fluctuación que garantice que al sirope no llegue espuma o algún material insoluble. Para esto se cuenta con el siguiente equipamiento:

Un tanque de recepción de acero inoxidable.

Cinco tanques de plástico de 2000 L de capacidad.

Cuatro tanques de plástico de 1500 L de capacidad.

Cinco tanques de plástico de 1000 L de capacidad.

Se procede a recepcionar el jarabe de fructuosa en el tanque cilíndrico. Cuando el volumen alcance el 70 % de la altura del tanque se comienza a bombear para la próxima estación, equilibrando los flujos de salida para evitar turbulencias. Con periodicidad se toman muestras para efectuar un control de la calidad (pH y Brix).

➤ Preparación de jarabe de azúcar refino B.

La estación consta con un tanque cilíndrico de acero inoxidable que se encuentra enchaquetado con una camisa de calentamiento (tanque disolutor); dicho calentamiento se realiza mediante vapor saturado proveniente de la caldera.

El objetivo de esta etapa es que el jarabe presente una alta concentración de azúcar para luego ser mezclado con la fructuosa almacenada. Esta operación se realiza a altas temperaturas.

En el tanque disolutor se pone una cantidad de agua superior al volumen de operación (463,67 L aproximadamente) y se calienta hasta los 90 °C para eliminar cualquier microorganismo presente en dicha agua. Se trasiega por todo el sistema para limpiar, luego se adiciona el ácido cítrico (de 4 a 7 g/L) y el azúcar refino B (alrededor de 19 sacos de 50 kg cada uno) con agitación mecánica y calentamiento hasta 85°C. Se verifica dicha disolución por observación a trasluz y se deja durante 15 minutos a esta misma temperatura.

Para controlar los parámetros físicos de dicho jarabe se recoge una muestra y se lleva al laboratorio donde se le realizan análisis de (Brix y pH).

➤ .Elaboración del sirope.

Esta etapa del proceso se realiza en el mismo tanque disolutor de la estación anterior y además presenta un circuito de enfriamiento, que consta de dos tanques cilíndricos de acero inoxidable, uno de ellos enchaquetado y el otro con un sistema de enfriamiento rústico. También cuenta con un tamiz de mallas bien finas (100x100) y una bomba centrífuga con un sistema de tuberías que interconecta dicha estación con la siguiente etapa del proceso productivo.

Cuando se tiene lista la disolución azucarada se vierte una cantidad de jarabe de fructuosa correspondiente al 56 % del volumen operacional del tanque con agitación constante para lograr homogenizar la mezcla. Luego es colado mediante un tamiz bien fino y pasa por gravedad a dos tanques con un sistema de enfriamiento. En uno de los tanques se hace circular agua a temperatura ambiente por el serpentín interior y por la periférica, mediante una manguera, en el otro tanque manteniendo agitación mecánica hasta la temperatura de 45°C, para ser bombeado a través de una bomba centrífuga hasta la próxima estación.

➤ Homogenización.

Esta estación cuenta con dos tanques de acero inoxidable, uno de ellos con agitación mecánica y el otro con agitación manual, con un volumen nominal de 1000 L cada uno.

El objetivo fundamental de esta etapa es lograr la mayor homogenización de la mezcla, además se procede a la adición de la esencia saborizante (5,880 kg) y el colorante según los parámetros establecidos.

➤ Control de la calidad.

En esta etapa se realizan una serie de controles que tienen como objetivo principal garantizar que el producto cumpla con los requerimientos de calidad

establecidos por las diferentes Normas Cubanas para el consumo de toda población, así como su comercialización, entre los que se encuentran:

Requisitos organolépticos:

- Color
- Olor
- Aspecto

Requisitos físicos- químicos:

- Brix
- Densidad
- Viscosidad
- pH
- Verificación del peso/volumen

Requisitos microbiológicos:

- Crecimientos de hongos y levaduras.

Esta etapa del proceso se realiza en el laboratorio de la industria, aplicando técnicas y procedimientos que serán descritos posteriormente.

➤ Envasado, tapado y etiquetado.

Esta etapa persigue dos objetivos fundamentales, envasar herméticamente en recipientes plásticos que garanticen la durabilidad del producto y etiquetar cada recipiente para identificar lote, fecha de producción, etc.

Para lograr un envasado con calidad se cuenta con un manifold, que conecta los tanques de mezclas con el área de envase, cuenta con cuatro válvulas para el llenado de los recipientes.

Para una mejor comprensión de las etapas del proceso de producción del sirope Juventi se muestra un diagrama de etapas (ver Anexo 2).

2.2. Análisis crítico del proceso productivo.

En esta etapa del trabajo se realiza un control del proceso de producción, en el cual se tendrá en cuenta las tres etapas fundamentales del dicho proceso (recepción de la materia prima, proceso de elaboración y control de la calidad). Para esto se recopilan datos en las diferentes etapas durante tres meses del año 2018 a los que se le realizan controles estadísticos tales como pruebas de hipótesis y análisis de una variable, apoyándonos del programa STATGRAPHICS.

El análisis crítico del proceso culmina con el cálculo del consumo de masa de vapor en el tanque disolutor número uno. Para ello se realiza un análisis estadístico de las temperaturas y las presiones de vapor que son necesarias en el calentamiento del agua, así como el calentamiento de la disolución azucarada en dicho tanque. Se muestrean los datos durante dos días del mes de marzo del año 2018 (Ver Anexo 8).

El consumo de masa de vapor se calcula a través de un balance de energía y se utilizan las Ecuaciones 2.20 y 2.21.

$$m_v \cdot \lambda_v = m_a \cdot C_{p_a} \cdot \Delta T \quad \text{Ecuación 2.20}$$

Donde:

m_v : masa de vapor

λ_v : calor latente de vaporización

m_a : masa de agua

C_{p_a} : calor específico del agua

ΔT : variación de la temperatura

$$m_v \cdot \lambda_v = m_{Da} \cdot C_{p_{Da}} \cdot \Delta T \quad \text{Ecuación 2.21}$$

Donde:

m_{Da} : masa de la disolución azucarada

$C_{p_{Da}}$: calor específico de la disolución azucarada

2.3. Materiales utilizados en la etapa de experimentación.

El contenido muy elevado de ácido en el sirope Juventi puede ocasionar daños perjudiciales a la salud humana. El consumo humano de este sirope ha ido creciendo notablemente, razón por la cual se hace necesario variar la cantidad de ácido cítrico en su elaboración. Para ello se procede a realizar una serie de experimentos con el objetivo de evaluar la influencia del ácido cítrico en el resto de los parámetros de calidad establecidos, y de esta manera obtener un sirope de mayor calidad y con menos efectos dañinos para la salud de la población.

Los experimentos se realizan en los laboratorios de química de la Universidad de Matanzas y se usan los siguientes materiales:

- Azúcar refino B: proveniente de la UEB “Empa Limonar”, provincia de Matanzas
- Jarabe de fructosa: proveniente de la industria “Chiquitico Fragrebat”, provincia de Villa Clara
- Ácido cítrico: proveniente de China
- Tierras de infusorios, suministrada por la refinería George Washington
- Balanza técnica BS2202S: máxima 2200 g y error= 0,01 g, marca Sartorius, (Alemania)
- Balanza analítica BS5124S: máxima 120 g y error= 0,1 mg, marca Sartorius, (Alemania)
- pHmetro Basic20 CRISON
- Plancha de calentamiento IKA C-MAG HP7, (China)
- Espectrofotómetro Ultrospec 2100 pro UV/ Visible, (Alemania)
- Estufa DHG-9146, (Singapur)
- Bomba de vacío TELSTAR, wold S-4130,(España)

2.4. Caracterización de la materia prima.

Para obtener el sirope Juventi con mejor calidad es necesario tener en cuenta diversos parámetros, entre los que se destaca la calidad del azúcar refino B que

se utiliza en la elaboración del mismo. Por esta razón se realizan una caracterización de la misma.

- Determinación de apariencia: El método se basa en detectar las partículas negras (carbón, hierro) e insolubles presentes en la muestra, la misma. Se realiza vertiendo la muestra sobre un papel blanco, y con ayuda de una lupa se buscan las partículas (Garrido, 2016).
- Determinación de olor y sabor: El método se basa en detectar olores y sabores no característicos que puedan estar presentes en el azúcar.
- Determinación del color: La determinación de color puede realizarse tanto por métodos visuales como por instrumentales, ambos presentan ciertas dificultades en cuanto a las referencias, lo que podría provocar diferencias significativas y alterar considerablemente la reproducibilidad (Macu, 2006).

Se determina el color elaborando una solución de azúcar de concentración conocida y se lee la transmitancia en un UV/Visible a 420 nm.

- Determinación de humedad: El método se basa en determinar el porcentaje de agua presente en el azúcar.

Procedimiento:

- 1- Se pesan 10 g de azúcar en una cápsula previamente tarada.
- 2- Se secan en una estufa a 105°C de temperatura durante 3 horas.
- 3- Se deja enfriar por 30 min en una desecadora y se pesa tomando la diferencia entre la pesada inicial y la final, para esto nos apoyamos en la Ecuación 2.41 (Garrido, 2016).

$$\text{Humedad} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \qquad \text{Ecuación 2.41}$$

Donde:

m_1 : Masa de azúcar húmeda.

m_2 : Masa de azúcar seca.

- Determinación de la Pol (pureza).

La pol es uno de los parámetros de mayor importancia en la industria azucarera, ya que permite la determinación de la pureza de todos los productos y subproductos, el control del proceso, la eficiencia y la calidad del producto final. Se basa en la propiedad que tiene la sacarosa de rotar el plano de la luz polarizada una magnitud directamente proporcional a su concentración en solución acuosa. La pol viene dada por la suma algebraica de todas las sustancias ópticamente activas contenidas en la solución clarificada con acetato básico de plomo (II) (ABP), por lo que se determina la sacarosa aparente (NC 83: 2017).

2.5. Variación del contenido de ácido cítrico en el proceso.

Se preparan diez muestras a 70 grados Brix, variando la concentración de ácido cítrico desde 0,539 hasta 3,774 g con el objetivo de evaluar como influye dicha concentración en la elaboración del sirope. Se preparan siete muestras; añadiendo en un beaker 250 mL de agua y se calienta de 85-90°C, luego se añade lentamente con agitación constante 512 g de azúcar refino B y se varía la cantidad de ácido en cada muestra desde 0,539 hasta 3,774 g respectivamente. Se prepararan además, tres muestras (AF), siguiendo el procedimiento anterior, pero se varia la cantidad de azúcar (512 g) y se le añade 178 mL de fructuosa, para establecer una comparación entre las dos variantes de obtención de este sirope.

Las cantidades de agua, azúcar y ácido que se adicionan se calculan siguiendo la cantidad respectiva a escala industrial.

2.6. Determinación de sólidos refractométricos disueltos en el sirope.

La determinación de grados Brix refractométricos se basa en el fenómeno que experimenta un rayo de luz, con longitud de onda definida, cuando atraviesa dos fases con diferente densidad óptica (Macu, 2004). Se realiza con el objetivo de cuantificar el contenido total de sacarosa disuelta en el líquido.

Procedimiento:

- 1- Se mide la temperatura de la muestra y se toman una o dos gotas de la misma.
- 2- Se coloca en el refractómetro y se observa el índice de refracción. Este constituye una constante física confiable para identificar sustancia y/o determinar la concentración de soluciones.; luego se corrige dicho índice mediante la Ecuación 2.60.

$$n_D^{20} = n_D^T - 0.00045(20 - T) \quad \text{Ecuación 2.60}$$

Donde:

n_D^{20} : Índice de refracción a 20°C

n_D^T : Índice de refracción a la temperatura de trabajo

T : Temperatura de trabajo

Con el índice de refracción ya corregido se procede a buscar los grados Brix a partir de la Tabla 1 (ver Anexo 3).

2.7. Determinación de azúcares reductores.

La determinación de los azúcares reductores, se obtiene por medio de una curva de calibración, siguiendo el método de Miller o DNS (ácido dinitrosalicílico), reactivo que tiene la capacidad de oxidar a los azúcares reductores, dando resultados colorimétricos. Este método emplea 3,5-ácidodinitrosalicílico para la hidrólisis de polisacáridos presentes en una muestra, seguido de la determinación espectrofotométrica a 546 nm de los azúcares reductores. Esta técnica sirve para cuantificar los azúcares reductores producidos durante una fermentación o para cuantificar los productos de una reacción enzimática. (Genera, 2016).

2.8. Determinación potenciométrica de pH.

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una disolución (Rivera, *et al.*, 2016). La determinación del mismo en los procesos agroindustriales tiene una amplia e importante aplicación. El método potenciométrico se basa en la

diferencia de potencial entre el electrodo de medición, sensible a los iones hidrógeno, y el de referencia, por lo regular de Calomel, cuando se sumergen en una solución acuosa. El conjunto (potenciómetro y electrodos) debe ajustarse con meticulosidad utilizando soluciones *buffers* de referencia (Macu, 2004).

Para realizar esta medición, primeramente es necesario calibrar el equipo con al menos dos soluciones buffer que incluyan el intervalo de medición requerido y que estas estén en buen estado (libres de hongos u otros microorganismos). Luego de ajustar el equipo, según las instrucciones del fabricante del instrumento, se introduce el electrodo limpio y seco en un beaker que contenga la solución de ensayo, una vez que se estabilice la lectura se toman los valores.

2.9. Determinación gravimétrica de los sólidos insolubles.

Este método se basa en la separación de las impurezas insolubles presentes en el jugo y la ulterior determinación de su masa seca, como la muestra en cuestión es un sirope con una gran viscosidad, es necesario modificar algunos puntos del método.

Procedimiento:

1. Se añaden 200 ml de la muestra diluida previamente en un beaker y se pesa. Es necesario tener muy en cuenta que la representatividad y la homogeneidad de la porción de ensayo resultan decisivas para obtener resultados confiables.
2. Se añaden 6 g de tierra de infusorios seca.
3. Se calienta aproximadamente hasta 90°C.
4. Con el sistema a presión atmosférica y auxiliándose del agitador se trasvasa cuantitativamente el contenido del beaker al embudo y se filtra a vacío.
5. Se extrae cuidadosamente el papel con los insolubles, y se seca a 105 ± 5 °C durante 3 h en la estufa.
6. Transcurrido este tiempo, se coloca en la desecadora para que alcance temperatura ambiente (aproximadamente quince minutos).

7. Se pesa el papel con los insolubles.

Cálculo del contenido de insolubles en la muestra (I), en % m/m, mediante la ecuación 2.90:

$$I=100(m_3-m_2-m_1)/m \qquad \text{Ecuación 2.90}$$

Donde:

m_1 : es la masa, en g, del papel seco.

m_2 : es la masa, en g, de la tierra de infusorios seca.

m_3 : es la masa, en g, del papel con la tierra y los insolubles.

m : es la masa, en g, de la muestra.

2.10. Determinación de la calidad sensorial de los principales atributos del sirope.

El análisis sensorial es una disciplina de la química analítica de gran uso en los alimentos donde los sentidos humanos constituyen el instrumento principal en los procedimientos de medición de los atributos sensoriales que definen la calidad. En el caso del sirope las características sensoriales más importantes son olor, sabor y apariencia (Garrido, 2016). Para la evaluación del sabor se selecciona el método de los expertos o método de Kendall dado que el mismo se utiliza para evaluar características que no necesariamente tienen que medirse a través de un instrumento de medición, siendo éste el caso que concierne. Este método consiste en unificar los criterios con el uso de herramientas estadísticas de un grupo de especialistas con conocimiento del tema sometido a estudio, de manera que cada integrante del panel pondere según el orden de importancia las características que cada cual entiende a criterio propio.

Para cumplimentar esta tarea se siguen los siguientes pasos:

- Selección del panel de expertos.
- Diseño y aplicación de las encuestas a valorar por el panel.
- Determinación del grado de concordancia de los expertos.
- Cálculo del coeficiente de ponderación.
- Análisis de los resultados obtenidos.

Selección del panel de expertos.

El panel de expertos utilizado se caracteriza por ser en su mayoría especialistas de reconocido prestigio, con 15 o más años de experiencias, en su totalidad son: investigadores, docentes. La encuesta se hizo llegar a los expertos personalmente.

Diseño y aplicación de la encuesta.

El objetivo fundamental de la misma es determinar el grado de importancia que cada miembro del panel da a cada una de las muestras preparadas.

La encuesta se encabeza de la siguiente forma:

Llenar la siguiente encuesta considerando que cada muestra está preparada a 70 grados Brix y varía la cantidad de ácido cítrico añadido, para realizar una evaluación del sabor donde se le asigne el valor 7 al sabor más agradable, e ir disminuyendo la puntuación según usted considere hasta alcanzar el valor 1. Lo mismo sucede con las tres muestras preparadas con el jarabe de fructuosa, se le asignará una puntuación de tres puntos a la del sabor más agradable para su paladar hasta llegar a 1.

En la encuesta aplicada se les explica a los expertos el objetivo que se persigue con la misma y se les solicita que la lean bien y llenen, teniendo en cuenta su experiencia. La encuesta presentada al panel aparece a continuación.

Tabla 2.1. Encuesta aplicada al panel de expertos

K	Índices	Valor Asignado
1	Muestra 1 con un contenido de ácido de 0,539 g	
2	Muestra 2 con un contenido de ácido de 1,078 g	
3	Muestra 3 con un contenido de ácido de 1,617 g	
4	Muestra 4 con un contenido de ácido de 2,156 g	
5	Muestra 5 con un contenido de ácido de 2,696 g	
6	Muestra 6 con un contenido de ácido de 3,237 g	
7	Muestra 7 con un contenido de ácido de 3,774 g	

Fuente: Elaboración propia

Tabla2.2. Encuesta aplicada al panel de expertos

K	Índices	Valor Asignado
1	Muestra 1 con jarabe de fructuosa y un contenido de ácido de 0,539 g	
2	Muestra 1 con jarabe de fructuosa y un contenido de ácido de 1,078 g	
3	Muestra 1 con jarabe de fructuosa y un contenido de ácido de 1,617 g	

Fuente: Elaboración propia

Determinación del grado de Concordancia entre los expertos.

A partir de los resultados de la encuesta, se hace necesario determinar el grado de concordancia entre los expertos, para lo cual se utiliza el coeficiente de Kendall, que responde a la siguiente expresión:

$$W = \frac{12 S}{m^2 (K^3 - K)} \quad \text{Ecuación 2.100}$$

Donde:

$$S = \sum_{i=1}^K \left[R_i - \frac{\sum R_i}{K} \right]^2 = \sum_{i=1}^K \Delta^2 \quad \text{Ecuación 2.101}$$

S – Suma de cuadrados de las desviaciones observadas de la media.

R_i – Suma de criterio de los expertos con relación al factor i .

K – Número de factores investigados.

m – Número de expertos

El coeficiente W toma valores entre 0 y 1. Si toma valor 0 indica que existe una total discrepancia entre los miembros del panel, contrariamente si alcanza valor 1 se establece una concordancia perfecta entre éstos. En la práctica esto apenas ocurre, obteniéndose valores intermedios por lo que se hace necesario utilizar una prueba de hipótesis que permita predecir si es significativa o no la concordancia entre los expertos. Se expone que cuando $W > 0,5$ no es necesario realizar la prueba de hipótesis.

➤ Cálculo del coeficiente de Ponderación.

Una vez aprobada la significación de la concordancia, se calcula el coeficiente de ponderación para cada variable aplicando la siguiente ecuación:

$$K_i = \frac{R_i}{\sum R_i} \quad \text{Ecuación 2.102}$$

La sumatoria de las K_i debe ser igual a uno.

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se verifican los resultados obtenidos a partir de las técnicas analíticas empleadas. Se determina el comportamiento del contenido de ácido cítrico y su influencia en la elaboración del sirope, mediante correlaciones de los parámetros de calidad y operación. El tratamiento de los resultados se realizó mediante el programa STATGRAPHICS que ayuda a seleccionar el análisis de resultados más apropiado para recoger y analizar los datos. El uso de este programa permite obtener resúmenes estadísticos, comparar las muestras y dar criterios certeros de la investigación.

3.1. Análisis crítico del proceso productivo.

Se realiza un análisis del proceso productivo con el objetivo de evaluar el comportamiento de los parámetros de calidad establecidos según la carta tecnológica de la industria. Para realizar dicho análisis nos basamos en la Figura 3.1.



Figura 3.1. Etapas fundamentales del proceso de producción del sirope.

Para lograr que el sirope Juventi cumpla con la calidad requerida es necesario que en cada una de estas etapas se controlen y se registren varios parámetros, en las Tablas 3.1, 3.2 y 3.3 se muestra la información de las variables controladas por etapa respectivamente.

Tabla 3.1. Variables que se controlan en la recepción de materia prima.

	Variable a controlar	Valor normado	Control en laboratorio	Registro
Azúcar Refino B	Pureza	99,9 %	No	No
	Humedad	0,08% mxm	No	No
	Color ICUMSA	300 mxm	No	No
Jarabe de fructuosa	Brix o sólidos disueltos	68-70°	Si	No
	pH	3,0-3,5	Si	No
	% Fructuosa	54±0,5	No	No
	% Glucosa	46±0,5	No	No
	Color ICUMSA	100±50	No	No

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Tabla 3.1 en la recepción de la materia prima solo se realiza el control de calidad al jarabe de fructuosa (Bx y pH). Esto puede repercutir en la calidad del producto intermedio y final, si el azúcar que se utiliza no presenta la pureza, el color y la humedad establecida no se alcanzan los grados Brix y la viscosidad normada para el producto final (NC 379, NC 382, 2005).

Tabla 3.2. Variables que se controlan en el proceso.

	Variable a controlar	Valor normado	Control en laboratorio	Registro
Disolución azucarada	Brix o Sólidos disueltos	70±2	Si	No
	pH	3,0±2	Si	No

Fuente: Elaboración propia.

A diferencia de la etapa anterior, en esta si se realiza un control sistemático a la disolución azucarada, de esta forma se comprueba que la misma presente los grados Brix y el pH requerido, antes de pasar a la próxima estación. Esto es de gran beneficio dentro del proceso puesto que brinda información acerca del valor final que debe alcanzar el producto final y si es necesario o no añadir una mayor cantidad de materia prima y en qué proporción.

Tabla 3.3. Variables que se controlan en el producto final.

	Variable a controlar	Valor normado	Control en laboratorio	Registro
Producto Final	Brix o Sólidos disueltos	70°±2	Si	Si
	Viscosidad	250 cPmxm	Si	Si
	pH	3,0±2	Si	Si
	Acidez	0,45±0,05 %		
	Verificación de peso	1350 g/L±100	Si	Si

Fuente: Elaboración propia.

Al finalizar cada proceso de producción, principalmente si el producto final es para el consumo humano es de vital importancia un control riguroso del mismo. En este caso se controlan y se registran los parámetros establecidos según las normas cubanas para productos alimenticios.

Como se observa en la Tabla 3.3 existe un registro de los parámetros que se controlan en la industria, por lo que se hizo posible la recopilación de datos de tres meses del año 2018 (enero febrero y marzo). De dicha recopilación se selecciona una muestra representativa de los sabores que se producen con mayor frecuencia (fresa, cola y naranja) con los cuales se realizan los controles estadísticos pertinentes, los datos recopilados se muestran en el Anexo 5,6 y 7.

3.1.2. Análisis estadístico de las variables que se controlan en el producto

Para realizar el análisis estadísticos a los datos de las variables recopilados se agrupan los mismos por sabores y variables. Nos apoyamos en STATGRAPHICS, los resultados se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Análisis estadístico del pH

Sabor del sirope	Valor medio	Coefficiente de variación (%)	Desviación estándar
Fresa	3,194	6,565	0,209
Cola	3,411	8,658	0,295
Naranja	3,113	4,515	0,140

Fuente: Elaboración propia

Al analizar la Tabla 3.4 se puede decir que el valor medio obtenido se encuentra dentro de lo establecido en la carta tecnológica del proceso, el coeficiente de variación es menor que doce lo que significa que hay una buena representación de la media y existe una homogeneidad en los datos de las variables. Los valores obtenidos de desviación estándar reportan que los datos presentan una buena distribución respecto a su media aritmética, a pesar que el valor medio del pH obtenido cumple con los requerimientos de calidad de la industria.

Se reporta en la literatura que el valor medio para el pH de los siropes debe estar por encima de 4; con un intervalo de confianza (99 %) para que estos no causen daño a la salud humana (Rivera, *et al.*, 2016) y como se puede observar para los siropes obtenidos en el proceso esto no se cumple. Por tales motivos se hace necesario modificar la cantidad de ácido cítrico.

Tabla 3.5. Análisis estadístico de los grados Brix.

Sabor del sirope	Valor medio	Coefficiente de variación (%)	Desviación estándar
Fresa	70,287	1,364	0,959
Cola	70,205	0,640	0,449
Naranja	70,340	1,304	0,917

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Tabla 3.5, luego de realizar el análisis estadístico correspondiente, el valor medio de grados Brix se corresponde con lo planteado en la carta tecnológica, los coeficientes de variación son bastante pequeños, por lo que se puede asegurar que existe una gran homogeneidad en los datos y que a su vez la media es representativa de la población. Lo cual demuestra que todos los siropes elaborados presentan un valor de grados Brix adecuado. Por otro lado la desviación estándar presenta un valor bastante pequeño por lo cual se puede afirmar que no existe desviación entre los datos y su valor medio. .

Tabla 3.6. Análisis estadístico de la viscosidad

Sabor del sirope	Valor medio	Coefficiente de variación (%)	Desviación estándar
Fresa	185,185 cP	12,564	23,266
Cola	174,963 cP	0,996	12,327
Naranja	170,111 cP	9,106	15,490

Fuente: Elaboración propia

Al analizar los resultados que se muestran en la Tabla 3.6 se concluye que al igual que las variables analizadas con anterioridad, el valor medio de viscosidad también cumple los parámetros de calidad establecidos según la carta tecnológica de la industria, el coeficiente de variación del sirope de fresa es relativamente mayor que doce, es decir que la media no es representativa de la población y existe heterogeneidad en los datos recopilados. Los valores de

desviación estándar obtenidos son relativamente grande, lo cual nos permite afirmar que los datos presentan gran desviación en su distribución con respecto a la media aritmética. Esto puede estar dado por el tipo y la cantidad de materia prima (azúcar refino B y jarabe de fructuosa) que se utiliza en la preparación del sirope, así como por la calidad de dichas materia primas.

3.1.2. Análisis del consumo de masa de vapor en la elaboración del sirope.

En la actualidad se ha llamado a disminuir los portadores energéticos como algo vital para el país, ante esta realidad se calcula el consumo de masa de vapor que utiliza el tanque disolutor número uno en la elaboración de la disolución azucarada. Este valor se calcula mediante un balance de energía que se describe en el epígrafe 2.2 y para ello primeramente se efectúa un análisis estadístico con el objetivo de conocer los valores promedio de la temperatura y las presiones de vapor. La Tabla 3.7 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 3.7. Resultados del análisis estadístico de las presiones de vapor en tanque disolutor número uno.

Parámetro	Valor medio	Coefficiente de variación (%)	Desviación estándar
Presión de vapor para calentar el agua (lbf/pulg ²)	96,25	3,230	3,109
Presión de vapor para calentar disolución de azúcar	78,9167	5,251	4,144188

Fuente: Elaboración propia

Al realizar un análisis de los valores obtenidos del estudio estadístico se observa que el coeficiente de variación es pequeño, por lo que la media es representativa de la población y además no existe una dispersión elevada de los mismos, según los valores de desviación estándar

Se realiza un balance de energía con el objetivo de calcular el vapor que consumido en el calentamiento del agua que posteriormente será utilizada para

la elaboración de la disolución azucarada, dicho valor fue de 64,98 kg/templa. Además se calculó el vapor que se consume a lo largo del proceso de la disolución del azúcar en el agua, el valor obtenido fue de 57,47 kg/templa. Al comparar estos resultados podemos decir que al calentar el agua se consume mayor cantidad de vapor que en la preparación de la disolución azucarada, esto se debe a que la variación de temperatura en esta última es considerablemente menor ($\Delta T = 35^{\circ}\text{C}$) que la de calentar el agua ($\Delta T = 73^{\circ}\text{C}$).

3.2. Análisis de la caracterización de la materia prima.

Como materia prima principal para la obtención del sirope tenemos el azúcar refino B, proveniente de la UEB Empa Limonar, a la misma se le realizan diferentes pruebas para evaluar su influencia en el proceso productivo. A continuación la Tabla 3.8 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 3.8. Resultados de la caracterización del azúcar.

Parámetros	Az. Refino B (Limonar)
Apariencia	Cristales uniformes no muy limpios, ni blancos y con no más de 6 manchas en 400 g.
Olor	Característico. - Libre de olores extraños
Sabor	Típicamente dulce.
Color	500 (ICUMSA)
Humedad	0,643 %
Pureza	98,12 %

Fuente: Elaboración propia.

La eficiencia de todo proceso depende en gran medida de la calidad de la materia prima con que se trabaja. En el caso en cuestión, se realizan los experimentos pertinentes para la caracterización y evaluación de la misma. Como se observa en la Tabla 3.8, el color ICUMSA obtenido presenta un valor por encima de lo establecido en la carta del tecnológica del centro, esto puede

afectar la apariencia del producto final (Molina, 2015). Por otro lado la humedad de dicha azúcar no se encuentra dentro del rango establecido (0,643 %) pudiendo ocasionar problemas a la hora de la elaboración de la disolución azucarada, así como un mayor consumo de vapor en dicha etapa. De la misma forma la pureza es un parámetro muy importante para la obtención de un excelente sirope pues el azúcar debe estar libre de partículas extrañas (Solís, 2010). En este caso la pureza es de 98,12 %, aunque no es la establecida por la institución si es bastante cercana, por lo cual no repercute de forma significativa en el producto final.

Para corroborar dichos resultados se realizaron pruebas de hipótesis teniendo en cuenta el valor normado y con ayuda del programa STATGRAPHICS. A continuación la Tabla 3.9 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 3.9. Resultados de las pruebas de hipótesis

Variables	Hipótesis	P- Valor	Cumplimiento de H_0
Color (C) (ICUMSA)	$H_0: C \leq 300$ $H_1: C > 300$	0,05	No
Humedad (H) (%)	$H_0: H \leq 0,08$ $H_1: H > 0,08$	0,05	No
Pureza (P) (%)	$H_0: (P) \leq 99,9$ $H_1: (P) > 99,9$	0,05	No

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 3.9 muestra los resultados obtenidos en las pruebas de hipótesis, donde en todos los análisis se rechaza H_0 y se acepta H_1 para un 95 % de confianza, lo que demuestra que las variables no se encuentran dentro del rango permitido. Con este análisis estadístico se comprueba que la materia prima utilizada en la elaboración del sirope, no cumple con las especificaciones normadas, lo que repercute en la elaboración del mismo, así como en la calidad del producto final.

3.3. Análisis de la variación del contenido de ácido cítrico en el proceso.

Para realizar un análisis del contenido de ácido cítrico en el proceso fue necesario escalar el proceso de escala industrial a laboratorio. Se prepararon diez muestras a 70 grados Brix (tres de ellas se preparan con jarabe de fructuosa + azúcar refino B) y se varió la cantidad de ácido en cada muestra con el objetivo de establecer la posibilidad de disminuir la cantidad del mismo en el proceso y además lograr un nivel de inversión de sacarosa elevado sin que el sirope cristalice de forma indeseada a lo largo de un período de tiempo establecido.

3.3.1 Análisis de los sólidos disueltos en el sirope (grados Brix), por vía refractométrica.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.10

Tabla 3.10. Resultados obtenidos en la medición de grados Brix.

Muestras (cant. de ácido (g))	Brix (refractométrico)
1-(0,539)	70,44
2-(1,078)	70,44
3-(1,617)	68,75
4-(2,156)	67,13
5-(2,696)	67,54
6-(3,237)	67,40
7-(3,774)	67,85
1AF-(0,539)	70,94
2AF-(1,078)	69,90
3AF-(1,617)	70,40

Fuente: Elaboración propia

Según Molina (2015) los jarabes terminados que fueron endulzados con azúcar, la principal característica para controlar es el contenido de sacarosa, propiedad que se determina mediante los grados Brix. Al analizar la Tabla 3.10 tenemos que no existen diferencias significativas entre las variables, y por tanto se puede afirmar que la cantidad de ácido añadida no influye sobre la cantidad de sólidos disueltos o grados Brix. También se puede observar que las muestras preparadas con jarabe de fructuosa presentan un valor de grados Brix relativamente mayor, lo cual está dado a que dicho jarabe influye de forma notable a la hora de alcanzar los resultados esperados en la elaboración del sirope Juventi. La fructosa es mucho más dulce que la sacarosa, hasta 170 % especialmente percibida en frío (Domínguez, 2015)

Además se realiza un análisis de varianza para ver si existe diferencia significativa entre cada una de las muestras elaboradas. La Tablas 3.11 y 3.12 muestran los resultados obtenidos.

Tabla 3.11. Análisis de varianza

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F- razón	P- valor
Inter-grupos	18,5598	6	3,09331	5,96	0,0911
Intra-grupos	1,63205	3	0,54401	-	-
Total	20,1919	9			

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la tabla 3.10 el P- valor es mayor que 0,05 para un 95% de confianza lo cual indica que no existe diferencia significativa entre los grupos analizados. Para corroborar dichos resultados y comprobar si el modelo se ajusta a la realidad se aplica el método Duncan (Tabla 3.11)

Tabla 3.11. Tabla de resultados del método Duncan

Ácido cítrico (g)	°Brix	Grupos homogéneos
2,156	67,13	XX
3,237	67,40	XX
2,696	67,54	XX
3,774	67,85	XX
1,617	69,58	XX
1,078	70,17	XX
0,539	70,69	XX

Como se observa en la Tabla 3.11 se demuestra que no existe diferencia significativa entre los grupos.

3.3.2. Análisis de azúcares reductores.

El análisis de la concentración de azúcares reductores es de gran importancia en el proceso, pues a partir de estos se obtiene el nivel de inversión que se alcanza según la cantidad de ácido añadido. Para obtener estos resultados, primeramente se valida la curva de referencia, la cual se obtiene de aplicar el método de Miller o DNS (ácido dinitrosalicílico).

3.3.2.1. Curva de referencia para determinar azúcares reductores.

En la Figura 3.1 se muestra la curva de referencia para determinar la concentración de azúcares reductores.

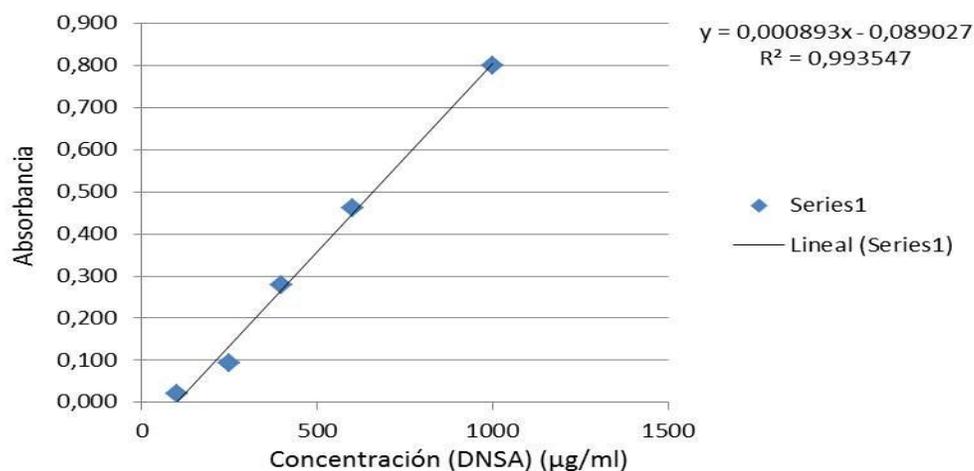


Figura 3.1. Curva de referencia para determinar la concentración de azúcares reductores

La ecuación 3.30 es la que describe el modelo que se ajusta a la curva de referencia para determinar almidón en jugo de caña:

$$y = 0,000893x - 0,089027 \quad \text{Ecuación 3.30}$$

Donde:

y: Concentración de DNSA (µg/mL).

x: Absorbancia (nm).

A partir de la Ecuación 3.30 se obtienen los resultados que se muestran en el Anexo 9 y se grafican dichos resultados para evaluar la influencia del ácido en la obtención de azúcares reductores, y de esta forma establecer los niveles de inversión de sacarosa que se alcanzan. Las Figuras 3.2 y 3.3 muestran el estudio realizado.

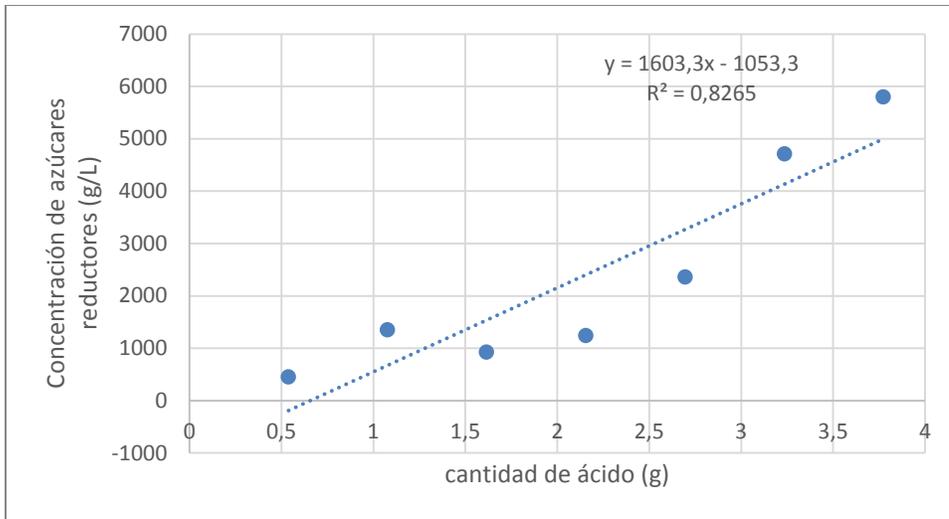


Figura 3.2. Comportamiento de la concentración de azúcares reductores en las muestras que no presentan jarabe de fructuosa.

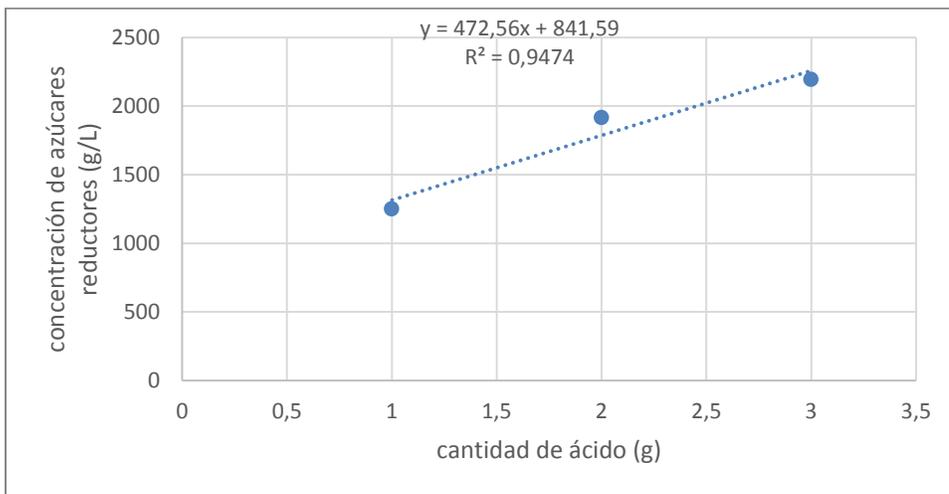


Figura 3.3. Comportamiento de la concentración de azúcares reductores en las muestras que presentan jarabe de fructuosa.

Como se observa en las Figuras 3.2 y 3.3, existe un comportamiento lineal y ascendente por lo que se puede afirmar que con el aumento de la dosis de ácido aumenta la concentración de azúcares reductores y por tanto se logra un mayor nivel de inversión de sacarosa.

A pesar que dicho ácido es perjudicial para la salud humana es necesario para lograr la inversión de la sacarosa y garantizar que el producto final no cristalice a lo largo de un período de tiempo determinado. Según Rivera, *et al.*, (2016) las muestras de sirope con una acidez más elevada presentan un mayor contenido de azúcares reductores, debido a que un aumento en la concentración de iones hidronio, favorece la hidrólisis de la sacarosa. Por lo contrario Gerena (2016) reporta que los azúcares reductores tienden a reducir su concentración cuando aumenta la concentración del ácido, formando compuestos tóxicos, ya que la hidrólisis continua, hasta generar productos como HMF (Hidroxi Metil Furfural) y furfural, estos compuestos traen alta incidencia en la reducción en el porcentaje de azúcares reductores y sobre los procesos fermentativos, el cual puede inhibir el crecimiento microbiano.

Esto no ocurre en el caso estudio, pues existe una relación lineal entre las variables analizadas, además después de un mes y medio las muestras elaboradas no cristalizan, ni presentan contaminación microbianas, lo que concuerda con lo expuesto con Gerena (2016).

Para observar si existen diferencias significativas entre los grupos estudiados se realiza un análisis de varianza, la Tabla 3.12 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 3.12. Análisis de varianza

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F- razón	P- valor
Inter-grupos	2,531	6	4,219	9,81	0,0440
Intra-grupos	1,289	3	429955,0	-	-
Total	2,660	9			

Fuente: Elaboración propia

Al analizar el P-valor, que es menor que el nivel de confianza (0,05) se puede decir que existe diferencia significativa entre los grupos, puesto que al variar la cantidad de ácido varía la concentración de azúcares reductores, y a su vez el

nivel de inversión de la sacarosa entre estos. Para comprobar si el modelo se ajusta a la realidad se aplica el método Duncan, los resultados se aprecian en la Tabla 3.13

Tabla 3.13 Resultados del método Duncan

Ácido cítrico (g)	Reductores (g/L)	Grupos homogéneos
0,539	849,84	X
2,156	1243,3	X
1,617	1558,9	X
1,078	1631,84	X
2,696	2356,24	XX
3,237	4712,48	XX
3,774	5799,48	X

La Tabla 2.13 reafirma los resultados anteriores, existiendo diferencias significativas entre los grupos, lo cual concuerda con las diferentes bibliografías consultadas.

3.3.3. Análisis de la determinación del pH.

Otra de las variables que dan información acerca de la calidad del producto terminado es el pH, puesto que es un indicador del tiempo que puede almacenarse el sirope previo a su uso. La acidez indica que los componentes están en proporciones adecuadas dentro de los límites de aceptación, indica que las propiedades, como el sabor y el olor son las esperadas (Molina, 2015)

La determinación del pH es de gran importancia en el estudio en cuestión pues es uno de los principales objetivos a cumplir. Los resultados obtenidos se exponen en el Anexo 10. Además se realizan gráficos de dispersión que se muestran en las Figuras 3.4 y 3.5.

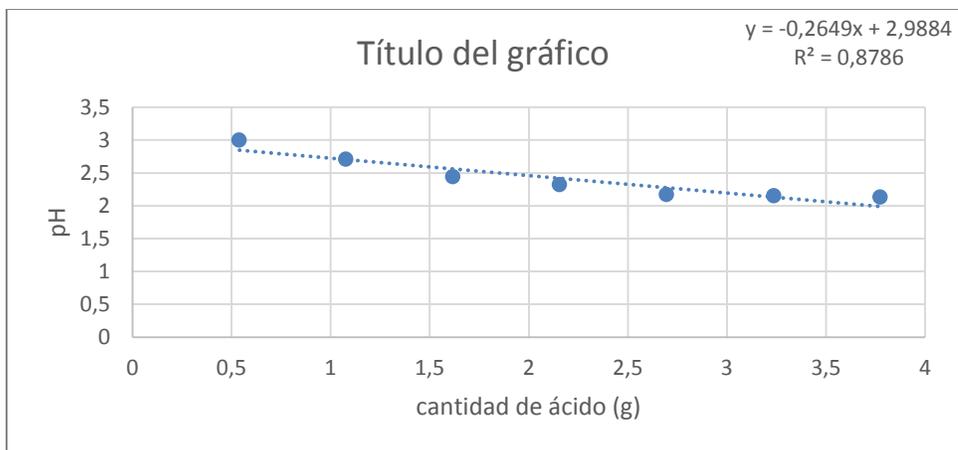


Figura 3.4. Comportamiento del pH en las muestras que no presentan jarabe de fructuosa.

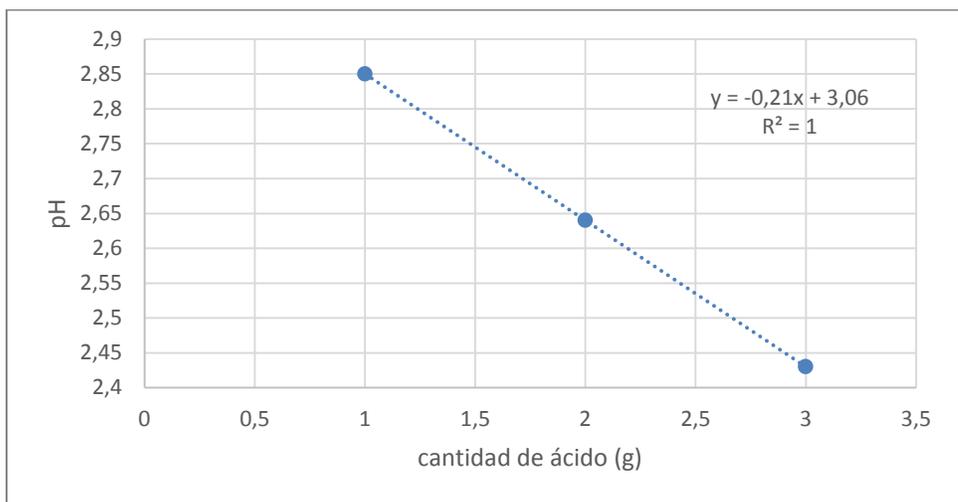


Figura 3.5. Comportamiento del pH en las muestras que presentan jarabe de fructuosa.

Como se observa en las Figuras 3.4 y 3.5 el coeficiente de correlación (R^2) es bastante cercano a la unidad, por lo cual se afirma que existe una correlación lineal casi perfecta entre ambas variables. Este resultado es lógico, puesto que la acidez de los jarabes de azúcar invertido varía en forma inversa con el pH (Crowe, 2009), es decir, mientras mayor sea la cantidad de ácido añadido menor será el pH del sirope final, lo que perjudica notablemente a la salud humana. Según Duffus *et al.*, (1999) todo producto que presente un $\text{pH} \leq 2$ es considerado como corrosivo, los valores obtenidos en los experimentos

realizados oscilan entre (3 y 2,13); dichos valores se encuentran bajo el límite máximo permisible por varias normas internacionales y muy cercanos al límite de corrosión, lo cual puede ocasionar daños a la salud del ser humano, tales como enfermedades estomacales, gastritis, entre otras. Es por esto que es necesaria la posibilidad de disminuir la dosis de ácido cítrico añadida en el proceso productivo de sirope Juventi.

Para observar si existen diferencias significativas entre los grupos estudiados se realiza un análisis de varianza, la Tabla 3.14 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 3.14. Análisis de varianza

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F- razón	P- valor
Inter-grupos	0,829	6	0,138	30,15	0,009
Intra-grupos	0,014	3	0,004	-	-
Total	0,843	9			

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la Tabla 3.14 el P-valor es menor que el nivel de confianza (0,05), por lo que existe diferencia significativa entre las variables, lo cual concuerda con la bibliografía consultada, a medida que aumenta la cantidad de ácido disminuye considerablemente el pH, para confirmar dichos resultados se realiza la prueba Duncan (Tabla 3.15).

Tabla 3.15. Resultados de la prueba Duncan

Ácido cítrico (g)	pH	Grupos homogéneos
3,774	2,13	X
3,237	2,15	X
2,696	2,17	XX
2,156	2,32	XX
1,617	2,43	XX
1,078	2,68	XX
0,539	2,93	X

Según muestra la Tabla 3.15 se reafirman los resultados del análisis de varianza, además se comprueba que no existe concordancia entre los grupos

3.3.4 Análisis de la determinación gravimétrica de los sólidos insolubles.

La Tabla de los resultados se muestra en el Anexo 11 y se realizan los gráficos de dispersión correspondientes que se muestran en las Figuras 3.6 y 3.7.

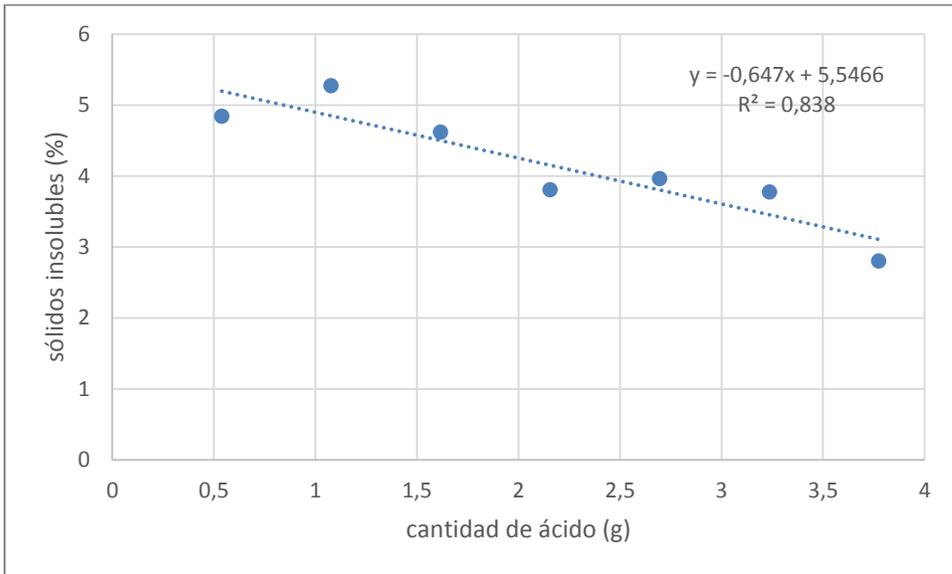


Figura 3.6. Comportamiento de los sólidos insolubles en las muestras que no presentan jarabe de fructuosa.

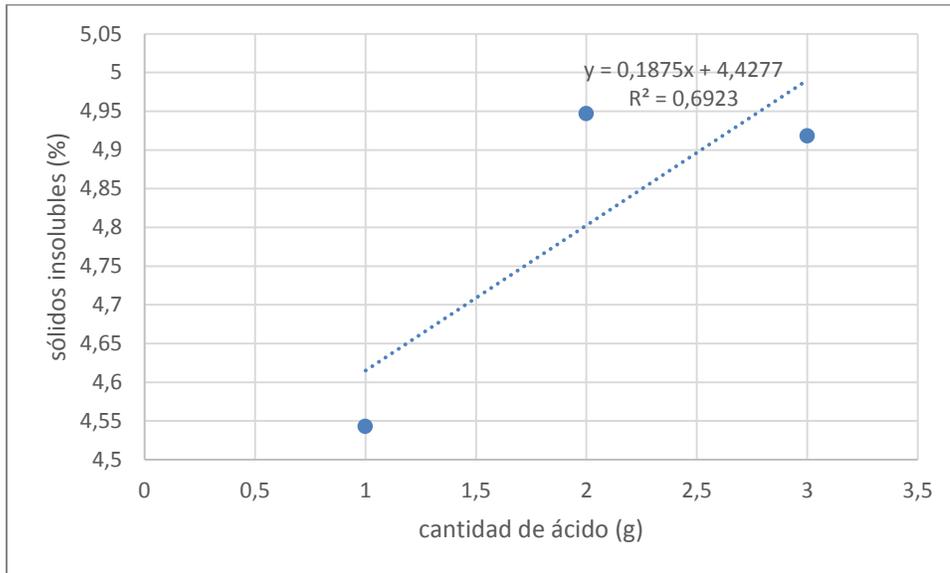


Figura 3.7. Comportamiento de los sólidos insolubles en las muestras que presentan jarabe de fructuosa.

Al analizar las Figuras 3.6 se observa un coeficiente de correlación cercano a la unidad por lo cual se puede afirmar que existe correlación entre las variables, mientras que en la Figura 3.7 no ocurre de esta forma, sino que existe una tendencia a que aumente la cantidad de sólidos insolubles con el aumento de la dosis de ácido cítrico, esto ocurre porque algunos sólidos insolubles se convirtieron en solubles con el paso del tiempo.

Se realiza además un análisis de varianza que se muestra en la Tabla 3.16 y se emplea el método Duncan para corroborar que el modelo obtenido se corresponde con la realidad, los resultados se muestran en la Tabla 3.17.

Tabla 3.16. Análisis de varianza

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F- razón	P- valor
Inter-grupos	4,919	6	0,819	17,34	0,0198
Intra-grupos	0,142	3	0,047	-	-
Total	5,061	9			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.17. Resultados del método Duncan

Ácido cítrico (g)	Sólidos. Insolubles (%)	Grupos homogéneos
3,774	2,799	X
3,237	3,771	X
2,156	3,802	X
2,696	3,963	XX
0,539	4,692	XX
1,617	4,7665	XX
1,078	5,1075	X

Al analizar dichas tablas se observa que hay diferencia significativa entre los grupos estudiado, esto puede estar dado por lo explicado anteriormente.

3.3.5. Análisis de la calidad sensorial de los principales atributos de las muestras preparadas.

Siguiendo la metodología descrita en el epígrafe 2.10 para el análisis sensorial de las muestras preparadas se tiene que, las mismas presentan un olor y una apariencia característica teniendo en cuenta la materia prima utilizada (azúcar refino B y jarabe de fructuosa).

Con respecto al sabor, luego de aplicar el método de Kendall, cuyos resultados se muestran los resultados en la Tabla 3.18.

Tabla 3.18. Resultados obtenidos al aplicar encuesta a los expertos.

K	Característica	Criterio de los expertos							Ri	Δ	Δ ²	Ki
		1	2	3	4	5	6	7				
1	0,539 g de ácido cítrico.	7	6	7	6	4	7	7	44	16	256	0,22
2	1,078 g de ácido cítrico.	6	5	6	7	5	6	4	39	11	121	0,20
3	1,617 g de ácido cítrico.	5	7	5	5	6	4	6	38	10	100	0,19
4	2,156 g de ácido cítrico.	4	4	4	4	7	5	5	33	5	25	0,17
5	2,696 g de ácido cítrico.	3	2	3	3	3	3	3	20	-8	64	0,10
6	3,237 g de ácido cítrico.	2	3	2	1	2	2	2	14	-14	196	0,07
7	3,774 g de ácido cítrico.	1	1	1	2	1	1	1	8	-20	400	0,04
									196		1162	1

Fuente: Elaboración propia

Del procesamiento de los datos se obtiene el coeficiente de Kendall

$$W = \frac{12 \times 1162}{7^2 \times (7^3 - 7)} = 0,847$$

Es importante destacar que al tomar el coeficiente de Kendall un valor superior a 0,5 (en este caso $W=0,847$) queda demostrado que existe concordancia entre los expertos y que por tanto sus resultados son válidos.

Como se explica en el epígrafe 2.10, este método se utiliza dada la necesidad de determinar que muestra tiene un sabor más agradable al paladar de acuerdo al criterio de los expertos, y de esta forma evaluar la posibilidad de disminuir la

cantidad de ácido cítrico que se añade en la elaboración del sirope Juventi. Puesto que dicho ácido ocasiona daños a la salud humana, a continuación se ofrece la ubicación en el mismo orden de importancia que lo determinaron los expertos:

Muestra 1 con 0,539 g de ácido cítrico.

Muestra 2 con 1,078 g de ácido cítrico.

Muestra 3 con 1,617g de ácido cítrico.

Muestra 4 con 2,156 g de ácido cítrico.

Muestra 5 con 2,696 g de ácido cítrico.

Muestra 6 con 3,237 g de ácido cítrico.

Muestra 7 con 3, 774 g de ácido cítrico.

Se repite el mismo procedimiento para las muestras que fueron elaboradas con jarabe de fructuosa los resultados se muestran en la Tabla 3.19.

Tabla 3.19. Resultados obtenidos al aplicar encuesta a los expertos.

K	Característica	Criterio de los expertos							Ri	Δ	Δ^2	Ki
		1	2	3	4	5	6	7				
1	A+F 0,539 g de ácido cítrico.	2	3	3	3	3	3	2	19	5	25	0,45
2	A+F 1,078 g de ácido cítrico.	3	2	2	2	2	1	3	15	1	1	0,36
3	A+F 1,617 g de ácido cítrico.	1	1	1	1	1	2	1	8	-6	36	0,09
									42		62	1

Fuente: Elaboración propia

Del procesamiento de los datos se obtiene el coeficiente de Kendall

$$W = \frac{12 \times 62}{7^2 \times (3^3 - 3)} = 0,633$$

Como se observa en coeficiente de Kendall es mayor que 0,5 ($W=0,633$) por lo que existe concordancia entre los expertos y que por tanto sus resultados son válidos, a continuación se ofrece la ubicación en el mismo orden de importancia que lo determinaron los expertos:

Muestra 1 de jarabe de fructuosa con 0,539 g de ácido cítrico.

Muestra 2 de jarabe de fructuosa con 1,078 g de ácido cítrico.

Muestra 3 de jarabe de fructuosa con 1,617 g de ácido cítrico.

En ambos casos la muestra número uno es la de mayor importancia para los expertos, lo cual es favorable, ya que se puede disminuir la cantidad de ácido cítrico que se adiciona en el proceso, puesto que con esta cantidad (0, 539 g) se logra el objetivo de este en la obtención de dicho sirope, lo cual tiene como ventaja el ahorro de ácido cítrico y un mejor sabor en el producto final.

3.4. Valoración económica de la cantidad de ácido añadida en el proceso.

Como se demostró en el método de Kendall, la muestra seleccionada por los expertos como la mejor fue la número uno preparada con azúcar refino B y que contiene la menor cantidad de ácido. Se puede decir que disminuir la dosis de este último traería beneficios tanto para la industria como para el consumidor.

Producto	Precio unitario
Ácido cítrico	11 cuc/kg
Sirope Juventi	10 \$/ L

Para producir alrededor 1035 L de sirope añadiendo 7 kg de ácido cítrico tenemos que existe una inversión económica en ácido cítrico de 77 cuc, por otro lado si se disminuye la cantidad de ácido a 1 o 2 kg tendríamos un valor de inversión inicial de 11 o 22 cuc respectivamente, lo cual es favorable desde el punto de vista económico pues se obtendría mayores ganancias para la industria. Al disminuir la cantidad de ácido de 7 kg a 1 kg la institución ahorraría 66 cuc/ templa, sin dejar de mencionar que una dosis más moderada de ácido cítrico tendría menos repercusión en la salud del ser humano.

3.5. Conclusiones parciales.

Luego de realizar todos los experimentos previstos y analizar los resultados que los mismos arrojaron podemos concluir que:

- 1- A partir de los balances de energía realizados, se observa que existe un mayor consumo de vapor en la etapa de calentamiento del agua con respecto a la de elaboración de la disolución azucarada, debido a la variación de temperatura en cada etapa.
- 2- El estudio estadístico realizado a la materia prima, nos permite concluir que la misma no cumple con las normas establecidas según la carta tecnológica de la industria, lo que influye en la calidad del producto final.
- 3- La cantidad de ácido cítrico en las muestras analizadas, solo influye en la concentración de azúcares reductores y en el pH de las soluciones, es decir los sólidos disueltos e insolubles no dependen de la dosis de ácido añadida.
- 4- Mediante la evaluación sensorial de todas las muestras, se determinó por el panel de expertos que la muestra con menor cantidad de ácido cítrico es la de mejor gusto al paladar.
- 5- A partir de la evaluación económica se obtuvo que con la disminución de ácido cítrico en el proceso se obtendrían ganancias en la planta productora.

CONCLUSIONES

- 1- Se realizó una caracterización de la planta de producción mediante la cual se establecieron las condiciones de operación de la misma, que sirvieron como base para la etapa de experimentación.
- 2- Mediante un análisis crítico del proceso de producción de sirope, se obtuvo como resultado que la materia prima utilizada (azúcar refino B) no cumple con los requerimientos de calidad establecidos en la carta tecnológica del proceso de producción.
- 3- Mediante el desarrollo de diferentes técnicas analíticas, se valoró la influencia de la cantidad de ácido cítrico en el proceso, lo cual conlleva a una disminución del mismo de 7 kg/ templa a 1 kg/ templa.
- 4- A partir de la valoración económica de la dosis de ácido cítrico en el proceso productivo, se determina que al disminuir dicha dosis la industria ahorraría 66 cuc por cada templa producida.

RECOMENDACIONES

1. Disminuir la cantidad de ácido cítrico en el proceso de elaboración del sirope Juventi
2. Continuar con estudios acerca de la producción del sirope para lograr la inversión de la sacarosa por vía enzimática, que ocasiona menos daños a la salud de los seres humanos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Albertini, A., Cadena, P., Silvia, J., Nascimento, G., Reis, A., Freire, V., Santos, R., Martins, J. L., Cavada, B., Neto, P., Pimentel, M., Martínez, C., Porto, A., Filho, J.V. 2012. Performance of invertase immobilized on glass–ceramic supports in batch bioreactor *Chemical Engineering Journal* 187, 341-350.
2. Kurp, A. S., Subramani, H. J. Hidajat, K. & Ray, A.K., 2005. Optimal design and operation of SMB bioreactor for sucrose inversion. *Chemical Engineering Journal* , 108, 19–33.
3. Nasef, M. M., Saidi, H. & Senna M., 2005. Hydrolysis of sucrose by radiation grafted sulfonic acid membranes. *Chemical Engineering Journal*, 108, 13–17.
4. Arauz, E. 2009. Efecto del tipo de edulcorante y el tiempo de inmersión en la deshidratación osmótica y por convección de piña (*Ananas comosus*), Proyecto de graduación del Programa de Ingeniería en Agroindustria, Valle de Yeguaré, HN. Escuela Panamericana. 21p.
5. Arvizu-Castro *et al.*, (2016). Determinación y cuantificación de azúcares totales en jarabes de sorgo dulce RB cañero y una variedad experimental. *Revista electrónica: Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Tamaulipas, México. No. 2. (Citado 10 de enero de 2018).
6. Badui, D. S. 1997. *Química de los Alimentos. Tercera edición quinta reimpresión*. Longman de México Editores, S. de C. V. Alhambra Mexicana. México, D.F. 45-117.
7. Cabrera Morales, Asdrúbal (2014). Extracción de una miel (Sirope) a partir de la planta de Agave Azul (*Agave tequilana*), como un alimento funcional. Antigua Cuscatlán. Tesis en opción al grado científico de Ingeniero en alimento. Universidad “Dr. José Matías Delgado

8. Chen, JCP. 1993. Cane Sugar Handbook: a manual for cane sugar manufacturers and their chemists. Trad. C. Alvarez y C. García. 11^o ed. México, D.F. Limusa, p.27, 28, 465-467.
9. Colectivo de autores (1999). Evaluación de riesgos químicos. Módulo de Capacitación No. 3. 63p, 64p
10. Colectivo de autores (2004). Manual de métodos analíticos para azúcar crudo. La Habana: Editorial Pueblo y Educación. 33p, 35p, 51p, 97p.
11. Colectivo de autores (2006). Manual de métodos analíticos para azúcar crudo. La Habana: Editorial Pueblo y Educación
12. Crowe A. 2009. Sugar conversiontables, making wine from sugarcane (en línea).Disponible n:<http://www.winemakermag.com/stories/wizard/article/883-sugar-conversion-tablesmaking-wine-from-sugar-cane-wine-wizard>.
13. Cunniff, P. *OfficialMethods of Analysis AOAC International*. AOAC International, Virginia, 1995. Cap. 44.
14. De Whalley, H. *Métodos ICUMSA de análisis de azúcares*. Compañía Editorial Continental, México, 1971, pp. 67, 68, 85-88, 101-105.
15. Domínguez, M. M., Álvarez Castillo, A., Castrejón Rosales, T., Granados Baeza, M. J., Hernández Campos, F. J., Alcalá Octaviano, V., & Tapia Picazo, J. C. (2015). Estudio de la cinética de la hidrólisis ácida del bagazo de caña de azúcar sin pre tratamiento para la obtención de azúcares reductores. *Departamento de IngenieríaQuímica y Bioquímica*, 153-159.
16. FDA (Food and Drugs Administration). 1993. Code of Federal Regulation: 21 CFR168.130 Sweeteners and tablessirups: CaneSyrup (en línea).Disponibleen:<http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/textidx>.
17. García, C.M. (2017) La alimentación del futuro: Nuevas Tecnologías y su importancia en la nutrición de la población. Manuales venezolanos de nutrición.
18. García, G. M., López, M. C., Quintero, R. R., 2015. *Biotecnología de alimentos*, México
19. Garrido Salazar. Karel.I (2016). El uso de placas clarificantes SA-395 y BK-1500 en el proceso de filtración de sirope, para la elaboración de refresco.

- Tesis en opción al grado de Ing Químico. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría
20. Gerena Baron, Flor María. (2016). Obtención de jarabes azucarados a partir de la hidrólisis química de residuos de cáscaras de naranja para ser empleados como endulcorantes en la industria de alimentos. Duitma. Tesis en opción al grado de Ingeniería de alimentos. Universidad Nacional abierta y a distancia "UNAD".
 21. Gonzales Hernández, Luis Humberto. "Obtención de los nutraceuticos presentes en la piña de agave tequilero mediante dilución diferencial". Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias en producción agrícola sustentable. Instituto Politécnico Nacional. Jiquilpan Michoacán.
 22. Guzmán, H.; Murillo, J. y Solís, G. *Evolución de la industria de la caña*. Universidad de Costa Rica, San José, 1977, pp. 1, 2, 45
 23. Hernández-Uribe, J., Rodríguez-Ambriz, S. & Bello-Pérez, L.(2008). Obtención de jarabe fructosado a partir de almidón de plátano (*Musa Paradisiaca* L.). Caracterización parcial. *Revista Scielo*.<http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-169-1984.PDF>. Consultado 11 de enero 2018.
 24. ICINAZ (2017).Desarrollo de plantas modulares económicas para la producción de siropes invertidos vía enzimática. La Habana.67p.
 25. James, C.P. Manual de la caña de azúcar México, limosa, 2014.
 26. Junk, W.; Pancoast, H. *Handbook of sugars*. TheAvi Publishing Company, Connecticut, 1973, pp. 238-244, 256
 27. Lancho Ruiz, Ana Celina (2015). Obtención de jarabe a partir del almidón de maíz morado *Zea maydis* L. Callao, Proyecto de investigación. Universidad Nacional del Callao.
 28. Lehninger, A. L. 2005. *Biochemistry. Second edition; eighth printing*. Worth publisher, INC; USA. 1089.
 29. León, Milena María (2015) Desarrollo y evaluación de un sirope de caña de azúcar (*Saccharumofficinarum*) con goma Xanthan y trozos de piña

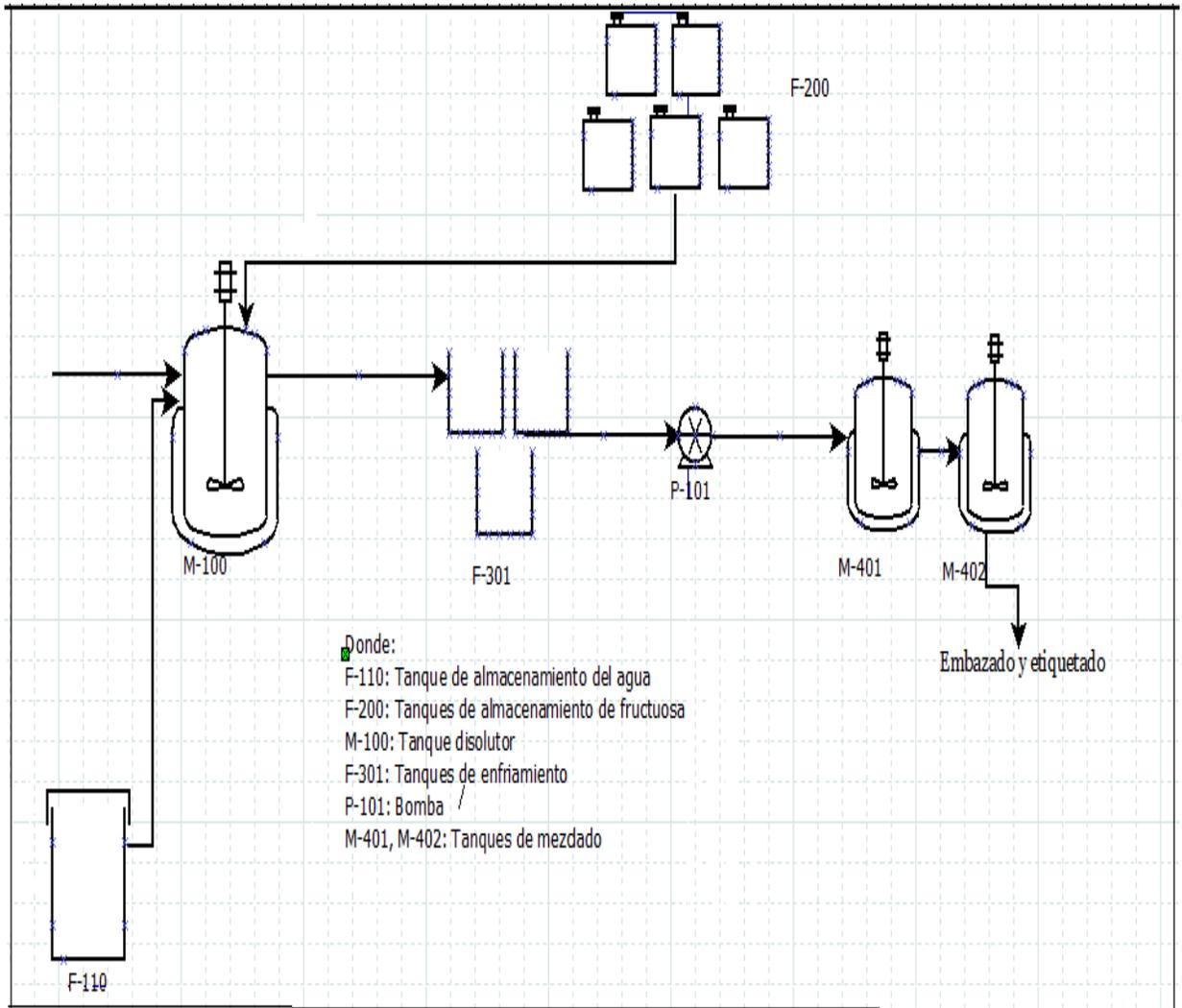
- deshidratada. Zamorano, Honduras Tesis para optar al título de Ingeniera en Agroindustria Alimentaria en el Grado Académico de Licenciatura.
30. Manuales para educación agropecuaria. Control de calidad de productos agropecuarios 1990. Editorial Trillas. Segunda edición. México, D.F. [citado 23 de abril de 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/72701107/Tablas-de-Grados-Brix>.
 31. Meader, G.P. *Manual del azúcar de caña*. Montaner y Simón S.A. Barcelona, 1967, pp. 13, 27, 28, 510, 511, 515, 519-523, 531.
 32. Mejía Giraldo, L. F., Martínez Correa, H. A., Betancourt Gutiérrez, J. E., y Castrillon Castaño, C. E. (2007). Aprovechamiento de Residuo agroindustrial del mango común (*Mangifera indica* L.) en la obtención de azúcares fermentables. *Ingeniería y Ciencia*, ISSN 1794-9165, Volumen 3, número 6, Diciembre de 2007, pag. 41-62.
 33. Mellado, Erika; López, Mercedes (2013). Análisis comparativo entre jarabe de agave azul (*Agave tequilana* Weber var. azul) y otros jarabes naturales. *Revista electrónica Agrociencia*. No 3. Texcoco. Citado 11 de enero 2018). Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30226978003>.
 34. Méndez, Carmen. (2014). Desarrollo de biocatalizadores termoestables basado en la invertasa de *thermotoga marítima* para la hidrólisis total de la azúcar de caña. *Revista Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*. La Habana CEPES, Vol. 4, No.2, p.3-4.
 35. Molina Montoya, Rony (2015). Análisis de la pérdida de jarabe terminado en la producción de bebidas carbonatadas con mayor índice de merma en una embotelladora. San José 120 h. Tesis en opción al grado de licenciatura en Ingeniería Química. Universidad de Costa Rica
 36. NC 83: 2017. Determinación de la polarización del azúcar mediante la polarimetría- oficial. Vig. Marzo 2017.
 37. NC 85 2018. Azúcar crudo de caña. Especificaciones. Vig. Febrero 2018
 38. NMX-2008, Norma Mexicana (2008) que establece las especificaciones del producto denominado jarabe de agave elaborado con *A. tequilana* Weber.

- Var. azul. Especificaciones y métodos de prueba. NMX-FF-110-SCFI-2008. Diario Oficial 22 de abril del 2009. México.
39. NMX-F-169-1984. Alimentos para humanos. Jarabes. Foodsforhumans. Syrups. Normas mexicanas. Dirección general de normas.
 40. NRMN^o 684-2015/MINSA. Norma Técnica Sanitaria aplicable a los azúcares y jarabes destinados al consumo humano. Vig septiembre 2015.
 41. Proc. 20th Session ICUMSA, 1990, 266.
 42. Quezada, S.M. & Hernández-Peñaranda, A. (2012) Producción de jarabe de fructuosa con encimas inmovilizadas en un proceso continuo a partir de tiquisque (*Xanthosomasagittifolium*). Costa Rica: Ciencia y tecnología, Vol 28.
 43. Rivera, M, *et.al.* (2016). Caracterización fisicoquímica de los siropes comerciales preparados a base de sacarosa. *Revista electrónica Tecnología en marcha*. No 4. Costa Rica. (Citado 10 de enero de 2018)
 44. Rodríguez Hernández, Rogel Alejandro (2016). Propuesta tecnológica para la obtención de glucosa por hidrólisis enzimática a partir del azúcar refino. Santa Clara. Tesis en opción al grado científico a Ingeniero Químico. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
 45. Sánchez, V; Concha, V; Prieto, LF; Carranza, J (2016). Encapulación del jarabe de agave. *Revista electrónica Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. No 1. Zacatecas. (Citado 10 de enero 2018).
 46. Smith, B. *Codex Alimentarius*. Texto abreviado. FAO/OMS, Roma, 1992, pp. 5.2-5.4
 47. Snyder, L y Glajch J. *Practical HPLC Method Development*, John Wiley and Sons, New York, 1997, pp. 69, 71-76, 80, 208-210, 227-239.
 48. Solís-Fuentes J., Calleja, Z.K. & Duran, B.M. Desarrollo de jarabes fructuosados de caña de azúcar a partir del guarapo. Xalapa, Veracruz: Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana, volumen 25, 2010. Vol 33, No.5. (Consultado 10 de enero 2018).
 49. Wood, I., Adam Elñiston A., Ryden, P., Bancroft, I., Roberts, I., Waldron, K. (2012). Rapid quantification of reducing sugars in biomass hydrolysates:

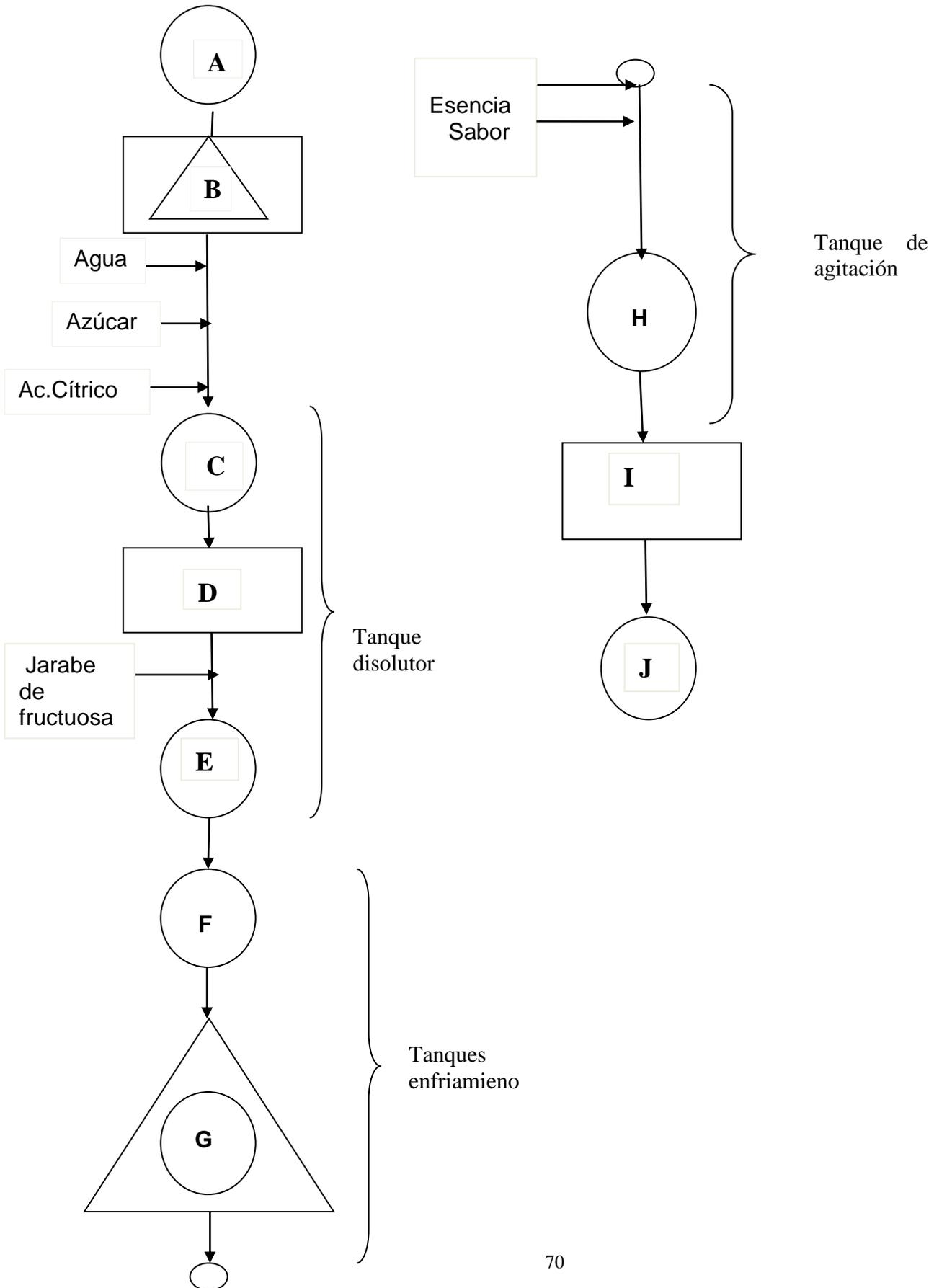
Improving the speed and precision of the dinitrosalicylic acid assay .Biomass and Bioenergy, 44, 117-121.

ANEXOS

Anexo 1: Diagrama de flujo del proceso de producción del sirope.



Anexo 2. Diagrama de etapas.



Donde:

A: Recepción de la materia prima (Jarabe de fructuosa, Azúcar refino B).

B: Almacenamiento y control de calidad a la materia prima.

- Jarabe de fructuosa (Bx: 68-72; pH: 3-3,5)
- Azúcar refino B (Pureza: 99,9 %; Humedad mxm: 0,08 %; Color ICUMSA 300).

C: Mezclado y calentamiento.

- H₂O: (aproximadamente 463,7 L hasta una temperatura de 90°C)
- Azúcar refino B: (19 sacos de 50 kg cada uno)
- Ácido cítrico: (7 g/L).

Calentar hasta una temperatura de 85°C con agitación mecánica.

D: Control de la calidad.

- (Bx: 68-72, pH: 2,8-3-2)

E: Mezclado

- Disolución azucarada
- Jarabe de fructuosa: (331,01 L aproximadamente)

F: Filtrado

- Tamiz de mallas finas (100×100)

G: Almacenamiento y enfriamiento

- Temperatura (43-45°C)

.H: Homogenización de la mezcla

- Adición de la esencia y el color según sabor

I: Control de calidad del producto terminado.

- Bx: 68-72
- pH: 2,8-3.2
- viscosidad: 150- 190 cP
- acidez: 0,20-0,60
- requisitos organolépticos: (aspecto, color y olor)
- Requisitos microbiológicos
- Prueba de degustación

J: Envase, tapado y etiquetado.

Anexo 3: Grados Brix-Índice de refracción-Gramos de azúcar por litros de agua

°BRIX (POR CIENTO EN AZÚCAR)	ÍNDICE DE REFRACCIÓN	GRAMOS DE AZÚCAR POR LITRO DE AGUA
10	1.3478	111
15	1.3557	176
20	1.3638	249
25	1.3723	332
30	1.3811	427
35	1.3902	537
40	1.3997	665
45	1.4096	816
50	1.4200	997
52	1.4242	1080
54	1.4285	1171
56	1.4329	1269
58	1.4373	1377
60	1.4418	1496
61	1.4441	1560
62	1.4464	1627
63	1.4486	1698
64	1.4509	1773
65	1.4532	1852
66	1.4555	1936
67	1.4579	2025
68	1.4603	2120
69	1.4627	2221
70	1.4651	2328
72	1.4701	2565
74	1.4751	2839
76	1.4801	3156
78	1.4852	3535

Fuente: Manuales para educación agropecuaria. Control de calidad de productos agropecuarios, (1990).

Anexo 4: Corrección para lecturas, con areómetros Brix, de soluciones de sacarosa en función de la temperatura

T (°C)	Concentración de sacarosa (fracción de masa)												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
0	-0.29	-0.42	-0.55	-0.68	-0.79	-0.90	-0.99	-1.08	-1.16	-1.23	-1.30	-1.35	-1.39
5	-0.35	-0.44	-0.53	-0.61	-0.69	-0.76	-0.82	-0.88	-0.93	-0.98	-1.02	-1.05	-1.08
10	-0.32	-0.37	-0.42	-0.47	-0.52	-0.56	-0.59	-0.63	-0.66	-0.68	-0.71	-0.72	-0.74
15	-0.20	-0.22	-0.24	-0.27	-0.28	-0.30	-0.32	-0.33	-0.35	-0.36	-0.37	-0.37	-0.38
16	-0.17	-0.18	-0.20	-0.22	-0.23	-0.25	-0.26	-0.27	-0.28	-0.29	-0.29	-0.30	-0.30
17	-0.13	-0.14	-0.15	-0.17	-0.18	-0.19	-0.20	-0.20	-0.21	-0.22	-0.22	-0.23	-0.23
18	-0.09	-0.10	-0.11	-0.11	-0.12	-0.13	-0.13	-0.14	-0.14	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15
19	-0.05	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06	-0.06	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.08	-0.08
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08
22	0.10	0.11	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16
23	0.15	0.17	0.18	0.19	0.19	0.20	0.21	0.22	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23
24	0.21	0.22	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.30	0.31	0.31	0.31
25	0.27	0.29	0.30	0.32	0.33	0.35	0.36	0.37	0.37	0.38	0.39	0.39	0.39
26	0.33	0.35	0.37	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.47	0.47
27	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.49	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.55	0.55
28	0.46	0.49	0.51	0.53	0.55	0.57	0.59	0.60	0.61	0.62	0.63	0.63	0.64
29	0.53	0.56	0.59	0.61	0.63	0.65	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.72	0.72
30	0.60	0.63	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.76	0.78	0.79	0.80	0.80	0.80

FUENTE: PROC. 20TH SESSION ICUMSA, 1990).

Anexo 5: Parámetros de calidad del sirope en el mes de enero.

sabor	°Bx	viscosidad	pH
fresa	70,05	190	2,97
fresa	69,73	180	3,28
fresa	70,62	190	3,26
fresa	71,01	185	3,38
fresa	68,53	165	3,42
fresa	69,57	180	3,02
fresa	69,22	170	2,93
fresa	70	180	3,1
fresa	70,5	175	3,69
cola	69,57	180	3,41
cola	70,13	180	3,25
cola	70,02	180	3,64
cola	70,99	190	3,8
cola	70,72	150	3,71
cola	69,57	180	3,41
cola	70,13	180	3,25
cola	70,02	180	3,64
naranja	69,41	180	3,19
naranja	71,21	190	3,25
naranja	69,72	175	3,2
naranja	71,69	190	3,35
naranja	70,97	150	3,01
naranja	69,41	180	3,19
naranja	71,21	190	3,25
naranja	69,72	175	3,2

Anexo 6: Parámetros de calidad del sirope del mes de febrero.

sabor	°Bx	viscosidad	pH
fresa	71,31	165	3,29
fresa	71,88	240	3,03
fresa	70,22	180	3,12
fresa	69,53	160	3,35
fresa	71,84	235	3,04
fresa	70,22	235	3,04
fresa	70,37	180	3,16
fresa	70,5	175	3,65
fresa	70,52	175	3
cola	69,33	150	3,6
cola	69,32	150	3,51
cola	70,73	200	3,62
cola	70,17	180	3,4
cola	70,05	190	3,5
cola	70,39	180	3,5
cola	70,23	170	3,7
cola	70,7	175	3,15
cola	70,52	175	2,79
naranja	70,81	150	3,01
naranja	69,92	150	3,02
naranja	70,81	180	3,14
naranja	70,82	160	3,12
naranja	70,02	150	2,98
naranja	69,05	170	2,82
naranja	71,7	178	3
naranja	69,65	165	2,81
naranja	71,22	180	3,14

Anexo 7: Parámetros de calidad del sirope del mes de marzo.

sabor	°Bx	Viscosidad	pH
fresa	70,22	180	3,12
fresa	69,53	160	3,35
fresa	71,84	235	3,04
fresa	68,53	165	3,42
fresa	69,57	180	3,02
fresa	69,22	170	2,93
fresa	71,31	190	3,26
fresa	71,88	185	3,38
fresa	70,05	175	3
cola	70,51	174	2,78
cola	70,72	150	3,71
cola	69,57	180	3,41
cola	70,13	180	3,25
cola	70,02	180	3,64
cola	70,23	170	3,7
cola	70,7	175	3,15
cola	70,52	175	2,79
cola	70,51	170	3,15
naranja	69,65	165	2,81
naranja	71,22	180	3,14
naranja	70,82	160	3,12
naranja	70,02	150	2,98
naranja	68,43	180	3,3
naranja	71,21	190	3,25
naranja	70,81	150	3,01
naranja	69,92	150	3,02
naranja	69,92	150	3,02
naranja	70,81	180	3,14

Anexo 8: Datos de temperaturas y presión de vapor.

23/03/2018		24/03/2018	
Temperatura (°C)	Presión de vapor (lbf/pulg ²)	Temperatura (°C)	Presión de vapor (lbf/pulg ²)
21	100	22	100
30	99	31	99
41	98	40	98
50	98	53	97
59	97	58	97
70	95	69	95
82	93	82	93
94	91	85	90
50	85	52	85
62	83	64	81
75	80	73	78
78	79	78	77
83	78	82	74
85	75	85	72

Anexo 9: Resultados de la influencia del ácido en los azúcares reductores

Muestras (cant de ácido en g)	Concentración de Azúcares reductores (g/L)
1-(0,539)	449,84
2-(1,078)	1348,36
3-(1,617)	922,84
4-(2,156)	1243,3
5-(2,696)	2356,24
6-(3,237)	4712,48
7-(3,774)	5799,48
1AF-(0,539)	1249,84
2AF-(1,078)	1915,32
3AF-(1,617)	2194,96

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 10: Resultados de medición de pH

Muestras(cant de ácido en g)	pH
1-(0,539)	3,00
2-(1,078)	2,71
3-(1,617)	2,44
4-(2,156)	2,32
5-(2,696)	2,17
6-(3,237)	2,15
7-(3,774)	2,13
1 AF-(0,539)	2,85
2AF-(1,078)	2,64
3AF-(1,617)	2,43

Fuente: Elaboración propia

Anexo 11: Resultados de sólidos insolubles.

Muestras	Sólidos insolubles (%)
1-(0,539)	4,841
2-(1,078)	5,268
3-(1,617)	4,615
4-(2,156)	3,802
5-(2,696)	3,963
6-(3,237)	3,771
7-(3,774)	2,799
1 AF-(0,539)	4,543
2AF-(1,078)	4,947
3AF-(1,617)	4,918

Fuente: Elaboración propia.