

**DESARROLLO DE UN ENDULZANTE NATURAL A BASE DE YACÓN  
(*SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS*) DIRIGIDO A PERSONAS CON LIMITACIONES  
EN LA INGESTA DE AZÚCAR CONVENCIONAL Y PROPUESTA PARA SU  
PROCESO DE PRODUCCIÓN**

**DIANA CRISTINA OLARTE PARDO  
JULIANA ROJAS OTÁLORA**

**Proyecto de grado para optar por el título de  
INGENIERO QUÍMICO**

**Director  
Jorge Alejandro de Pedro  
Ingeniero Químico**

**Codirector  
Adriana Suesca Díaz  
Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
JUNIO 2022**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

Director  
Firma del director

---

Jurado  
Firma del jurado

---

Jurado 2  
Firma del jurado

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana Facultad de Ingenierías

Ing. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director de Ingeniería Química

Dra. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## **DEDICATORIA**

A Dios primeramente dedico este logro, pues es quien tiene en sus manos mi camino y quien me ha traído hasta aquí. En segunda instancia dedico este trabajo a mi familia, a mis padres Cristina Paro y Fabio José Olarte, que con su amor y constancia me han apoyado para llegar a mis metas y demostrar mi valor en ellas; a Juan David Olarte, mi hermano que incondicionalmente camina junto a mí y ha sido mi pilar en los momentos más retadores de la carrera, en donde me ha mostrado que, con disciplina y esfuerzo, todo se puede lograr. Dedico también el resultado y el esfuerzo de este proyecto, a mi amiga y compañera Juliana Rojas, a quién pude conocer mucho más y con quien pude entenderme de la mejor manera para finalizar este trabajo, la llevo en mi corazón siempre.

Finalmente, pero no menos importante dedico este trabajo a los estudiantes, investigadores y académicos que con su trabajo y vasto conocimiento, fueron esencial guía para haberlo llevado a cabo, así mismo espero que este documento también pueda ser de gran utilidad para futuras investigaciones.

Diana Cristina Olarte Pardo

Dedico este proyecto de grado a quienes han estado siempre conmigo y han caminado junto a mí a lo largo de todo este proceso. Principalmente a mis padres Julio Cesar y Norma Cristina por todo su esfuerzo, amor y apoyo incondicional; pues por ustedes llegue hasta aquí, a mi hermano Santiago porque su ser me inspira todos los días y a mi abuelita Flordelina por todo su amor y por hacer hasta lo inimaginable por mí. La vida no me alcanza para agradecerles todo lo que han hecho, pero este es el inicio.

Adicionalmente a Carlos Hernández por estar siempre y apoyarme en cada paso de la vida, a Sebastián Velandia por su amor, apoyo y compañía y finalmente a Diana Olarte por su amistad y su cariño, adicional de todo su esfuerzo que puso en este proyecto, pues sin ella no habría sido una experiencia tan amena.

A ustedes; las personas más importantes en mi vida les dedico este logro con todo mi amor, esperando que sea el primero de muchos.

Juliana Rojas Otálora

## **AGRADECIMIENTOS.**

Queremos agradecer en primera instancia a Dios por permitirnos desarrollar este proyecto y por guiarnos en cada decisión tomada del mismo. Agradecemos a nuestras familias por acompañarnos y por brindarnos su apoyo permanente, pues ellos nos han dado todos los medios posibles para llegar hasta aquí y poder adquirir el conocimiento necesario. Especialmente queremos agradecer a la ingeniera Adriana Suesca, que desde el primer momento mostró interés, nos aconsejó y guio profesionalmente para mostrar un trabajo destacable y único; también realizamos una mención a los docentes de la Universidad de América que nos brindaron su conocimiento adquirido por años. Finalmente, agradecemos a nuestros amigos por hacer nuestro paso por la universidad una experiencia increíble y por brindarnos su apoyo incondicional durante estos cinco años.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	10
OBJETIVOS	12
1. MARCO TEÓRICO	13
1.1 Diabetes en Colombia	13
1.2 Obesidad en Colombia	14
1.3 Edulcorante	15
1.4 Yacón	17
1.5 Fructooligosacáridos	19
1.6. Marco legal	20
2. Caracterización del Yacón	23
2.1 Botánica	23
2.2 Morfología	23
2.3 Hojas	24
2.4 Tallos	24
2.5 Inflorescencia	25
2.6 Fruto	25
2.7 Raíces	25
2.8 Yacón en Colombia	26
2.8.1 Condiciones óptimas de cultivo	27
2.9 Caracterización de las propiedades medicinales del Yacón ( <i>Smallanthus Sonchifolius</i> )	28
2.10 Caracterización de las propiedades nutricionales del Yacón ( <i>Smallanthus Sonchifolius</i> )	32
3. Procesos experimentales de producción de edulcorantes a escala industrial	36
3.1 Pretratamiento de materia prima en producción de edulcorantes a escala industrial	36
3.1.1 Hidrólisis enzimática	36
3.1.2 Hidrólisis química	36
3.1.3 Tratamiento de materia prima en producción de edulcorantes a escala industrial	37
3.1.4 Secado por aspersión	38
3.1.5 Liofilización	39
3.1.6 Evaporación y concentración	41
3.1.7 Ultrasonido	42

3.1.8	Extracción de fructanos y fructooligosacáridos.	43
3.2	Selección del proceso de producción de edulcorante líquido más adecuado a nivel industrial	45
3.2.1	Matriz de decisión ponderada: proceso de producción	45
3.3	Proceso de obtención del jarabe de Yacón ( <i>Smallanthus Sonchifolius</i> )	51
3.3.1	Selección de la materia prima	52
3.3.2	Eliminación de impurezas presentes en la corteza	53
3.3.3	Lavado	53
3.3.4	Ecurrido	53
3.3.5	Pelado	53
3.3.6	Cortado	54
3.3.7	Extracción	54
3.3.8	Filtrado 1	55
3.3.9	Acondicionamiento del zumo	55
3.3.10	Concentración	55
3.3.11	Filtrado 2	56
3.3.12	Envasado	56
4.	PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL JARABE DE YACÓN ( <i>SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS</i> ) A NIVEL ARTESANAL	61
4.1	Equipos	61
4.2	Insumos	65
4.3	Condiciones experimentales de operación del proceso	65
4.4	Descripción del proceso	66
4.5	Balance de masa	68
4.5.1	Balance por equipos	69
4.5.2	Balance Global de Materia de Proceso	78
4.5.3	Balance de masa teórico	80
4.5.4	Eficiencia	81
4.6	Balance energético	82
5.	COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES BENEFICIOS Y PROPIEDADES NUTRICIONALES, QUE PRESENTA EL ENDULZANTE OBTENIDO DEL YACÓN ( <i>SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS</i> ) RESPECTO AL AZÚCAR CONVENCIONAL Y OTROS ENDULZANTES	88
5.1	Azúcar convencional y los endulzantes alternativos	88
5.1.1	Sacarosa	88
5.1.2	Edulcorantes alternativos	91



5.2	Caracterización del jarabe artesanal de Yacón ( <i>Smallanthus Sonchifolius</i> )	96
5.2.1	Investigación exploratoria sensorial	96
5.2.2	Caracterización Fisicoquímica del Jarabe	109
5.3	Análisis comparativo de las propiedades y beneficios del edulcorante de yacón con base teórica, edulcorantes tradicionales	117
	CONCLUSIONES	120
	RECOMENDACIONES	123
	BIBLIOGRAFÍA	125
	ANEXOS	131

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Raíz de yacón <i>Smallanthus Sonchifolius</i> .	18
Figura 2. Yacón.	19
Figura 3. Yacón ( <i>Smallanthus Sonchifolius</i> ) aspectos morfológicos.	24
Figura 4. Diagrama de proceso de secado por aspersión.	39
Figura 5. Diagrama de proceso de liofilización.	40
Figura 6. Diagrama de procesos de evaporación y concentración.	41
Figura 7. Diagrama de proceso de extracción por ultrasonido.	43
Figura 8. Diagrama de proceso de extracción de fructooligosacáridos.	45
Figura 9. Diagrama de bloques del pretratamiento artesanal.	57
Figura 10. Diagrama de bloques del proceso de producción.	58
Figura 11. Diagrama BFD del proceso de producción de jarabe de Yacón.	59
Figura 12. Banda transportadora PFD elaboración jarabe de yacón.	70
Figura 13. Tanque de lavado PFD elaboración jarabe de yacón.	70
Figura 14. Bandeja de secado PFD elaboración jarabe de yacón.	71
Figura 15. Equipo de pelado PFD elaboración jarabe de yacón.	71
Figura 16. Equipo de cortado PFD elaboración jarabe de yacón.	72
Figura 17. Extractor PFD elaboración jarabe de yacón.	72
Figura 18. Tratamiento térmico PFD elaboración jarabe de yacón.	73
Figura 19. Filtro I PFD elaboración jarabe de yacón.	73
Figura 20. Evaporador I PFD elaboración jarabe de yacón.	74
Figura 21. Filtro II PFD elaboración jarabe de yacón.	74
Figura 22. Evaporador II PFD elaboración jarabe de yacón.	75
Figura 23. Filtro III PFD elaboración jarabe de yacón.	76
Figura 24. Pre- envasado PFD elaboración jarabe de yacón.	76
Figura 25. Envasado PFD elaboración jarabe de yacón.	77
Figura 26. Diagrama PFD elaboración jarabe de yacón.	78
Figura 27. Esquema volumen de control de proceso de producción de edulcorante de yacón.	79
Figura 28. Destino metabólico de la sacarosa en situación de hiperglucemia.	90
Figura 29. Diagrama de torta datos obtenidos análisis exploratorio sensorial: color.	102
Figura 30. Diagrama de torta datos obtenidos análisis exploratorio sensorial: olor.	103
Figura 31. Diagrama de torta datos obtenidos análisis exploratorio sensorial: sabor.	103
Figura 32. Diagrama de torta datos obtenidos análisis exploratorio sensorial: dulzor.	104
Figura 33. Diagrama de torta datos obtenidos análisis exploratorio sensorial: viscosidad.	104
Figura 34. Diagrama de torta datos obtenidos análisis exploratorio sensorial: sólidos presentes en el jarabe.	105
Figura 35. Diagrama de torta datos obtenidos análisis exploratorio sensorial: gusto por el producto	105
Figura 36. Diagrama de torta datos obtenidos análisis exploratorio sensorial: adición del edulcorante de yacón a la dieta diaria.	106
Figura 37. Diagrama de torta datos obtenidos análisis exploratorio sensorial: Recomendación del edulcorante de yacón a otras personas.	106
Figura 38. Diagrama de red análisis exploratorio sensorial: datos con la misma escala de ponderación	107

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características de los endulzantes artificiales.	16
Tabla 2. Efectos tóxicos de los endulzantes artificiales.	17
Tabla 3. Condiciones óptimas de cultivo para el yacón.	22
Tabla 4. Composición nutricional del yacón.	27
Tabla 5. Análisis químico de la raíz del yacón.	33
Tabla 6. Análisis de propiedades del ñame y la arracacha.	34
Tabla 7. Valores de referencia de calificación para la matriz ponderada de decisión.	35
Tabla 8. Matriz de selección ponderada: proceso de elaboración de edulcorante.	46
Tabla 9. Puntajes obtenidos por proceso para análisis de decisión: criterio optimista.	49
Tabla 10. Equipos implementados en el proceso de producción del jarabe de yacón.	50
Tabla 11. Condiciones de operación proceso de elaboración de jarabe de yacón.	64
Tabla 12. Numeración de corrientes, sustancias involucradas en las mismas y su estado	66
Tabla 13. Valores de constantes y variables del proceso artesanal para balance energético.	69
Tabla 14. Tipos de edulcorantes alternativos en el mercado.	82
Tabla 15. Clasificación de edulcorantes alternativos.	92
Tabla 16. Valores de comparación de factores nutricionales y organolépticas de endulzantes alternativos.	93
Tabla 17. Regulación de edulcorantes en Colombia.	94
Tabla 18. Ponderación análisis exploratorio sensorial	101
Tabla 19. Ponderación análisis exploratorio sensorial II.	101
Tabla 20. Datos obtenidos de grados brix en pruebas de laboratorio.	110
Tabla 21. Datos de turbidez obtenidos en pruebas de laboratorio.	111
Tabla 22. Datos de peso y volumen necesarios para cálculo de densidades.	112
Tabla 23. Densidades obtenidas.	113
Tabla 24. Datos de pH obtenidos en pruebas de laboratorio.	114
Tabla 25. Tabla de pesos necesarios para el cálculo de cenizas totales.	115
Tabla 26. Comparación valores experimentales obtenidos y valores teóricos del jarabe de yacón.	117
Tabla 27. Comparación valores experimentales obtenidos y valores teóricos del sirope para pancakes.	118
Tabla 28. Comparación valores experimentales obtenidos y valores teóricos de la miel de abejas	118

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Diagrama BFD de elaboración de edulcorante por medio artesanal.	133
ANEXO 2. Diagrama PFD elaboración de edulcorante por medio artesanal	134
ANEXO 3. Balance de materia y variables del proceso artesanal por corrientes.	135
ANEXO 4. Esquema encuesta de análisis organoléptico sensorial con panel no entrenado	136

## LISTA DE ABREVIATURAS

- NTU: Nephelometric Turbidity Unit / Unidad de Turbidez de Formacina
- AHA: American Heart Association's / Asociación Americana del Corazón
- FAO: Food and Agriculture Organization / Organización para la Agricultura y la Alimentación
- OMS: Organización Mundial de la Salud
- INVIMA: Instituto Nacional de Vigilancia en Medicamentos y Alimentos
- OMC: Organización Mundial del Comercio
- NTC: Norma Técnica Colombiana
- FOS: Fructooligosacáridos
- GLP-1: Glucagon-like peptide-1 / péptidos similares al glucagón
- IG: Índice glucémico
- VLDL: Very low-density lipoprotein / Lipoproteínas de baja densidad
- $Q_{total}$ : Calor total requerido
- $Q_{tratamiento\ térmico}$ : Calor requerido para el proceso de tratamiento térmico
- $Q_{evap.I}$ : Calor requerido para el proceso de evaporación I
- $Q_{evap.II}$ : Calor requerido para el proceso de evaporación II
- $q_{total}$ : Tasa de transferencia de calor total del proceso
- $Q_{recipiente}$ : Calor requerido para elevar la temperatura del recipiente en tratamiento térmico
- $Q_{Jugo\ yacón}$ : Calor absorbido por el jugo de yacón en el tratamiento térmico
- $Q_{Agua}$ : Calor cedido por el agua
- $Q_{Estufa}$ : Calor cedido por la estufa
- $m_{recipiente}$ : Masa del recipiente en tratamiento térmico
- $m_{agua}$ : Masa de agua tratamiento térmico
- $T_{0agua}$ : Temperatura inicial del agua
- $T_{0recipiente}$ : Temperatura inicial del recipiente
- $T_{f\ equilibrio}$ : Temperatura equilibrio tratamiento térmico
- $Cp_{agua}$ : Calor específico agua
- $Cp_{recipiente}$ : Calor específico recipiente
- IMC: Índice de masa corporal
- T2D: Type 2 diabetes / Diabetes tipo 2

## RESUMEN

La producción de un endulzante basado en la extracción de jarabe de yacón, no solo pretende hacer parte de las opciones de productos que sustituyen el azúcar, sino que también ser un alimento que aporte considerablemente en la dieta diaria de los consumidores, esto de acuerdo con los beneficios que el tubérculo (*Smallanthus Sonchifolius*) puede brindar naturalmente, tal como lo es la liberación de sustancias con poder inhibitorio de procesos metabólicos que incluyen la liberación de glucósidos y ácidos que preceden los procesos desencadenantes a desórdenes insulínicos. [8]

Éste proyecto, se centra en el planteamiento y la caracterización de la producción de un endulzante de origen natural, que no solo posea valor nutricional y pueda ser consumido por personas con limitaciones de ingesta de azúcar, sino que también apoye al mercado local, específicamente a un producto nativo como el yacón, Este producto a pesar de poseer múltiples ventajas al ser consumido y tener una fácil implementación de cultivo, no tiene una alta participación en la dieta diaria de los colombianos, y en el mismo sentido sus investigaciones son recientes y no poseen la rigurosidad que demás productos nativos como los cubios, la arracacha o inclusive la papa criolla, poseen; tomando así la oportunidad de resaltar la importancia de éste tubérculo en el reconocimiento de especies disponibles en el territorio.

Además, en el presente proyecto se determina el proceso artesanal para el desarrollo del edulcorante, incluyendo así la metodología del mismo, los balances necesarios de materia y energía para su ejecución, y de igual forma se estipulan las condiciones de proceso aptas para un desarrollo adecuado del mismo. Se integran los aspectos ingenieriles por medio de la sustentación de las condiciones adaptadas según el tipo de materia prima utilizada y los equipos implementados en el procedimiento, así mismo se sustentan las decisiones tomadas en la etapa del proceso, con el fin de aportar de forma concisa al desarrollo de edulcorantes alternativos para su implementación en un futuro en la industria de alimentos.

**PALABRAS CLAVE:** Edulcorante, Yacón, *Smallanthus Sonchifolius*, Diabetes, inulina, fructooligosacáridos.

## INTRODUCCIÓN

El considerable aumento de enfermedades cardiovasculares y metabólicas, ligadas a conductas alimenticias y sedentarias de la sociedad, determinan una alerta significativa para el sector salud de Colombia, y con el mismo las advertencias legales dirigidas a empresas alimenticias para el control de la adición de niveles de azúcar y uso de sustancias químicas nocivas, (conservantes, colorantes y saborizantes artificiales) para los productos que abarcan el mayor porcentaje de consumo nacional, es por eso que se puede confirmar la inclusión de múltiples productos alternativos que aportan una cantidad reducida o nula de sacarosa, y en el mismo modo aportan menos calorías; entre estos endulzantes se encuentra la stevia, sucralosa, miel de abejas, eritritol, entre otros, que por sus diversas presentaciones: pastillas, en polvo, o jarabe, y por su impulso en el marketing, se han posicionado como las mejores opciones para endulzar los alimentos, sin embargo, varios de ellos poseen factores que no logran cumplir con todas las expectativas de un producto saludable o accesible.

Según estudios, en el 2019 en Colombia, alrededor de 1'294.940 personas fueron diagnosticadas con diabetes, estudio que mostró que, en Bogotá, Valle del Cauca y Antioquia existe mayor predominación de casos, los cuales arrojan que el 59.54% fueron mujeres [1], por otra parte, de acuerdo con la IDF (International Diabetes Federation) el 8,3% de la población mundial experimenta diabetes, haciendo énfasis en Colombia según el IDF para el año 2013 en el país prevalecía la diabetes tipo 2 (TD2) y el porcentaje de personas nacionales con esta enfermedad fue del 7,12% afectando la población entre los 20 y 79 años [2].

En Colombia, el producto con mayor explotación para uso en la dieta de los consumidores a nivel de endulzante, es el azúcar refinado, extraído principalmente de la caña de azúcar, la cual representa por gramo de carbohidrato 4 calorías, traducido a la porción de una cucharada de aproximadamente 15 gramos, que representa 60 calorías [3], margen que no se ha tenido en cuenta en la dieta diaria, debido a su normalización e hiperconsumo en la vida de los colombianos, considerando así, que su impacto negativo en el metabolismo del cuerpo humano, en especial al momento de exceder la cantidad recomendada en los valores calóricos, determina un desequilibrio

entre la idealidad del peso, frente a la altura y la edad del consumidor, según la ecuación de Harris-Benedict.

Para el desarrollo del presente trabajo de grado, se describe el uso y las propiedades nutricionales y medicinales de un tubérculo andino para su procesamiento artesanal que determina el desarrollo de un edulcorante alternativo apto para personas con limitaciones en la ingesta de azúcar convencional: El Yacón (*Smallanthus sonchifolius*) es un tubérculo que es producido principalmente en Suramérica, el cual posee altos niveles de fructooligosacáridos (FOS) e inulina, sustancias que naturalmente brindan al alimento, características endulzantes y con bajo aporte calórico, adicionalmente aportando beneficios medicinales, a individuos con enfermedades endocrinas como la diabetes y enfermedades cardiovasculares como la obesidad o la hipertensión; sin embargo el yacón no posee una relevancia significativa en la dieta de los colombianos, desaprovechando así, los beneficios de esta planta nombrados anteriormente.

En adición a lo anterior, el edulcorante obtenido es analizado para la obtención de sus propiedades fisicoquímicas, de tal forma que el procedimiento pueda ser estandarizado y comparado según valores teóricos de prácticas realizadas a nivel artesanal y a nivel planta piloto; por último se plantea una investigación exploratoria sensorial, donde a partir de la captación organoléptica del producto, se determinan los datos de sondeo de caracterización del mismo, aportando así opiniones de mejora y percepción por parte de posibles consumidores.



## OBJETIVOS

### Objetivo general

Desarrollar un endulzante natural dirigido a personas con limitaciones en la ingesta de azúcar convencional partiendo del uso del yacón (*Smallanthus Sonchifolius*), proponiendo su proceso de producción.

### Objetivos específicos

1. Caracterizar el tubérculo yacón (*Smallanthus Sonchifolius*) como materia prima para la elaboración de un endulzante natural.
2. Determinar los métodos y equipos de producción para procesos de elaboración de jarabes endulzantes.
3. Establecer el proceso de producción del jarabe de yacón (*Smallanthus Sonchifolius*) a nivel artesanal.
4. Comparar los diferentes beneficios y propiedades nutricionales, que presenta el endulzante obtenido del yacón (*Smallanthus Sonchifolius*) respecto al azúcar convencional.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Diabetes en Colombia

La diabetes es reconocida como una afección crónica que se da cuando el páncreas no secreta suficiente insulina o en casos de que el organismo no utiliza eficazmente la insulina que produce. La concentración de glucosa en la sangre es regulada por la insulina y demás hormonas como lo es el glucagón, es decir la hormona que regula el nivel de glucemia en el cuerpo. Esta enfermedad puede traer múltiples consecuencias, una de ellas la hiperglucemia, la cual con el paso del tiempo afecta gravemente los órganos, sobre todo el sistema nervioso y vasos sanguíneos [2]

En Colombia predomina la diabetes tipo 2 (T2D) la cual es denominada como diabetes no insulino dependiente o de inicio en la edad adulta, se debe a que el organismo no utiliza eficazmente la insulina que produce, un gran porcentaje de diagnósticos con diabetes tipo 2 se atribuyen al exceso de peso y la falta de actividad física. Las cifras revelan que para el periodo comprendido entre el 01 de julio de 2019 al 30 de junio de 2020, existían 1'426.574 personas diagnosticadas con esta enfermedad en Colombia; para el año 2021 la cifra aumentó a 1'676.885 personas, determinando que las complicaciones de mayor gravedad son generadas por enfermedades precursoras como lo es la hipertensión arterial y la enfermedad renal crónica.[4]

En Colombia para el año 2020 el ministerio de salud expide un reporte en el cual indica que 3 de cada 100 colombianos tienen diabetes mellitus. Sin embargo, se estima que el número real es más elevado y que alrededor de 10 de cada 100 personas podrían sufrir diabetes y esto se debe a que la mitad de los individuos con esta patología no saben que están enfermos. En el país la diabetes es una de las principales causas de fallecimiento en personas de 30 a 70 años y aumenta el riesgo de infartos, trombosis cerebral, amputación de extremidades, deterioro en funciones renales.

En materia de comportamiento de esta enfermedad en pandemia, se determina que del 2019 al 2020 hubo una disminución del 9,54% de reportes, lo que puede indicar que debido a las restricciones nacionales, los colombianos limitaron su asistencia médica y con ella se alteraron las estadísticas correspondientes a nuevos casos, así mismo la diabetes representó un factor clave para la prevención y el cuidado frente a los contagios del virus SARs-CoV-2, debido a que éste padecimiento representa un mayor riesgo de complicaciones y morbilidad.

## 1.2 Obesidad en Colombia

La obesidad y el sobrepeso son condiciones en las que el cuerpo excede su valor máximo permitido de grasa, de modo que pone en riesgo la salud del paciente. Uno de los indicadores de medición de esta afección es el índice de masa corporal (IMC) que relaciona el peso y la talla de la persona, éste se calcula dividiendo el peso de la misma en kilogramos por el cuadrado de su talla en metros ( $\text{Kg}/\text{m}^2$ ).

Según la OMS se presenta obesidad en adultos cuando el IMC es igual o superior a 30 y sobrepeso cuando el IMC es igual o superior a 25, y frente a estos datos, se confirma que “en el 2016 más de 1900 millones de adultos de 18 años o más tenían sobrepeso, de los cuales más de 650 millones tenían también obesidad, en general alrededor del 13% de la población adulta mundial tenían obesidad”. [4]

Según la Encuesta Nacional de Salud Nutricional de 2015 en Colombia prevalece el sobrepeso en adultos entre 18 y 64 años en un porcentaje cercano al 38%, y frente a la obesidad, el porcentaje refleja un valor del 18,7%, traducido al porcentaje total de habitantes colombianos, indica un valor del 56,4% de la población, convirtiéndose esta afección en un problema significativo de la salud pública. Los departamentos con cifras más altas en el estudio fueron: Amazonas (72,4%), San Andrés y Providencia (65,6%), Vichada (65,3%), Guainía (64,1%) y Meta (61,8%). [5]

Los principales determinantes para esta problemática tienen que ver con los patrones alimenticios. La demanda de consumo de productos fritos empaquetados, snacks con altos niveles de azúcar refinada, y el consumo desenfrenado de comida procesada y con carbohidratos hacen parte de la gran problemática nombrada anteriormente, de otro modo, el consumo de grasas principalmente saturadas, ácidos graso trans y colesterol son cada vez más frecuentes en la dieta diaria de los colombianos, adicionalmente el alto consumo de bebidas alcohólicas está relacionado con el índice de sobrepeso, todo esto comparado frente al nivel de consumo de fruta y verdura fresca, carbohidratos complejos y fibra, aportantes a una buena dieta balanceada. No obstante, factores de comportamiento inciden directamente en el creciente problema de deterioro de salud, los cuales se reconocen como disminución de actividad física, sedentarismo, omisión de actividades al aire libre, entre otras.[5]

Todo esto en el marco de la pandemia por COVID 19 hace que las personas con exceso de peso se encuentren en una posición desfavorable y tengan mayor riesgo de hospitalización y muerte por COVID 19, esto, apoyado a la afirmación realizada por la subdirectora de Salud Nutricional, Alimentos y Bebidas, Elisa Cadena “*el exceso de grasa puede afectar el sistema respiratorio, las funciones inflamatorias e inmunológicas afectando así la respuesta a infecciones y aumentar los síntomas graves del virus.*”[5]

### **1.3 Edulcorante**

El termino edulcorante hace referencia a aquel aditivo alimentario que es capaz de mimetizar el efecto del dulce del azúcar y que habitualmente aporta menos energía. Algunos de ellos son extractos naturales mientras que otros son sintéticos (edulcorantes artificiales). [6]

Los edulcorantes se pueden clasificar de muchas maneras tales como la función de su contenido (calóricos o no calóricos), según su origen (natural o artificial) o incluso según su estructura química; el origen natural de un edulcorante no implica una mayor seguridad o eficacia y en este sentido existe una gran desinformación al respecto por parte del consumidor.[7]

Los edulcorantes están clasificados también como nutritivos y no nutritivos, los nutritivos a su vez están clasificados en azúcares, azúcares modificados, polioles y edulcorantes calóricos naturales. Los no nutritivos incluyen en su clasificación a los edulcorantes artificiales y los edulcorantes naturales no calóricos, este tipo de edulcorantes tienen una dulzura sensible de hecho son más dulces que la sacarosa, pero la tasa metabólica es baja por lo que no aumentan las calorías en el producto alimenticio. Sin embargo este tipo de edulcorantes tienen contraindicaciones tales como la sacarina que en exceso produce dolor de cabeza, dificultad para respirar y erupciones cutáneas, el ace-k contiene clorhidrato de metileno el cual es un compuesto cancerígeno y puede llegar a causar dolor de cabeza severo, depresión, náuseas y puede desencadenar problemas de hígado y riñón, el aspartamo puede producir dolor de cabeza intenso, tumores en el cerebro, náuseas, problemas de vista y pérdida progresiva de la memoria, entre otros. [13]. En general los edulcorantes artificiales como la sacarina, ace-k y el espartamo se ven involucrados en el cambio genético, especialmente en el ADN linfático, y pueden cambiar las propiedades metabólicas del cuerpo humano [13].

A continuación, se expone en las tablas 1 y 2 las características de los diferentes tipos de edulcorantes tales como la intensidad, las calorías y los usos que tienen en la industria, adicionalmente los metabolitos presentes en esto, la cantidad promedio consumida por día y los efectos secundarios que estos edulcorantes podrían tener en el organismo.

**Tabla 1.**

*Características de los endulzantes artificiales.*

General name or common name	Most popular Brand names	Intensity of sweetness compared to table sugar	Kilo calories per gram (kcal/g)	Uses
Saccharin	Sweet' N Low, Sweet Twin	300	0	Soft drinks, beverages, fruit drinks, powdered dessert mixes, Tabletop sweetener, Jams, Chewing gum, Baked goods, canned fruits
Acesulfame K	Sunett, Sweet One	180-200	0	Tabletop sweeteners (in packets), carbonated beverages, desserts which are frozen, Candies, Chewing gum, Dairy products, syrups and sauces
Aspartame	NutraSweet, Natrataste, sugar twin, Equal	200	4	Tabletop sweetener (in packets), chewing gums, instant coffee and tea, gelatins, puddings, Soft drinks, Yoghurt, Pharmaceuticals
Neotame	Same as common name (neotame)	10000	0	Baked goods, Soft drinks, Chewing gum, Jams, Jellies, Puddings, Processed fruit and fruit juices
Sucralose	Splenda	600	0	Tabletop sweetener (in packets), baked foods, Frozen desserts and dairy products, Fruit juices, Chewing gum, gelatins, gelatins

**Nota.** La tabla muestra las características principales de los endulzantes artificiales. Tomado de: K. Kumar, "Artificial Sweeteners: A Review," IJESC, vol. 10, no. 10, Oct. 2020 Available: [https://www.researchgate.net/publication/344822418\\_Artificial\\_Sweeteners\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/344822418_Artificial_Sweeteners_A_Review)

**Tabla 2.**

*Efectos tóxicos de los endulzantes artificiales*

Name of artificial sweeteners	Metabolites	Annual Daily Intake (mg/kg)	Acute problems	Chronic problems
Saccharin	Ortho sulfamoylbenzoic acid	5	Nausea, vomiting, diarrhea	Low birth weight, bladder cancer, hepatotoxicity
Acesulfame- K or ace-k	Acetoacetamide	15	Headache	Thyroid tumors in rats, clastogenic, high doses cause genotoxicity
Aspartame	Methanol, aspartic acid & phenylalanine	50	Headache, dry mouth, dizziness, nausea, vomiting, thrombocytopenia, mood swings	Lymphomas and leukemia in case of rodents
Neotame	Methanol and de-esterified neotame	2	Headache, hepatotoxic at high doses	Lower birth rate, weight loss, cancer in offspring, hepatotoxicity
Sucralose		5	Diarrhea, dizziness, stomach pain	Thymus shrinkage, enlargement of cecal in rodents

ADI - Annual Daily Intake

**Nota.** La tabla muestra los efectos tóxicos de los endulzantes artificiales. Tomado de K. Kumar, “*Artificial Sweeteners: A Review*,” IJESC, vol. 10, no. 10, Oct. 2020 Available:[https://www.researchgate.net/publication/344822418\\_Artificial\\_Sweeteners\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/344822418_Artificial_Sweeteners_A_Review)

## 1.4 Yacón

El yacón es una planta milenaria de los andes, que se adapta perfectamente a las condiciones ecológicas, geográficas y culturales de las regiones andinas, es originario de la región andina y se distribuye desde Colombia hasta el norte de Argentina entre los 900 y 3200 msnm. En Colombia no es muy común debido a la pérdida de saberes sobre sus propiedades alimenticias, medicinales y ecológicas lo que ha provocado que su cultivo se reduzca, sin embargo, se pueden encontrar siembras de yacón en sistemas de huerta casera o en pequeñas parcelas en asocio con hortalizas, se cultiva en municipios de montaña como Sotará, La Vega, Santa Rosa, en el suroccidente del Cauca, Salento, Calarcá, Anolaima, entre muchos otros.

Tradicionalmente se considera como una fruta por su gran contenido de jugo dulce y su bajo aporte energético. Se consume como fruta fresca o deshidratada en diferentes grados, incluso se puede consumir como jalea o chicha. Es un buen rehidratante en fresco debido a su alto contenido de agua, además previene la fatiga y los calambres por su contenido de potasio [9].

Es una planta perenne, herbácea, considerada como hierba medicinal perteneciente a la familia Asterácea, llega a medir entre 1,5 y 3 metros de altura y es cultivada en climas tropicales y subtropicales, sus hojas son pinnatífidas en la base de los tallos y triangulares en la parte apical, con flores que aparecen en los racimos terminales. Se siembra en cualquier época del año y no requiere mayores cuidados, alcanza su maduración a los seis o siete metros y la parte aérea muere después de florecer; sus raíces son de sabor dulce y agradable que sin problema se pueden consumir crudas, dichas raíces pueden medir entre 5 y 25 cm y se pueden presentar entre 5 a 40 raíces por planta, pueden tener color blanco crema, blancas con estrías purpura moradas, rosadas o amarillas; estas raíces pueden ser de dos tipos: fibrosas muy delgadas cuyas funciones son fijar la planta al suelo y absorber nutrientes y agua, y las raíces reservantes o tuberculosas cuyo objetivo es almacenar los oligofructanos y azúcares simples [10].

**Figura 1.**

*Raíz de yacón *Smallanthus Sonchifolius*.*



**Nota.** En la imagen se puede observar el tubérculo yacón en su forma natural, al momento de ser sacado de la tierra. Tomado de: A. Muñoz, “Monografía: Yacón *Smallanthus Sonchifolius* (Poepp.) H. Rob,” Perudiverso, vol. 1, pp. 7–8, Jun. 2012, Accessed: Dec. 16, 2021. [Online]. Available: [https://repositorio.promperu.gob.pe/bitstream/handle/123456789/1374/Monografia\\_yacon\\_2010\\_keyword\\_principal.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.promperu.gob.pe/bitstream/handle/123456789/1374/Monografia_yacon_2010_keyword_principal.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## Figura 2.

### *Yacón*



**Nota.** En la imagen se puede observar el tubérculo yacón. Tomado de: M. A. Cano, “propagación clonal del yacón y determinación de los contenidos de inulina.,” Medellín, 2016. Accessed:Dec.16,2021.Available:<https://repositorio.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/2956/Trabajo%20de%20Grado%20Alejandra%20Cano%20Romero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## 1.5 Fructooligosacáridos

Los fructooligosacáridos (FOS), hacen parte de una clasificación bioquímica de azúcares de cadena corta, la cual se conoce como frútanos, y también se reconocen como oligofruktanos; éstas cadenas de fructosa poseen alta solubilidad en agua, y poseen un ligero sabor dulce (poseen entre el 30 y el 65% del poder edulcorante de la sacarosa) pero proporcionan tan solo una cuarta parte del poder calorífico de los carbohidratos comunes por lo que son utilizados como edulcorantes, fibra dietética y prebióticos.

Las propiedades técnicas en los alimentos de la oligofruktanosa son el sabor dulce no residual, alta solubilidad, contribuye a dar textura, cuerpo y realza el sabor, viscosidad comparable con el jarabe de glucosa y puede ser empleada como alimento funcional en forma de dulces, productos de pastelería, preparaciones de frutas, entre otros.

Estas moléculas pueden encontrarse naturalmente en múltiples alimentos que hacen parte de la dieta diaria, tales como el ajo, la cebolla, el espárrago, el tomate, plátano, entre otros muchos, sintéticamente también pueden ser añadidos en productos procesados como lácteos, productos de repostería y complementos dietéticos.



Cuando los FOS se presentan de manera predominante o incluso exclusiva la unión  $\beta$  (2 $\rightarrow$ 1) fructosil-fructosa (enlace inulina), recibe el nombre genérico de inulina. Estos enlaces son los responsables de que la inulina no sea digestible como lo sería cualquier carbohidrato, lo que a su vez tiene como consecuencia que tenga un bajo valor calórico y una funcionalidad nutricional como fibra dietética, así mismo se resalta la importancia del tipo de enlace, ya que según su naturaleza glucosídica, es digerible o no en el cuerpo humano, además se tiene que su estructura cambia si es tipo alfa-glucanos (enlaces  $\alpha$ ) o beta-glucanos (enlaces  $\beta$ ), de manera que los primeros forman cadenas ramificadas que son fácilmente alteradas por las enzimas del sistema digestivo, y en el caso de los segundos, están conformados por estructuras tipo bloque, que no se digieren por las enzimas en el colon. [11]

Continuando, los FOS no pueden ser metabolizados directamente por el tracto digestivo humano, debido a que este carece de las enzimas digestivas necesarias, por eso cuando una persona ingiere alimentos que incluyen estas moléculas, se determina que estas se desplazan por todo el tracto digestivo sin ser modificados, y solo cuando los FOS llegan al colon, son fermentados por un grupo de bacterias especializadas que forman parte de la microflora intestinal, llamadas probióticas. [10]

Un elevado consumo de FOS no representa una mejora continua en el metabolismo de azúcares en el cuerpo, o incluso en la creación de microbiota intestinal, sino que en grandes cantidades altera esta última, dando paso a una sobreproducción de gases y generando un efecto laxante, que en tiempos prolongados puede generar molestias gastrointestinales [10].

## **1.6. Marco legal**

Normativa de regulación de los edulcorantes (naturales/sintéticos, calóricos/no calóricos) en Colombia

Los productos más utilizados por la población colombiana con el propósito de endulzar comidas son: panela, miel y azúcar convencional, siendo los dos primeros las opciones naturales elaboradas en su mayoría por campesinos y distribuidas por habitantes de los mismos sectores rurales de producción, de manera que su precio es reducido por la disminución de trayectos, impuestos y posibles intermediarios de venta, determinando así una mayor factibilidad de adquisición por los colombianos de estos mismos territorios. En el transcurso de los años el cambio en la industria

alimentaria ha brindado mayor alcance de nuevos productos edulcorantes al país, sin embargo, por los precios elevados de transporte y de distribución a granel, resulta difícil una completa migración a este tipo de productos, de manera que se sigue optando por el uso de endulzantes artesanales y locales.

En Colombia, la normativa para la fabricación, procesamiento, envasado, almacenamiento, importación, exportación, entre otras actividades enfocadas a los edulcorantes y su uso en la industria son controlados por múltiples organismos en pro de tener un control apropiado de estos productos para el beneficio de la población en el tema de salud. Organismos de control como el Ministerio de la protección social, la Organización Mundial del Comercio (OMC), el Instituto Nacional de Vigilancia en Medicamentos y Alimentos (INVIMA), la Organización Mundial de la Salud (OMS) entre otros, determinan un conducto regular para llevar a cabo el correcto cumplimiento de las normativas alimentarias, que también se apoyan en documentos oficiales emitidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y por la Norma Técnica Colombiana (NTC) [12].

En primera instancia, se destaca la resolución 2026 de 2009 *“Por la cual se establece el Reglamento Técnico sobre los requisitos que deben cumplir los aditivos alimentarios que se fabriquen, procesen, envasen, almacenen, transportes, expendan, importen, exporten, comercialicen y se empleen en la elaboración de alimentos para consumo humano en el territorio nacional.”* Que en materia de aditivos edulcorantes, describe una larga lista de observaciones en cuanto a la composición, etiquetado, e inspección.

En cuanto a la adición de edulcorantes en alimentos, se contempla que, según la OMS y la FAO, para el 2002 este porcentaje no debe ser mayor a 10 del valor calórico total, sin embargo, para el 2014 se establece que no debe superar el 5%. Por otra parte, en materia de adición de azúcar, en Colombia se establecen niveles máximos de este componente, según la naturaleza del producto (Reducido en azúcar, sin azúcar añadido, etc.) los cuales se verifican en la tabla 3. Finalmente, como recomendación a nivel global, la Asociación Americana del Corazón (AHA) determina un consumo máximo de 100 calorías o 6 cucharaditas de azúcar diario para mujeres, y no más de 150 calorías o 9 cucharaditas de azúcar diario para hombres [12].

Por otra parte, existen diversas regulaciones en Colombia relevantes en el tema de edulcorantes, algunas de estas vienen dadas por las leyes y resoluciones que se encuentran en la tabla 3.

**Tabla 3.***Regulación de edulcorantes en Colombia*

Fecha	Tema	Regulación	Descripción
2012	Plan Decenal de Salud Pública 2012-2021	Dimensión vida saludable y condiciones no transmisibles Meta 7 del componente 7.2.3.1.3 Estrategia C del componente 7.2.3.1.4	A 2021, aumentar progresivamente los impuestos para los alimentos y bebidas que no cumplan con las recomendaciones definidas por la Organización Mundial de la Salud OMS.  Desarrollo de regulación y control adecuado de la composición de alimentos procesados y bebidas, tendientes a disminuir los contenidos de sal-sodio, reducir las grasas totales, grasas trans, grasas saturadas, reducir azúcares añadidos, refinados y libres, entre otros nutrientes de interés en salud pública.
	Etiquetado	Resolución 333 de 2011	El valor de referencia de nutrientes considera en su Capítulo IV para niños mayor de 4 años y adultos que para el etiquetado nutricional se consideren 300g/día. Para las declaraciones de propiedades nutricionales los límites para los términos de referencia son: Libre de: Contiene < 0,5g azúcares por porción declarada en la etiqueta. Reducido en: mínimo 25% del alimento de referencia.
2020	Etiquetado	Comisión Nacional de Autorregulación Publicitaria (Artículo 46)	“Los anuncios de productos no constitutivos de la alimentación básica tales como aperitivos, dulces, golosinas, goma de mascar y bebidas con componentes artificiales no deberán aludir a que suplen la alimentación básica”.
	Parámetros Microbiológicos en alimentos	Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano	La presente norma se establece para garantizar la seguridad sanitaria de los alimentos y bebidas destinados al consumo humano.  Establecer las condiciones microbiológicas de calidad sanitaria e inocuidad que deben cumplir los alimentos y bebidas en estado natural, elaborados o procesados, para ser considerados aptos para el consumo humano.

**Nota:** Se describe en la anterior tabla las regulaciones y normativas más importantes frente a los alimentos de carácter edulcorante a nivel nacional. Tomado de: F. Ruiz Gómez et al., “Documento técnico: AZÚCARES ADICIONADOS,” Ministerio de Salud, 2014, Accessed: May 16, 2022. [Online]. Available:<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SNA/documento-tecnico-azúcares-adicionados.pdf>

## 2. CARACTERIZACIÓN DEL YACÓN

El Yacón, también conocido por su nombre científico (*Smallanthus Sonchifolius*), o por sus demás nombres comunes: *llacón*, *llakwach*, *aricoma*, *jícama*, *jiquimilla*, entre otros [13], se reconoce como un tubérculo de origen suramericano, específicamente encontrado en la región andina del continente, entre los territorios de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Argentina y Bolivia; este organismo es identificado en muchas culturas como un alimento medicinal y con destacables propiedades nutricionales, entre las cuales se encuentran los altos valores de FOS, compuestos terpénicos (en sus hojas) y demás agentes prebióticos que aportan positivamente a múltiples aspectos en el organismo humano. A continuación, se describe la caracterización del yacón para su conocimiento y relacionamiento con el proyecto.

### 2.1 Botánica

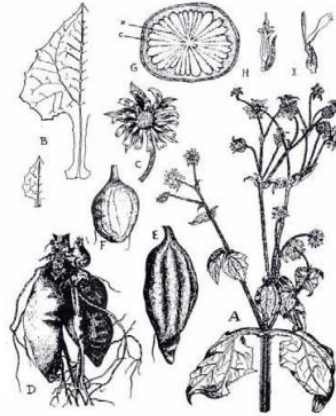
El tubérculo (*Smallanthus Sonchifolius*), pertenece a la familia botánica *Asteraceae* o *Compositae*, de género *Smallanthus*, en donde se pueden identificar 21 especies incluidas en el género *Polymnia*. El género *Smallanthus* posee múltiples organismos con forma de plantas perennes, arbustos o pequeños árboles, de igual forma las características que sobresalen en esta clasificación se denominan por la superficie que contiene ligeras hendiduras, la forma del arquenio que es comprimida y radialmente engrosada, la nevadura foliar la cual en su mayoría de veces es tronerao o palmatilobulada, en este género se puede presenciar un verticilio al exterior de las brácteas involucrales y de igual forma se connota la falta de glándulas en el ápice de las anteras y la forma de los pelos de la corola.[12]

### 2.2 Morfología

La estructura morfológica de la planta determina que posee naturaleza perenne, es decir que puede subsistir por lo menos dos años, preservando su florecencia en este periodo, la planta posee una altura total de 1,5m y puede llegar a los 3 m, en el plano aéreo posee hojas, yemas vegetativas, tallos y flores, y en el plano subterráneo se encuentran las raíces y el fruto. En la figura 3 se identifican las diversas partes de la planta.

### Figura 3.

*Yacón (Smallanthus Sonchifolius)*  
*aspectos morfológicos.*



**Nota.** La imagen muestra las diversas partes de la planta de yacón A: Ramas de floración. B: hojas. C: inflorescencia. D-F: Raíces tuberosas. G: La sección transversal de raíz tuberosa (x, xilema, c, tejido de corteza). H: flor de disco estaminada. I: Flores pistiladas. Tomado de: N. Dostert, J. Roque, A. Cano, M. la Torre, and M. Weigend, “Factsheet: Datos botánicos de Yacón,” Proyecto Perúbiodiverso – PBD:, vol. 1, pp. 3–20, Apr. 2009, Accessed: Dec. 16, 2021. [Online]. Available: [http://www.botconsult.com/downloads/Yacon\\_factsheet\\_final.pdf](http://www.botconsult.com/downloads/Yacon_factsheet_final.pdf)

### 2.3 Hojas

Las hojas del yacón son opuestas, poseen una lámina decurrente que se dirige al pecíolo; el haz de la hoja es pilosa y el envés de naturaleza pubescente, por otro lado, las hojas superiores son de forma aovado-lanceoladas, es decir que es redondeada en la parte del pecíolo (tallo de conexión de la hoja con el tallo principal), finalmente la lámina foliar es ancha aovada y posee una base connada, auriculada o hastada. [13]

### 2.4 Tallos

El tallo es cilíndrico a angular, surcado y en el punto de madurez es hueco, en la parte superior cuenta con características pubescentes, es decir que cuenta con pequeños hilos que rodean esta parte [14], de igual forma el tallo puede verse ramificado en caso de que la planta sea proveniente

de propágulo o semilla vegetativa, naturalmente los tallos poseen un color púrpura verdoso y su altura puede variar entre 1m y 3m.

## **2.5 Inflorescencia**

La inflorescencia representa la disposición que puede tener la agrupación de flores en la planta, en el caso de *Smalanthus Sonchifolius*, se cuenta con un aproximado de 20 a 40 cabezuelas (terminaciones de ramificación donde se encuentran las flores), en donde se encuentran de 14 a 16 flores liguladas y de 80 a 90 flores tubulares [13]. En la planta se pueden identificar dos tipos de flores, las liguladas y tubulares, las primeras son femeninas y poseen unas medidas de 7 milímetros de ancho por 12 milímetros de largo, a comparación de las tubulares que son masculinas y alcanzan un largo de 7 milímetros. [14]

Por otra parte, se evidencia que la floración de esta planta depende en su totalidad por las condiciones de cultivo, determinando así que, en condiciones adecuadas, la floración puede comenzar después de 6 meses de cultivo y su punto máximo se encuentra entre los 8 y 9 meses de cultivo, ésta planta posee polinización cruzada.

## **2.6 Fruto**

El fruto de la planta se determina como un aquenio, es decir un fruto seco que únicamente posee una semilla, y es procedente de un ovario súpero, monocapelar; posee una forma indefinida, pero sigue un patrón piramidal ovalado y base engrosada, su estructura interna consta de una semilla unida al pericarpio por medio de un funículo; finalmente se determinan unas medidas promedio de 3,7mm de largo y 2.2mm de ancho. [14]

## **2.7 Raíces**

De forma subterránea se encuentran las raíces del yacón, a partir de un sistema ramificado que en su mayoría es de naturaleza napiforme (forma similar a la del nabo), estas poseen una gama de colores variada, que radica principalmente en las condiciones de cultivo, entre los colores más usuales se encuentra el crema, blanco, lila y marrón; Sus medidas varían de igual forma por el

sustrato de cultivo, pero en condiciones adecuadas pueden alcanzar hasta 25 cm de largo y 10cm de diámetro, su peso ronda entre los 0,2-2 Kg. [13].

## **2.8 Yacón en Colombia**

A pesar de que este tubérculo posee una gran factibilidad de producción en el territorio colombiano, ya sea por las condiciones adecuadas de cosecha y las características favorables del suelo para su cultivo, no es determinado como un producto potencial en la canasta familiar de las personas, generando así una inestabilidad notoria en cuanto a su proyección de cultivo. Las regiones que poseen una mayor participación en la producción de este tubérculo son: departamento del Cauca, específicamente en los municipios de Sierra, Sotará, La Vega, San Sebastián, y Santa Rosa, en el departamento del Huila, en el municipio de Garzón, también se pueden encontrar en municipios de Pereira, Guática, Santa Rosa de Cabal y finalmente en el departamento de Cundinamarca y sus alrededores, (Anolaima y departamentos de Valle del Cauca, Antioquia y Tolima.) [12].

Si bien Colombia es un productor óptimo de yacón por sus condiciones óptimas de cultivo, y cuenta con redes de comercialización aptas para su distribución a las ciudades más importantes del país, este alimento no logra tener la popularidad deseada para llevarlo a cabo, sin embargo se espera que la demanda aumente progresivamente debido a que múltiples organismos académicos y de investigación han propuesto planes de siembra y divulgación informativa que permite elevar el conocimiento de la planta hacia los habitantes del país, en especial hacia las poblaciones con problemas en la ingesta de azúcar tales como la diabetes, las cuales se beneficiarían con un producto diferenciado que aporte de manera positiva a su salud.

El servicio nacional de aprendizaje (SENA) junto con el Fondo Emprender, auspició un proyecto estudiantil para el cultivo de yacón como una alternativa agrícola enfatizada en el apoyo al campesino colombiano. *"La iniciativa surgió por la necesidad de propiciar alternativas al sector campesino y variar la producción de papa, yuca, cebolla, entre otros productos, que son los que más se siembran en la región andina, además, se puede cultivar en climas, fríos, templados o cálidos"*, señaló el aprendiz Fernando Santacruz, gerente del proyecto[16]En materia de apoyo al agro, se encuentran los organismos Asohfrucol (Asociación Hortofrutícola de Colombia) y el

MADR (Ministerio de agricultura y desarrollo rural), las cuales buscan crear alianzas con entidades privadas y generar proyectos de ley con que generen un beneficio en el sector agropecuario, y también entidades municipales de asistencia técnica agropecuaria (UMATAS) la cual brinda asistencia a pequeños productores con el fin de generar mejores sistemas productivos [17] .

Las características de estos territorios en Colombia para su cultivo determinan una altura de 1200 msnm hasta los 2700 msnm, aunque en países como en Perú, Bolivia y Ecuador pueden ser vistos en alturas similares a 3500 msnm, las latitudes son templadas y subtropicales, que rondan entre los 0-24°C y las temperaturas para su óptimo crecimiento se adecúan con las ofrecidas por el país colombiano (18-25°C). Los suelos encontrados en los departamentos nombrados anteriormente poseen diversidad y ofrecen distintas concentraciones de minerales que otorgan más beneficios a la planta, sin embargo, es importante nombrar que los suelos francos son en los que el yacón posee mayor comodidad de crecimiento, es decir suelos mixtos y equilibrados con elevada productividad agrícola, su naturaleza no es ni muy arcillosa ni muy arenosa, por eso se denominan mixtos. [16]

### 2.8.1 Condiciones óptimas de cultivo

**Tabla 4.**

*Condiciones óptimas de cultivo para el yacón.*

<b>Altitud</b>	<b>900 – 2750 m.s.n.m</b>
<b>Temperatura</b>	18-25°C
<b>Disponibilidad hídrica</b>	650-1000 milímetros de precipitación anual. [Óptima: 800mL]
<b>Tipo de suelo</b>	Rico en materia orgánica, profundo, suelo franco, drenados. pH suelo: ligeramente ácido o alcalino – neutro
<b>Minerales en terreno</b>	Requiere un abono de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) en proporción 140-120-100
<b>Fuentes de NPK</b>	Nitrato de amonio [33.5%], superfosfato triple de calcio [46%] y cloruro de potasio [60%]
<b>Siembra</b>	Distancia entre 0,5 y 0,6m entre plantas; 1,2m entre surcos.
<b>Control maleza</b>	35 a 45 días de plantación.

*Nota.* la tabla muestra las condiciones óptimas de cultivo para el tubérculo yacón. Tomado de: Andrea, C., Díaz, C., Marcela, D., Morante, F., Melissa, T; Pacheco, C. (2017). El Yacón: una alternativa para el sector agrícola colombiano El Yacón: una alternativa para el sector agrícola colombiano Citación recomendada. [https://ciencia.lasalle.edu.co/finanzas\\_comercioT.M.](https://ciencia.lasalle.edu.co/finanzas_comercioT.M.) [17]



### ***Observaciones:***

- Requiere humedad en las primeras etapas de su crecimiento, posteriormente resiste periodos de sequía, y temperaturas altas y bajas.
- Condiciones de siembra similares a las de la papa, el olluco o el camote.
- Época de siembra en todo el año.
- Se recomienda sembrar a inicios de las precipitaciones pluviales, es decir entre septiembre y octubre.
- El yacón puede ser sembrado junto con el maíz para hacer un ambiente colaborativo y dinámico. [19]

## **2.9 Caracterización de las propiedades medicinales del Yacón (*Smallanthus Sonchifolius*)**

La raíz de Yacón almacena mayoritariamente FOS los cuales según diferentes estudios en animales se ha indicado que puede facilitar la absorción de calcio, como también reducir los niveles de colesterol. Entre las propiedades farmacológicas que ofrece el yacón se encuentran propiedades inmunológicas, propiedades antimicóticas, propiedades antimicrobianas y propiedades relacionadas a problemas con glucosa en sangre, colesterol, gastrointestinales, entre otros [20].

La raíz de este tubérculo almacena de forma principal FOS, los cuales representan un aporte beneficioso en la salud del ser humano debido a que estos no incrementan los niveles de glucosa presentes en la sangre por lo que se considera de bastante utilidad para personas con limitaciones en la ingesta de azúcares tales como diabéticos y aquellos que buscan dietas hipocalóricas, por otro lado cabe mencionar que no solo la raíz de este tubérculo resulta beneficiosa sino también sus hojas pues estas presentan actividad hipoglucemiante la cual ha sido objeto de investigación en ratas y personas diabéticas, dichas investigaciones arrojaron que las hojas tienen un efecto hipoglicemiante significativo sin embargo este no se manifiesta en caso de diabetes severa; de forma que tanto la raíz como la hoja de dicho tubérculo genera impactos positivos en la salud de las personas diabéticas. [19]

Otra de las propiedades medicinales importantes son la hipocolesterolemia e hipotriglicéridémica. Al ser un alimento con un bajo nivel de calorías y grasas es ideal para personas que siguen dietas

o quieren empezar con ellas, además de ser considerado como un suplemento alimentario[20] En cuanto a el efecto del yacón en hiperlipoproteinemias e hipercolesterolemia ha sido estudiado numerosas veces en ratas en las cuales se les suministro una dieta rica en colesterol y se observó un descenso en los niveles de triglicéridos y colesterol total al iniciar el consumo de yacón.

Por otra parte, el consumo de este tubérculo ha sido estudiado en el consumo animal y humano, brindando así una lista de detalles relevantes para el estudio fisiológico del mismo que describe múltiples beneficios a nivel corporal.

- **Sistema digestivo:** analizando el efecto de los FOS en el cuerpo humano, y su acción positiva frente al análisis selectivo de microorganismos en el sistema gastrointestinal, se determina un beneficio directo en el sistema digestivo; entre los microorganismos afectados por esta sustancia, se encuentran dos especies destacables, como lo son los probióticos, los cuales son agentes que favorecen la digestión sin generar o favorecer el crecimiento de especies bacterianas negativas, u organismos virulentos dentro del sistema gastrointestinal, por otra parte se encuentran las bacterias putrefactivas (bacteroides, fusobacterias, clostridios, etc.) [19] las cuales permanentemente buscan ocupar un mayor espacio en este mismo lugar, superando en número a los probióticos, la diferencia entre estas dos especies es claro, mientras las bacterias putrefactivas generan un ambiente propicio para las enfermedades gastrointestinales y trastornos alimenticios, los probióticos promueven el efectivo funcionamiento del intestino y su apropiada digestión en el cuerpo.

La función de los FOS en el colon es producir por medio fermentativo, ácidos lácticos y grasos de cadena corta, (acetatos, propionatos y butiratos), de manera que disminuyan el pH y disminuyan la concentración de bacterias putrefactivas. Entre algunas de sus propiedades se encuentran [21]:

- Prevenir infecciones gastrointestinales
- Fortalecer y modular la respuesta del sistema inmunológico
- Reducir el riesgo de desarrollo de células cancerígenas, en especial las que se pueden generar en el tracto gastrointestinal.
- Sintetizar vitaminas del complejo B
- Mejorar la absorción de calcio y otros minerales.

- **Colesterol y triglicéridos:** A pesar de que en el transcurso de la historia, se han encontrado múltiples estudios que revelan el comportamiento de los FOS en el cuerpo humano, se determina una importante contradicción en los mismos, arrojando de primera medida la hipótesis de que estos pueden disminuir el nivel de lípidos en la sangre (testado únicamente en ratas), en segunda instancia, se realiza el mismo estudio en humanos que determinan la acción de los FOS y la inulina para la reducción de colesterol y triglicéridos, y finalmente el elemento a consideración, es el de la hipótesis que los fructanos no poseen ningún efecto en la reducción de estas sustancias en la sangre [19].

El resultado de los diversos estudios sugiere una mayor profundización en futuros experimentos, de manera que se determine una conclusión acertada y se permita avanzar con la estructuración de alimentos funcionales para la inclusión en la dieta humana. [19]

- **Cáncer de colon:** Como anteriormente se nombra, la acción de los FOS en el intestino grueso permite la generación de ácidos grasos que disminuyen en proporciones seguras el pH del colon, determinando así una inhibición de las bacterias encargadas de la generación de enfermedades gastrointestinales y la posible aparición de células cancerígenas ubicadas en esta zona. Estudios determinan que, en animales, el consumo de FOS disminuyen la aparición de estas bacterias [19], ya sea a partir de la adición de sustancias mutagénicas a grupos de roedores que poseían, o contrariamente carecían de FOS en sus dietas, lo que efectivamente corrobora la menor concentración de colonias cancerígenas en roedores con la dieta favorable [17].
- **Asimilación de calcio y otros minerales:** Según diversos estudios se puede encontrar que, la asimilación de éstos minerales se ven favorecidas en roedores por una dieta balanceada que incluyen FOS, y además de eso en estudios realizados a humanos, se determinan cifras favorables al momento de introducir conjuntamente inulina en la dieta, reflejando un incremento de calcio entre el 21 y el 34% [19], aun así en futuras ocasiones, diversos experimentos no concretaron alguna diferencia al ser aplicados en hombres de 20 a 26 años, alimentados con un suplemento de 15g de FOS por día [19]. De igual manera un estudio realizado en la Revista americana de Nutrición clínica arroja que en un ensayo elaborado para adolescentes entre 14 y 16 años, en una medición de 24 y 36 horas para determinar la absorción de calcio, el incremento es significativo [17].

- **Estreñimiento:** Múltiples estudios, muestran que los FOS incrementan la frecuencia de deposiciones y el volumen de las mismas, disminuyendo así el estreñimiento y los trastornos ligados al mismo [19] esto debido a que al ser considerado como sustancia fibrosa, es decir que su digestión se efectúa en el final de la cadena gástrica y por eso permite de manera adecuada la efectividad de la digestión y la disposición de la materia fecal en los humanos, sugiriendo así un efecto similar al de los laxantes [19], contemplando de igual forma la gran cantidad de agua que el alimento posee.
- **Sistema inmunológico:** Aunque no se han encontrado múltiples estudios que respalden la teoría de la acción de los FOS en el sistema inmunológico, se encuentra que en animales como ratones y cerdos, alimentados con múltiples alimentos con concentraciones considerables de esta sustancia, poseen un sistema inmunológico propicio y resistente a problemas que puedan ligarse al mismo, como la multiplicación de patógenos como *Cándida Albicans* y *Listeria Monocytogenes* , de manera que la respuesta del sistema inmunológico aumenta y determina un crecimiento de condiciones necesarias para las respuestas autoinmunes en el organismo [19].
- **Obesidad:** Esta enfermedad crónica originada por diferentes causas y que presenta diferentes complicaciones, incluso representa un factor de riesgo al presentarse de forma conjunta con diabetes o algunos problemas cardiovasculares, si bien los orígenes son variados, generalmente las causas de la obesidad son prolongados niveles de sedentarismo, la calidad de la alimentación y el factor genético. Las personas que padecen obesidad habitualmente consumen más calorías de las que su organismo requiere por lo que el excedente se almacena en forma de grasa. En la mayoría de los casos es muy difícil corregir los malos hábitos alimenticios sin embargo la forma más adecuada de corregir, prevenir o revertir la obesidad es agregar a la dieta diaria alimentos con bajo aporte calórico, por lo que el yacón resulta ser beneficioso para personas con este padecimiento.
- **Diabetes:** El efecto de los FOS en el organismo, ya sea para prevenir, o contrarrestar los efectos de la diabetes en el cuerpo, son determinados por el tipo de estructura que presenta, y su

impacto en el cuerpo humano, ya que, al no contener almidón (cadenas de glucosa), no eleva el nivel glucosídico en sangre, que posteriormente desencadena en un proceso de reserva de energía, así que, no recarga al hígado para su procesamiento, ni es un valor significativo para la metabolización con insulina por parte del páncreas; su función se centra en el colon, aportando a la reproducción de las bacterias beneficiosas en el tracto intestinal y conllevando diversos beneficios anteriormente nombrados.[20].

## **2.10 Caracterización de las propiedades nutricionales del Yacón (*Smallanthus Sonchifolius*)**

Según la Secretaria de agricultura y pesca de la gobernación del Valle del Cauca, el yacón es una de las raíces comestibles con mayor contenido de base húmeda siendo su peso fresco hasta el 90% en agua, en cuanto a la base seca los carbohidratos corresponden aproximadamente al 90% de las raíces cosechadas, de los cuales más de la mitad (entre el 50 y 70%) lo constituyen los FOS y el porcentaje restante está distribuido entre sacarosa, fructosa y glucosa [20]; sin embargo el contenido de estos azúcares puede variar dependiendo de factores como la época de siembra, el tipo de cosecha, la temperatura del medio, entre otros, por lo cual es normal que la composición de estos azúcares varíe según el origen del lote del tubérculo.

Las raíces no solo tienen un alto contenido de FOS sino también logran acumular cantidades considerables de potasio y compuestos polifenólicos derivados del ácido cafeico, diferentes sustancias antioxidantes tales como ácido clorogénico y triptófano.

Reconociendo los FOS como fibra dietética y como prebióticos, se establecen como un alimento no digerible que tiene un impacto positivo pues estimula el crecimiento de bacterias en el tracto digestivo, éstos presentan un valor calórico inferior al de los azúcares convencionales como sacarosa, fructosa y glucosa; siendo 1-1.5 Kcal/g en comparación con 4 Kcal/g respectivamente. [17].

Adicionalmente las hojas también pueden realizar un aporte nutricional puesto que el contenido de proteínas totales presentes en estas es del 11%-17%. En cuanto a la composición nutricional

teórica del yacón, se encuentra la tabla 5, la cual fue extraída del sitio web de la gobernación del valle del cauca [21].

**Tabla 5.**

*Composición nutricional del yacón*

COMPONENTES g/100g		VITAMINAS mg/100g		MINERALES mg/100g	
<b>Agua</b>	86,6	<b>Caroteno</b>	0,08	<b>Calcio</b>	23
<b>Proteínas</b>	0,3	<b>Tiamina</b>	0,01	<b>Fósforo</b>	21
<b>Grasa</b>	0,3	<b>Riboflavina</b>	0,11	<b>Hierro</b>	3.7
<b>Carbohidratos</b>	1,05	<b>Niacina</b>	0,33	<b>Magnesio</b>	20
<b>Fibra</b>	0,5	<b>Ácido Ascórbico</b>	4,1	<b>Potasio</b>	47
<b>Ceniza</b>	0,3	<b>Vitamina B</b>	60	<b>Sodio</b>	22
<b>Calorías</b>	63	<b>Retinol</b>	12		
		<b>Vitamina B1</b>	0,02		
		<b>Vitamina C</b>	4,1		

*Nota.* Se describen las propiedades nutricionales del yacón: componentes, vitaminas y minerales. Tomado de: C. Andrea, C. Díaz, D. Marcela, F. Morante, T. Melissa, and C. Pacheco, “El Yacón: una alternativa para el sector agrícola colombiano El Yacón: una alternativa para el sector agrícola colombiano. Sep. 2017, Accessed: Apr. 10, 2022. [Online]. Available: [https://ciencia.lasalle.edu.co/finanzas\\_comercioT.M](https://ciencia.lasalle.edu.co/finanzas_comercioT.M).

Como se aprecia en la tabla 5 expuesta anteriormente, se pueden encontrar múltiples sustancias de interés nutricional y vitamínico en el yacón, tales como diferentes macronutrientes: proteínas, grasas, carbohidratos compuestos en su mayoría (90%) como fibra en el tubérculo (50% /70%), la cual es representada como FOS, el porcentaje restante determina una cantidad de sacarosa, glucosa y fructosa, finalmente tiene una gran variedad de vitaminas como carotenos, tiamina, riboflavina, niacina, ácido ascórbico, vitamina B y vitamina C y minerales como calcio, fosforo, hierro, magnesio, potasio y sodio [17].

Por otro lado, el contenido de sustancias específicas como fibra cruda, almidón, cenizas, grasas, etc, que se encuentran en el yacón, varían según el estado, es decir en base húmeda o en base seca, en la siguiente tabla se pueden apreciar los resultados del análisis químico realizado por el instituto químico de tecnología en alimentos [24].

**Tabla 6.**

*Análisis químico de la raíz del yacón.*

<b>COMPONENTE</b>	<b>VALORES YACÓN BASE SECA %</b>	<b>VALORES YACÓN BASE HÚMEDA %</b>
<b>Humedad</b>	83.56-91.34	13.08-13.16
<b>Proteína</b>	2.59-3.12	17.88-18.12
<b>Fibra cruda</b>	16.91-18.39	7.54-7.87
<b>Carbohidratos solubles totales</b>	71.80-75.64	35.68-36.70
<b>Almidón</b>	2.61-2.98	----
<b>Cenizas</b>	5.10-5.78	1.88-1.96
<b>Grasas</b>	0.95-1.03	11.55-11.86

*Nota.* La tabla muestra la comparación de componentes químicos del yacón en porcentaje de base seca y base húmeda. Tomada de: Margalef, M. I.; Gómez, M. H.; Jiménez, M. J.; Tóffoli, S.; Valdez, G. A.; et al.; Proyecto: "Ingredientes no tradicionales para la formulación de alimentos funcionales"; Universidad Nacional de Salta; Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud; 1; 1; 12-2011; 17-29; <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/14425>

A continuación, en la tabla 7 se exponen las características mencionadas anteriormente en diferentes tubérculos tales como el ñame y arracacha, los dos se producen en Colombia al igual que el yacón. se analizan los mismos parámetros en los que se puede evidenciar que en base seca el yacón tiene más proporción de humedad, proteína, fibra cruda y cenizas. Por otro lado, en cuanto a almidón el ñame tiene mucha más proporción en relación con el yacón y la arracacha; finalmente en cuanto a las grasas los tres tubérculos tienen una proporción similar.

**Tabla 7.***Análisis de propiedades del ñame y la arracacha.*

<b>COMPONENTE</b>	<b>ÑAME EN BASE SECA %</b>	<b>ARRACACHA EN BASE SECA %</b>
<b>Humedad</b>	70.53- 70.64	71.8-74.5
<b>Proteína</b>	1,95- 2,02	0.9-1.0
<b>Fibra cruda</b>	0,06	1.8-2.1
<b>Carbohidratos solubles totales</b>	26,24	18,9-24
<b>Almidón</b>	93.6-95.3	10-25
<b>Cenizas</b>	1,19- 1,22	1.2-1.4
<b>Grasas</b>	0.09-1,03	0,2

*Nota.* Datos de comparación de propiedades de ñame y arracacha. Tabla tomada de: Alvis, A., Vélez, C. A., & Rada-Mendoza, M. (2008). Composición de Ñames Frescos Cultivados en Colombia y Sometidos a Freído por Inmersión. *Información Tecnológica*, 19(1), 3–10. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642008000100002>

Se destaca entre la comparación de las propiedades de los tubérculos, que la mayor relación de fibra, la tiene el yacón, siendo este valor coherente con la descripción del alimento, determinando que una de sus bondades es la abundancia de fibra en forma de FOS, los cuales aportan a propiedades medicinales; por otra parte, se evidencia que la humedad del yacón es la mayor de los tres tubérculos, es decir que posee gran cantidad de agua en su interior, lo que hace que permita una mejor digestión en el organismo.



### 3. PROCESOS EXPERIMENTALES DE PRODUCCIÓN DE EDULCORANTES A ESCALA INDUSTRIAL

#### 3.1 Pretratamiento de materia prima en producción de edulcorantes a escala industrial

##### 3.1.1 *Hidrólisis enzimática*

La hidrólisis se produce mediante la acción de enzimas las cuales poseen un poder catalítico hidrolizante, es decir facilitan la ruptura de moléculas complejas en más pequeñas con adición de moléculas de agua rompen los enlaces de agua de la forma  $H_2O + R-R' \rightarrow R-H + R'-OH$  [25]

Esta reacción es uno de los métodos básicos de la hidrólisis en general, el cual también es conocido como sacarificación debido a que uno de los principales objetivos es descomponer los materiales presentes en la biomasa con el fin de obtener azúcares simples. [26]

En cuanto a la hidrólisis enzimática se utilizan celulasas y hemicelulasas con el fin de degradar diferentes polisacáridos presentes en biomasa a oligosacáridos o monosacáridos los cuales son moléculas más pequeñas. No obstante, de este método pueden resultar diferentes tipos de residuos sólidos enriquecidos con lignina; adicionalmente la hidrólisis enzimática generalmente necesita un pretratamiento bien puede ser físico o químico adicional debido a que la estructura de la lignocelulosa es demasiado rígida. Entre los métodos de pretratamiento comúnmente usados se encuentra la molienda mediante un molino de bolas, calentamiento empleando agua a temperatura elevada, hidrólisis ácida o alcalina diluidas y refinado mecánico, este pretratamiento adicional tiene como objetivo reducir la rigidez de la biomasa y aumentar la biodigestibilidad de los polisacáridos para finalmente al término de la hidrólisis enzimática obtener residuos sólidos con una baja concentración de lignina. [25].

##### 3.1.2 *Hidrólisis química*

La hidrólisis química o ácida tiene como fundamento que los ácidos utilizados logren penetrar la biomasa en cuestión y así romper la lignina y celulosa para finalmente buscar la descomposición de los diferentes polímeros de celulosa y hemicelulosa en moléculas de azúcar individuales. A

pesar de que es posible utilizar diferentes ácidos, los más frecuentados en la industria son H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, HNO<sub>3</sub>, etc. [26].

Generalmente la hidrólisis en general se emplea como pretratamiento en los procesos y en cuanto a la hidrólisis química se puede realizar con ácidos diluidos con una concentración hasta el 5% de ácido o concentrados, resaltando que los ácidos concentrados son más peligrosos y generalmente corrosivos para los diferentes equipos que se emplean comúnmente en una planta de producción como lo puede ser un reactor, además este ácido tiene que ser recuperado al final del pretratamiento. Un proceso de pretratamiento eficiente mediante un ácido diluido logra solubilizar por completo los compuestos hemicelulósicos. [27].

### ***3.1.3 Tratamiento de materia prima en producción de edulcorantes a escala industrial***

A manera de contextualización y con el fin de tener una idea de las diferentes formas de obtención y producción de otros edulcorantes; la Stevia es un edulcorante natural que a su vez es no calórico; esta se encuentra en las hojas de la planta *Stevia rebaudina* y su proceso de extracción y acondicionamiento hasta la obtención del edulcorante se realiza convencionalmente mediante la extracción del jugo de las hojas por medio de una molienda o de extracción por solventes (generalmente alcohol), seguido de procesos de purificación del jugo y posteriormente una precipitación y coagulación de materia orgánica y finalmente una cristalización y secado del producto; este proceso se emplea en el caso de querer el edulcorante sólido [30]. Hoy en día se estudian nuevas técnicas de extracción del jugo empleando enzimas y fluidos. [31]

Por otro lado, otra de las vías para la obtención de edulcorantes como es el caso del eritritol, a diferencia de la obtención del zumo de yacón o de la Stevia que se realiza por extracción mecánica o por solventes, la obtención de eritritol se realiza vía química, debido a que en primera instancia se obtiene la glucosa de almidón de maíz, posteriormente con la adición de levaduras y cepas se realiza una fermentación en donde se obtiene un zumo que posteriormente es filtrado para eliminar impurezas, seguido de un intercambio iónico para purificar y separar, finalmente el zumo se cristaliza para obtener el producto final [30].

De modo que a continuación se exponen las diferentes operaciones unitarias, cabe mencionar que a pesar de que los métodos que se exponen pueden no presentar relación o continuidad entre sí, son contemplados en este documento, pues cada uno de estos métodos determinan procesos válidos para la obtención de edulcorantes en la actualidad, de carácter sólido o líquido que se acoplan al objetivo propuesto en el presente trabajo; por otro lado, se contemplan diferentes puntos de partida para los diferentes métodos mencionados, bien puede ser desde la materia prima (yacón) crudo o el zumo del mismo previamente obtenido. Posteriormente se presenta una tabla de ponderación para la selección de la mejor operación unitaria para este proyecto puntualmente.

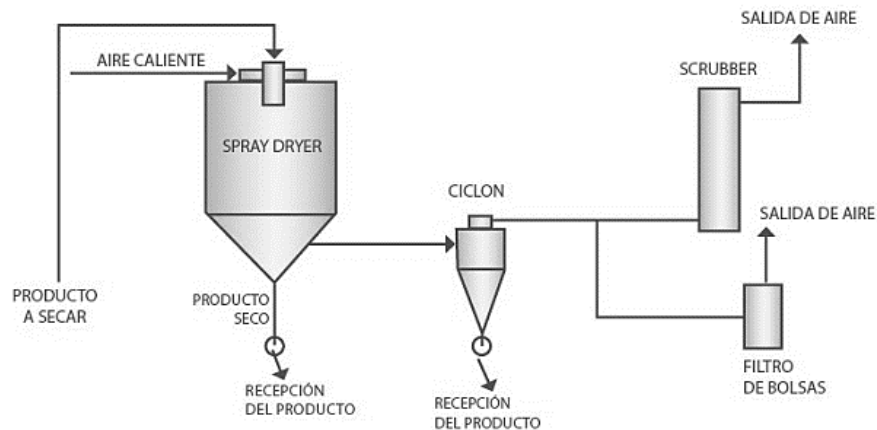
#### **3.1.4 Secado por aspersión**

También conocido como atomización o *spray dryer*, es una tecnología que consiste en atomizar un material que se encuentra en estado líquido, bien puede ser como disolución o como dispersión, esto en forma de unas finas gotas sobre una corriente de gas calentado, lo que provoca que al entrar en contacto las gotas del líquido con el gas a una mayor temperatura se genera una evaporación, produciéndose así una fina película del material de que recubrimiento con el material que se encuentra disuelto.

El secado por aspersión resulta ser una técnica económica, flexible y adaptable, la microencapsulación que se produce suministra un medio de envasar, separar y almacenar materiales a escala microscópica, si se desea liberar el material encapsulado se tendría que realizar en condiciones controladas. Existen además una gran variedad de agentes encapsulantes como polisacáridos (almidón, maltodextrina, jarabe de maíz, etc.), lípidos (fosfolípidos, grasas hidrogenadas, ácidos grasos, etc.), proteínas (caseína, suero de leche, albumina, soya, trigo), polímeros (PEG, PVA, PVP, derivados de celulosa). En la figura 4 se aprecia el esquema del proceso a nivel industrial.

**Figura 4.**

Diagrama de proceso de secado por aspersión



**Nota.** En la Figura, se visualizan los componentes necesarios para el proceso de secado por aspersión, siendo utilizado para producir múltiples edulcorantes en la actualidad. Tomado de: “SECADO POR ASPERSIÓN,” 2019. Accessed: Jul. 18, 2022. [Online]. Available: <http://www.cimaindustries.com/wp-content/uploads/assets/pdf/es/alimentos/secador.pdf>

Este método es utilizado ampliamente en la industria, no solo en la industria alimenticia sino también en la farmacéutica, química y agrícola; este método busca preservar la estabilidad de los ingredientes en diferentes etapas de los procesos productivos tales como el procesado, empaquetado, almacenamiento, además de evitar colores, sabores y olores que no son deseados en el producto, esto en el caso de la industria alimenticia. [33]

### 3.1.5 Liofilización

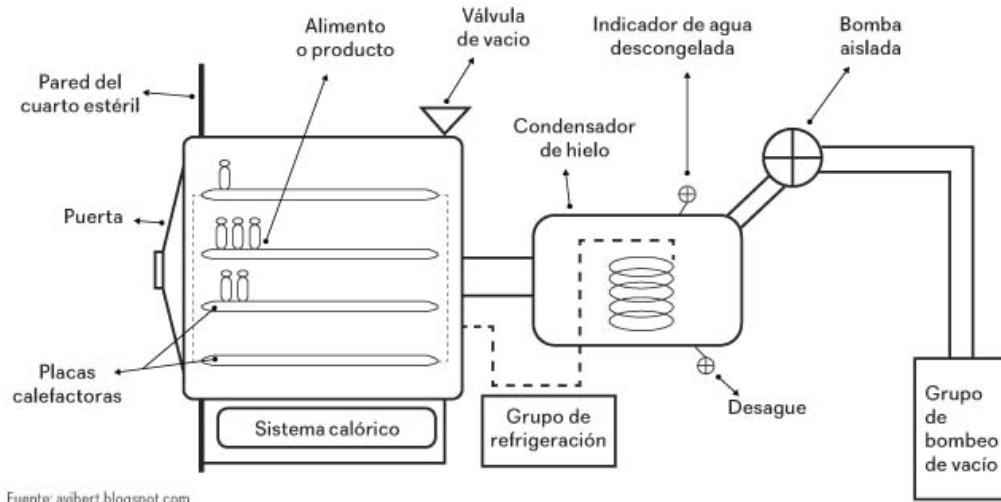
En la industria alimenticia, existen múltiples procesos físicos y químicos de conservación y transformación, pensados en la preservación efectiva del producto, ya sea en cuanto a sus propiedades nutricionales, o sus propiedades organolépticas, como lo es el sabor, color, olor, entre otros.

La liofilización está reconocida entre esta categoría, como uno de los mejores procesos de conservación; éste método lo que busca es retener las principales características del alimento para su presentación al consumidor, por medio de la eliminación del agua a partir de la congelación del

producto y su posterior sublimación; en el caso del café, se conserva el color, aroma, y sabor, por otro lado, se implementa en la industria frutícola para la preservación de los nutrientes y los sabores de los frutos que poseen un alto riesgo de descomposición en cortos periodos de tiempo.

**Figura 5.**

Diagrama de proceso de liofilización.



**Nota.** En la Figura, se visualizan los componentes necesarios para el proceso de liofilización, siendo utilizado para producir múltiples productos alimenticios en la actualidad, como la leche en polvo y el café soluble. Tomado de: D. San Juan, “Liofilización, proceso en el que el aire tiene injerencia ,” Ogrados, Aug. 26, 2016. [https://Ogrados.com/liofilizacion-proceso-en-el-que-el-aire-tiene-injerencia/?fb\\_comment\\_id=1162955797109743\\_1952399234832058](https://Ogrados.com/liofilizacion-proceso-en-el-que-el-aire-tiene-injerencia/?fb_comment_id=1162955797109743_1952399234832058) (accessed Jul. 18, 2022).

Para la producción de edulcorantes, la liofilización es una de las primeras opciones para su ejecución en el proceso productivo, esto debido a que naturalmente se encuentran múltiples hierbas, frutas, tubérculos, y demás organismos, que por su alto contenido de azúcares permite la creación de productos endulzantes para su inclusión en la dieta diaria de los consumidores.

Para el yacón, este proceso resulta ser conveniente y apto para la conservación del tubérculo, ya sea en su forma menos procesada, como rebanadas, o en su forma en polvo o granulada como edulcorante natural. Para llevar a cabo el proceso, se requiere de la implementación de un pretratamiento, en donde el tubérculo se somete a múltiples operaciones unitarias para conseguir una forma apta para su procesamiento por medio de liofilizado, este caso en forma de líquido. Posteriormente el jugo se lleva a cuatro etapas importantes: Congelamiento, triturado, liofilizado

y desecado, en la primera se lleva por 40 minutos a una temperatura aproximada de  $-80^{\circ}\text{C}$ , luego de esto se reduce el tamaño de partícula de manera rápida con equipos que no involucren exceso de energía cinética en el proceso, para que el producto no adquiera más humedad del ambiente, en consecuencia el alimento se lleva a un equipo de liofilización a  $-50^{\circ}\text{C}$  por 50 horas para después ser llevadas a almacenamiento en un desecador [32].

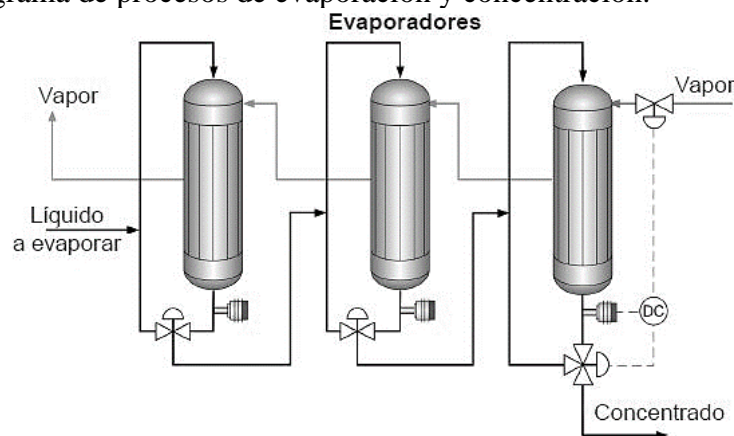
Para concluir, en este proceso se deben tener en cuenta múltiples variables de control, como lo son los tiempos de residencia del producto en equipos térmicos, cantidad de solvente a utilizar para su preparación líquida, y la calidad de los equipos que se implementan en el procedimiento.

### 3.1.6 Evaporación y concentración

La evaporación es un método de separación que consiste en separar componentes mediante sus volatilidades, se lleva a cabo aplicando calor sobre la mezcla y en ocasiones se tiene un corriente de aire seco auxiliar con el fin de acelerar el proceso. La evaporación se puede llevar a cabo a presión reducida con el fin de bajar le punto de ebullición, generalmente el producto deseado es la solución concentrada y el solvente que generalmente es agua suele simplemente desecharse. Durante este proceso mientras ocurre la evaporación del solvente la concentración de la solución crece y propiedades como densidad y viscosidad aumentan con el contenido de sólidos hasta el punto en el que la solución no permite una correcta transferencia de calor. [36]

**Figura 6.**

Diagrama de procesos de evaporación y concentración.



**Nota.** En la Figura, se visualizan los componentes necesarios para el proceso de evaporación y concentración, se tiene en cuenta que el proceso requiere de un zumo previamente extraído. Tomado de: Evaporación. (n.d.). In SEITA - Ideas de productividad. Retrieved July 18, 2022, from <https://www.seita.com.co/aplicaciones/industria-lactea/evaporacion-de-la-leche/>

Para este proceso se pueden utilizar diferentes equipos dependiendo de la mezcla, por ejemplo, evaporadores rotatorios los cuales permiten la recuperación del solvente, estufas de vacío y liofilización o crio evaporación en el caso de extractos acuosos. [37]

La evaporación es un método que posee una gran relevancia en la industria pues tiene campo en diferentes procesos, principalmente en el de concentración de sustancias de diferente tipo entre las que se encuentran las soluciones acuosas de azúcar.

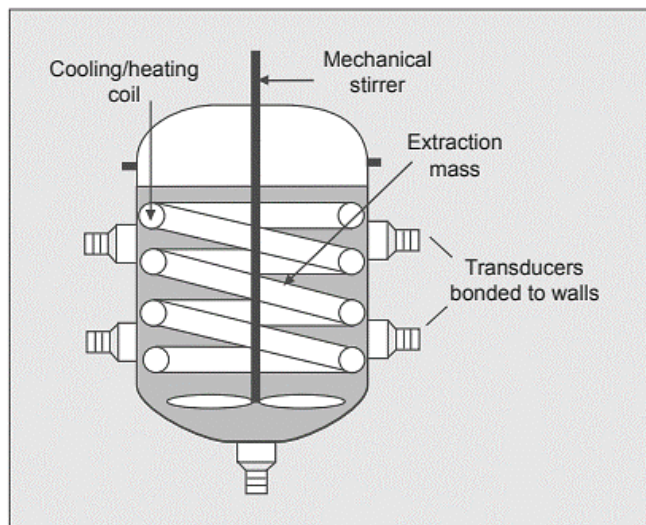
### ***3.1.7 Ultrasonido***

Un ultrasonido es una de las nuevas tecnologías de extracción de polisacáridos y se define como una onda bien puede ser acústica o sonora y se caracteriza por que posee una frecuencia mayor a la que el ser humano es capaz de percibir (mayor a 16 Hz). El ultrasónico se caracteriza por la capacidad de transmisión de moderades cantidades de energía mediante leves movimientos mecánicos, frecuencias altas, puntos de velocidad moderados y aceleraciones muy altas.

En cuanto a las aplicaciones que puede llegar a tener el ultrasonido en la industria primero hay que aclarar que el ultrasonido se puede dividir en dos grupos, de alta intensidad y de baja intensidad, en este caso el ultrasonido de baja intensidad no es significativamente útil debido a que su aplicación industrial está enfocada hacia el diagnostico, por el contrario el ultrasonido de alta densidad resulta muy útil pues se emplea en la modificación de procesos o productos; ahora, la aplicación de este tipo de ultrasonido en la industria alimentaria incluyen procesos de limpieza y desinfección, mezclado y emulsificación, impregnación, cristalización y precipitación, deshidratación, extracción, filtración, congelación y destrucción microbiana. [33]

**Figura 7.**

Diagrama de proceso de extracción por ultrasonido.



*Nota.* En la Figura, se visualiza el método de extracción por ultrasonido, es importante reconocer que es un método que necesita de un líquido previamente extraído. Tomado de: R. Azuola and P. Vargas, “Extracción De Sustancias Asistida Por Ultrasonido EUA”.

Esta tecnología resulta de gran interés para la investigación actual debido a que, en el caso del yacón, el ultrasonido podría ser utilizado en diferentes instancias del proceso tales como el acondicionamiento del jugo obtenido por pretratamiento común (limpieza, cortado, pelado, etc.) y en el proceso de extracción de azúcares que es lo que se busca obtener rendimiento:  $(92.6 \pm 0.11\%)$  [33].

### **3.1.8 Extracción de fructanos y fructooligosacáridos.**

El yacón, al poseer niveles considerables de inulina en su estructura nutricional, brinda múltiples formas para su extracción, de modo que esta sustancia puede ser utilizada para la creación de edulcorantes de manera eficiente, en la industria, la hidrólisis realizada a un jarabe con alto



contenido de inulina (como lo es el jarabe de yacón), deduce a la obtención FOS, sustancia de interés en el presente proceso. [34]

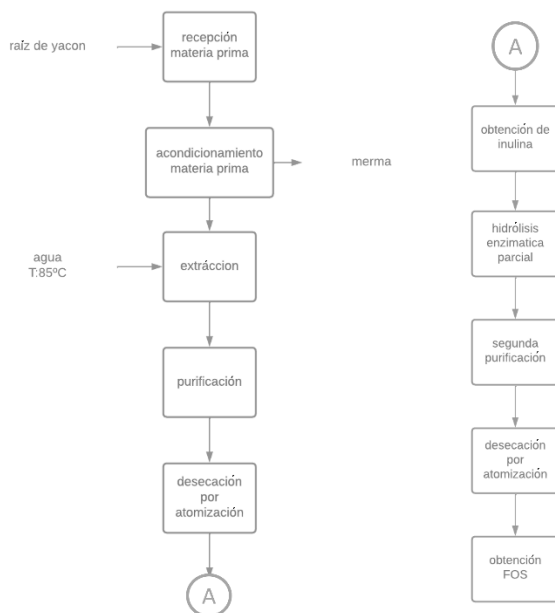
El proceso de extracción de FOS, y fructanos es determinado por múltiples pasos que reúnen técnicas anteriormente nombradas, tales como un pretratamiento, la liofilización, decantación, e hidrólisis.

El proceso establecido por Jaime en el 2001 [35] inicia por medio de una congelación de la materia prima de interés en medio líquido, específicamente por medio del nitrógeno a una temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$ , posterior a ello se implementa un proceso de liofilizado para así pasar a una homogeneización en una solución de etanol (70%), inmediatamente se somete el proceso a un calentamiento con una temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  por un tiempo aproximado de 10 minutos; en consecuencia, el líquido es centrifugado a 4000 rpm por un tiempo de 15 minutos, y pasa a ser decantado, ésta etapa es repetida cuatro veces para retirar el sobrenadante de forma adecuada, el cual se lleva paralelamente a una evaporación y secado. El producto de azúcares concentrados es disuelto en agua desionizada y llevado a evaluación de composición de frútanos.

Un segundo estudio determina una preparación adicional del extracto, la cual contempla en la preparación de la solución en agua, una posterior agitación constante a diferentes temperaturas, establecidas en múltiples tiempos de extracción, seguido a esto se filtra la solución al vacío para la obtención del extracto bruto [34]. El estudio se realiza para una optimización del proceso extractivo, aun así, el escalamiento que posee es únicamente a nivel laboratorio, por lo que resulta impráctico contemplar su aplicación a nivel industrial sin previos registros de ello.

**Figura 8.**

*Diagrama de proceso de extracción de fructooligosacáridos.*



*Nota.* Se esquematiza el proceso en forma de diagrama de bloques, con el fin de sintetizar procesos y describir eficazmente esta tecnología.

### 3.2 Selección del proceso de producción de edulcorante líquido más adecuado a nivel industrial

#### 3.2.1 Matriz de decisión ponderada: proceso de producción

Para la selección del proceso de producción, se contemplan múltiples parámetros que incluyen el ámbito de escalabilidad, financiero, de seguridad (procesos e industrial), ambiental y finalmente el ámbito de eficiencia en el proceso, de manera que a partir de una calificación y una posterior ponderación se pueda determinar la viabilidad del proyecto, y así poder llevar a cabo la estructuración y planeación de este para la producción del endulzante.

Para este proceso de selección y decisión se requiere de una herramienta cuantitativa que involucre e identifique distintas etapas del proceso de producción de edulcorante líquido y las compare mediante un arreglo multidimensional conocido comúnmente como matriz de decisión, es por esto que para determinar el proceso de producción óptimo que se ajuste al presupuesto y horizonte del

proyecto es mediante una matriz de decisión ponderada, a través de esta herramienta podremos evaluar ciertos parámetros considerados esenciales para el proceso productivo, dichos parámetros se les otorgará un valor establecido en una escala de ponderación de uno a cinco (1-5) siendo 5 el mayor valor de calificación, en cuanto a la relevancia del asunto en cuestión, por ende, el 1 es el valor que representa la menor significancia del parámetro en la matriz, asimismo se calificará cada parámetro con respecto a los procesos de producción involucrados con un valor de uno a cinco (1-5) con el fin de determinar un valor ponderado total y aquel proceso que obtenga el mayor valor será el seleccionado.

Por otra parte, para una adecuada selección de método, se aplica el criterio de decisión optimista, o también conocido como maxi-max, el cual describe que, en cada categoría, se consideran los valores máximos los cuales determinarán la favorabilidad del proceso implementado, es decir que cualquiera que fuese la decisión tomada, el estado que resulte, será el más favorable.[36]

En la tabla 8, se determinan los valores calificativos para la evaluación de cada parámetro por tipo de proceso.

**Tabla 8.**

*Valores de referencia de calificación para la matriz ponderada de decisión. Elaboración propia*

CALIFICACIÓN				
1	2	3	4	5
<b>Inviable</b>	Poca viabilidad	Viabilidad media	Viable	Viabilidad conveniente

*Nota.* Se muestran los valores de calificación y su significado en la escala.

**Parámetros de selección.**

- **Parámetro de eficiencia de proceso.**

En primer lugar, se encuentra la eficiencia, la cual incluye el rendimiento global del proceso, las eficiencias individuales de equipos, y los posibles recirculamientos que se puedan dar durante la fabricación del producto, aquí, se tienen en cuenta las fuentes

bibliográficas de los procesos involucrados, de manera que se evalúa según las investigaciones ya realizadas en la industria.

*Valoración:* Por lo anterior su calificación se determina en cuatro (4), por lo que se tiene en cuenta que el producto posee un porcentaje considerable de residuos y agua que automáticamente disminuyen el valor de este parámetro, y se necesita un proceso adecuado para estabilizar este valor, adicionando que, al tener el cumplimiento de requisitos junto con el ámbito financiero y ambiental, se contempla una fuerte viabilidad del proyecto.

- **Parámetro financiero.**

En segunda instancia se encuentra el parámetro financiero, el cual es clave para la viabilidad económica del proyecto; en este se contemplan los precios de equipos, materia prima, transportes y de tecnología del proceso, de igual forma se contempla la inversión de la mano de obra de personal capacitado y el adecuamiento de la planta para la implementación de la tecnología.

*Valoración:* su calificación frente al método de ponderado corresponde al nivel cuatro (4) debido a que, en la industria alimentaria en Colombia, el éxito de un producto radica en las ganancias reflejadas por el mismo en el mercado, en este caso se está tratando con un producto con origen natural, en donde se contemplan múltiples costos relevantes como tratamiento de suelos, transporte, adaptación de condiciones para cultivo, reconocimiento en el mercado, etc. dando a entender que en términos de viabilidad es importante conocer y determinar el balance y la buena administración de los posibles costos del proyecto.

- **Parámetro de escalabilidad.**

Teniendo en cuenta el tercer objetivo del proyecto, se determina que la elaboración del jarabe es netamente artesanal, por lo que la escalabilidad del proceso de producción, desde el nivel industrial es un factor importante al momento de evaluar la factibilidad de operación. El impacto de este parámetro radica en la similaridad que pueden tener los equipos, es decir que puedan realizar la misma operación sin distar en gran magnitud del producto final esperado, además de eso que se puedan tener las sustancias químicas

necesarias sin tener restricciones de ley por adquisición, o inclusive que los residuos puedan ser tratados de manera adecuada sin requerir una gran tecnificación, o sin involucrar terceros que eleven el presupuesto del proyecto.

*Valoración:* La escalabilidad obtiene una calificación de cinco (5) debido a que es el pilar del proyecto, y la factibilidad encontrada en esta apoya los demás parámetros, además se tiene en cuenta que no todos los factores de control encontrados en la industria pueden ser replicados a menor escala, teniendo así un filtro estratégico al momento de seleccionar el método de obtención del edulcorante.

- **Parámetro de seguridad**

El tercer parámetro abarca la seguridad industrial y de proceso, en donde se contemplan los posibles riesgos del proceso, los cuales involucran la afección a los trabajadores y a la población cercana de la planta, y por otra parte los riesgos que involucra la posible pérdida de materia prima, producto, equipos e instalaciones.

*Valoración:* se le reconoce con un valor de tres (3) en la escala de calificación de ponderado, esto debido a su impacto medio en la responsabilidad social que se cuenta con el ambiente y frente a la integridad personal de los trabajadores, actualmente múltiples normativas cubren la seguridad de procesos en la industria alimentaria para determinar la validez del proyecto, en este caso la elaboración del jarabe presenta condiciones con baja peligrosidad de manejo y con barreras de control que permiten un desarrollo adecuado del mismo.

- **Parámetro ambiental**

El penúltimo parámetro evaluado es el ambiental, el cual actualmente posee una alta importancia a la hora de ejecutar un proyecto en la industria química, ya que frente a la evolución de las normativas y requerimientos de protección del ecosistema se han creado restricciones y normativas que determinan la seguridad tanto para los seres vivos que puedan afectarse, como para la biósfera que se encuentre expuesta al proceso, aquí también

se incluyen ámbitos de emisiones de gas y fluidos al ambiente, uso de sustancias químicas nocivas, contaminación al suelo, entre otros.

*Valoración:* Su calificación es media en la escala de ponderación (3), debido a que inicialmente el producto es de origen natural, y su transformación en un producto alimenticio descarta múltiples procesos que involucran alto riesgo de contaminación por uso de químicos nocivos, radiactivos y/o tóxicos.

Teniendo en cuenta los anteriores valores posibles por parámetro, se determina que el mínimo valor que un proceso puede obtener, es decir que muestra la mínima viabilidad para el proyecto, es de 19 puntos, y el máximo valor que refleja la mayor viabilidad posible, es de 95 puntos en total.

**Tabla 9.**

*Matriz de selección ponderada: proceso de elaboración de edulcorante*

**MATRÍZ DE DECISIÓN PONDERADA**

Parámetro	Escalabilidad (5)		Eficiencia (4)		Financiero (4)		Seguridad (3)		Ambiental (3)		TOTAL
	Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado	
<b>Liofilización</b>	4	20	4	16	3	12	4	12	4	12	72
<b>Ultrasonido</b>	2	10	4	16	2	8	3	9	4	12	55
<b>Secado por aspersión</b>	2	10	3	12	4	16	4	12	4	12	62
<b>Evaporación y concentración</b>	5	25	3	12	4	16	5	15	4	12	80
<b>Extracción de fructanos y fructooligosacáridos</b>	2	10	3	12	3	12	4	12	3	9	55

*Nota.* La tabla representa la matriz de decisión realizada frente a los cinco factores de calificación para los procesos analizados, se identifican las calificaciones y sus resultados en el costado derecho de la tabla; el proceso de evaporación y concentración cuenta con el valor más alto entre los resultados.

Ahora bien, aplicando el criterio de selección optimista, se puede evidenciar en la tabla 9 que, los puntajes máximos ponderados por categoría se encuentran entre los valores de 20 y 25, y el puntaje mayor entre estos lo determina el proceso de evaporación y concentración, obteniendo en la categoría de escalabilidad un total de 25.

**Tabla 10.**

*Puntajes obtenidos por proceso para análisis de decisión: criterio optimista.*

<b>PROCESO</b>	<b>CATEGORÍA DE MÁXIMO PUNTAJE</b>	<b>PUNTAJE</b>
<b>Liofilización</b>	Escalabilidad	20
<b>Ultrasonido</b>	Eficiencia	16
<b>Secado por aspersión</b>	Financiero	16
<b>Evaporación y concentración</b>	Escalabilidad	25
<b>Extracción de fructanos y fructooligosacáridos</b>	Eficiencia	12

*Nota.* En la tabla se identifican los valores máximos por categoría según el criterio seleccionado: maxi-max: el puntaje sobresaliente es del factor financiero correspondiente al proceso de evaporación y concentración. Tomada de: fuente propia.

Según la anterior matriz de selección (tabla 9), y la extracción de los valores máximos por criterio maxi-max (tabla 10), se determina que el proceso con mayor viabilidad para la implementación de un proceso para la elaboración de un endulzante para personas con limitaciones en la ingesta de azúcar a partir del tubérculo yacón, es el proceso de evaporación y concentración, teniendo presente que este proceso cuenta con el mayor valor entre los máximos de todos los métodos por categoría.

Principalmente, se tiene una fuerte ventaja de este proceso frente a los demás por su escalabilidad en cuanto a uso de equipos y tecnología de proceso, ya que como anteriormente se describe, es importante reconocer qué tipo de maquinaria puede replicar operaciones unitarias del proceso, sin comprometer en gran nivel el resultado final del proceso, además los equipos involucrados en el mismo son de fácil adquisición y uso en la ingeniería, siendo estos incluidos en gran medida por la industria de alimentos; por otra parte, a nivel de carácter de seguridad se refleja una posición positiva para la inclusión en la elaboración del jarabe, ya que al contar con la menor cantidad de

sustancias químicas dentro del proceso, también se reducen criterios de seguridad necesarios para su manejo e inclusión dentro del proceso, así mismo se refleja una ventaja a nivel de adquisición de insumos y tratamiento de estos en etapas posteriores de tratamiento de residuos, aportando a su calificación en el aspecto ambiental y financiero; finalmente se encuentra que, la eficiencia del mismo no es determinado por un puntaje ideal, debido a que por evaporación, una gran cantidad de agua se pierde en el procedimiento artesanal, sin embargo al ser comparado con los demás procesos, se verifica su aceptación para el posterior dimensionamiento.

Los demás procesos de obtención de edulcorante cuentan con factores importantes para su comparación frente al de evaporación y concentración, es decir que en demás categorías como eficiencia, los procesos de liofilización y ultrasonido determinan un puntaje mayor, sin embargo por acción del parámetro de escalabilidad es inviable la implementación de estas tecnologías puntuales para la ejecución del proyecto, así mismo los sistemas de instrumentación y control se ven afectados por la falta de tecnificación que se tendría en la vía artesanal, por lo que la calidad del producto se evaluaría con un alta incertidumbre en el desarrollo del proceso.

A escala menor, es decir artesanal, se cuenta que se realiza el mismo procedimiento, seleccionando así los equipos similares de menor escala que permitan cumplir a cabalidad con el proceso para una correcta ejecución.

**Nota.** Con el fin de brindar claridad en cuanto al termino “escala artesanal”, para este documento se decide implementar este término, pues se determina que es el más adecuado para la descripción del proceso, el cual es llevado a cabo por equipos no técnicos de uso doméstico, además de ser a una escala pequeña, donde no se implementan controles tecnificados como a nivel planta piloto o incluso en laboratorio.

### **3.3 Proceso de obtención del jarabe de Yacón (*Smallanthus Sonchifolius*)**

A continuación, se describe el proceso a seguir para la obtención del jarabe de yacón, incluyendo el pretratamiento de la materia prima, el cual es importante para garantizar un correcto procesamiento de esta.



Para el proceso de elaboración del edulcorante se plantea un esquema de producción por lotes; pues su carácter artesanal no permite una continuidad del proceso, ya sea por la cantidad de materia prima implementada, y así mismo por el tratamiento y mantenimiento de equipos al finalizar cada operación.

Al ser un producto de consumo humano se requiere una correcta práctica al momento de manipular los insumos, de modo que es fundamental el uso de guantes, tapabocas, y cofia, con el fin de minimizar la contaminación con el producto, en la primera etapa del proceso correspondiente a la adecuación de la materia prima se realiza un cambio en el pH del medio con el fin de eliminar microorganismos, por otro lado se tienen elevaciones de temperatura (hasta los 84°C) los cuales también eliminan microorganismos que puedan encontrarse en el medio, y finalmente se conserva el producto en una condición de refrigeración (3°C); estos cambios funcionan debido a que los microorganismos presentes en ambientes comunes no son extremófilos, es decir no soportan condiciones extremas en el medio. Así mismo el ambiente se adecúa de forma que se garantice la mayor inocuidad posible, reduciendo la entrada de corrientes de aire provenientes de ambientes externos, limpieza y desinfección de superficies y equipos utilizados, correcta manipulación de los utensilios, entre otros.

### ***3.3.1 Selección de la materia prima***

La materia prima se selecciona de acuerdo a criterios como el tipo de tubérculo o el peso de este: respecto al tipo de tubérculo a utilizar, el yacón puede presentar vetas moradas y vetas blancas, de tal modo que es importante definir qué clase específica de materia se implementará en el proceso, para este caso puntual se ha seleccionado el yacón con vetas blancas pues es el que se encuentra en el mercado zonal (Bogotá D.C.) con facilidad; en cuanto al tipo de tubérculo con vetas moradas puede estar presente en climas y condiciones de cultivo diferente pues los dos tubérculos tienen las mismas características, propiedades y clasificación, siendo las vetas que se logran distinguir al momento de hacer el corte lo único que los diferencia; posteriormente se eligen tubérculos de las mismas características físicas tales como tamaño y peso, buscando obtener uniformidad de masa de cada unidad del tubérculo.

### ***3.3.2 Eliminación de impurezas presentes en la corteza***

La eliminación de impurezas se le realiza a la raíz de yacón puesto que es la parte de la planta que tiene importancia dentro del proceso, la raíz está en permanente contacto con la tierra de modo que al ser extraída presenta una gran suciedad propia del entorno en el que crece tal como pequeños organismos, lodo, o pequeñas rocas; de tal forma de es de suma importancia retirar todas estas impurezas que afectan no solo la calidad sino también la elaboración del endulzante y la eficiencia de los equipos de producción. Esta operación puede hacerse de diferentes maneras, se puede realizar un prelavado, eliminar impurezas superficiales por medio de corrientes de aire o de forma manual.

### ***3.3.3 Lavado***

Es necesario realizar el lavado con el fin de eliminar impurezas remanentes de la etapa anterior con las impurezas superficiales, en esta etapa de proceso se busca eliminar microorganismos y lograr la desinfección de la raíz de yacón. De modo que se adiciona ácido acético en solución (30:1) [37] con el fin de disminuir la presencia de microorganismos remanente en la corteza presentes en la corteza, por medio del cambio de pH en el medio.

### ***3.3.4 Ecurrido***

En esta etapa de proceso se busca eliminar el exceso de agua que pudo haber quedado del lavado, para facilitar la manipulación en las etapas posteriores al proceso. Esta operación puede ser llevada a cabo con secadores industriales o simplemente exponiendo la raíz de yacón a las corrientes de aire del ambiente, o bien involucrando una fina tela absorbente para remover el agua superficial. Este proceso se da a temperatura ambiente.

### ***3.3.5 Pelado***

Esta etapa es importante debido a que es necesario eliminar la piel de la raíz porque en esta se encuentran diferentes componentes que afectan negativamente la calidad del jarabe, por ejemplo en la piel se encuentran los componentes responsables del pardeamiento del zumo, adicionalmente que al dejar la piel al momento de procesar la raíz, el zumo tendrá un sabor poco agradable o

amargo, de tal modo que un buen proceso de pelado es determinante para la calidad del jarabe que se busca obtener [13]. En cuanto a la operación como tal, el pelado puede ser bien sea mecánico con un pelador o mediante pelado químico con sustancias como el hidróxido de sodio; considerando que el yacón presenta una corteza y no una piel suave y delgada se opta por el pelado mecánico, debido a que el químico se utiliza más que todo en frutas y hortalizas con una capa muy delgada de piel tales como el tomate. La corteza del yacón es de aproximadamente 2 mm de grosor y al momento de pelar el tubérculo se pierde de manera aproximada del 20% de su peso inicial [37].

### **3.3.6 Cortado**

El corte del yacón se realiza debido a facilitar su manipulación para la operación posterior, en el caso puntual de este proceso, se implementa el uso de un extractor por lo cual el tamaño en el que se corta el tubérculo está sujeto a él diámetro de la alimentación al extractor; se busca cortar en bastones del ancho adecuado para entrar fácilmente en la boca del extractor, el largo de los bastones no tiene mucha relevancia pues puede dejarse del largo propio que tenga la unidad de yacón en cuestión.

En esta etapa del proceso, empieza a aparecer el pardeamiento pues el yacón se encuentra expuesto al ambiente por ende empieza a tener cabida la reacción de Maillard [20].

### **3.3.7 Extracción**

La extracción es el comienzo de lo que es el proceso de producción del jugo pues ya se empieza a transformar la materia prima, esta consiste en obtener el zumo de yacón. Esta operación se lleva a cabo mediante acción mecánica, en el caso de utilizar una trituradora de cualquier tipo se tiene que pasar por un filtro de forma posterior debido a que se tiene que separar la pulpa del zumo, sin embargo, con el fin de reducir tiempos del proceso, se elige un extractor en el cual no es necesario filtrar pues se obtiene directamente el jugo. El tiempo de residencia de cada bastón en el extractor es de 10 s aproximadamente y el tiempo de operación en esta unidad está ligada al número de bastones que salgan de la operación de cortado.

### **3.3.8 Filtrado 1**

Esta etapa se realiza con el fin de eliminar los sólidos en suspensión que puedan haber atravesado el tamiz interno del extractor, de modo que se filtra con una tela fina con tamaño de apertura en un rango de 1,41-1,68 mm correspondientes a mallas 14 y 12 respectivamente [38], la operación se realiza por acción de la fuerza de gravedad y toma un tiempo de 10 minutos por cada 500 mL de zumo. No se ejerce fuerza sobre la tela pues esto podría provocar la ruptura de esta o la modificación del tamaño de tamiz.

### **3.3.9 Acondicionamiento del zumo**

Como se menciona anteriormente, después de retirar la corteza del tubérculo empieza a ocurrir la reacción de Maillard, de modo que el zumo cambia con el paso de los minutos de un color amarillo muy tenue a un café/ verde oscuro. De modo que para evitar que el zumo se pardee en exceso y con el fin de inhibir su oxidación, se realiza un acondicionamiento del líquido, introduciéndolo a baño maría por 30-40 minutos, el agua que se utiliza para calentarlo, se encuentra a una temperatura de entre 70-80 °C, esto logra inactivar las enzimas polifenol oxidasas, responsables del pardeamiento [20]. Transcurrido este tiempo el zumo obtenido habrá cambiado su coloración y estará más clara; de forma adicional se puede emplear ácido cítrico, esto debido a que, si se recibe el zumo en una solución antioxidante, se puede evitar la oxidación de este; sin embargo, la adición del ácido cítrico en solución tiene que hacerse inmediatamente el zumo salga del extractor pues el proceso de pardeamiento rara vez es reversible

### **3.3.10 Concentración**

La concentración es la etapa del proceso en donde se obtiene el jarabe de yacón, esta operación se realiza debido a la matriz de selección expuesta en capítulos anteriores. Consiste en evaporar el agua presente en el zumo y se concentran los azúcares presentes en este. En esta operación se evidencia el cambio de color, se intensifican propiedades organolépticas como el olor y la textura.

Durante esta operación se empiezan a separar compuestos presentes en zumo como grasas, carbohidratos, incluso impurezas presentes; de modo que se precipita una espuma que tiene que ser retirada [20].

Se tienen dos etapas de concentración; en la primera se hace una preconcentración del jarabe en la cual la temperatura es de 80°C, la segunda etapa es la concentración del jarabe donde la temperatura se encuentra en 93°C. Durante toda la etapa de concentración se mezcla de forma continua con intensidad media, buscando disminuir las pérdidas ocasionadas por jarabe adherido a las paredes del recipiente de concentración.

### ***3.3.11 Filtrado 2***

El segundo filtrado del proceso se realiza para eliminar por completo todas aquellas partículas que precipitaron y formaron espuma en la etapa anterior, además de sólidos remanentes que atravesaron la primera filtración. De la misma forma se utiliza un filtro de tela con el mismo tamaño de abertura del filtrado 1 y mediante la acción de gravedad.

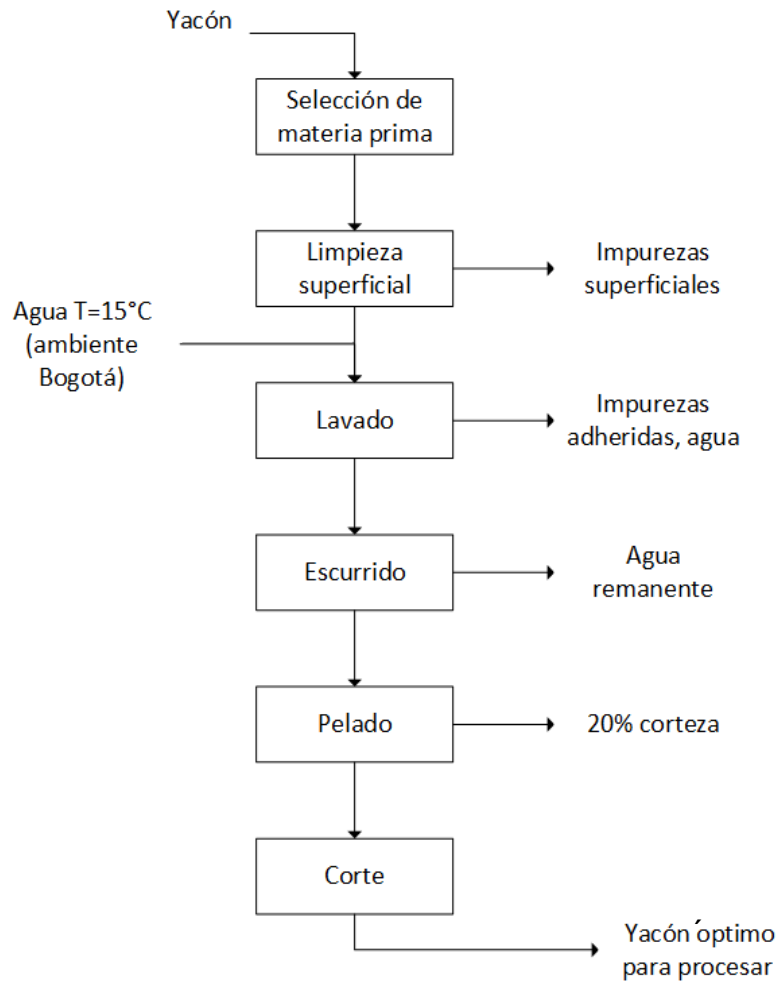
### ***3.3.12 Envasado***

Finalmente se realiza la operación de envasado del jarabe, en la cual se requiere una previa desinfección del recipiente a utilizar, de modo que se sumerge en agua hirviendo para eliminar cualquier microorganismo presente en el recipiente. con el fin de buscar la mayor inocuidad posible se eligen recipientes de vidrio con cierre hermético para envasar el jarabe. La temperatura que se maneja en envasado no debe ser menor a 60°C, esto con el fin de disminuir el riesgo de contaminación por microorganismos a temperaturas bajas.

Se esquematiza el proceso de pretratamiento por medio de un diagrama de bloques, mostrado en la figura 9, y de igual forma el proceso de producción está esquematizado en la figura 10.

**Figura 9.**

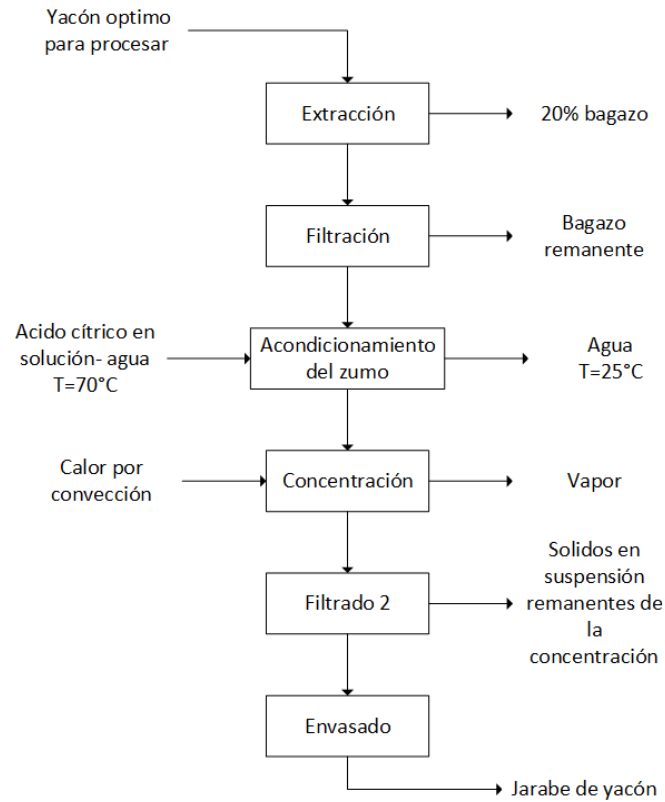
*Diagrama de bloques del pretratamiento artesanal*



**Nota.** La imagen representa el pretratamiento del yacón para su acondicionamiento en el proceso, se determina la secuencia en: selección de materia prima, limpieza superficial, lavado, escurrido, pelado y corte.

**Figura 10.**

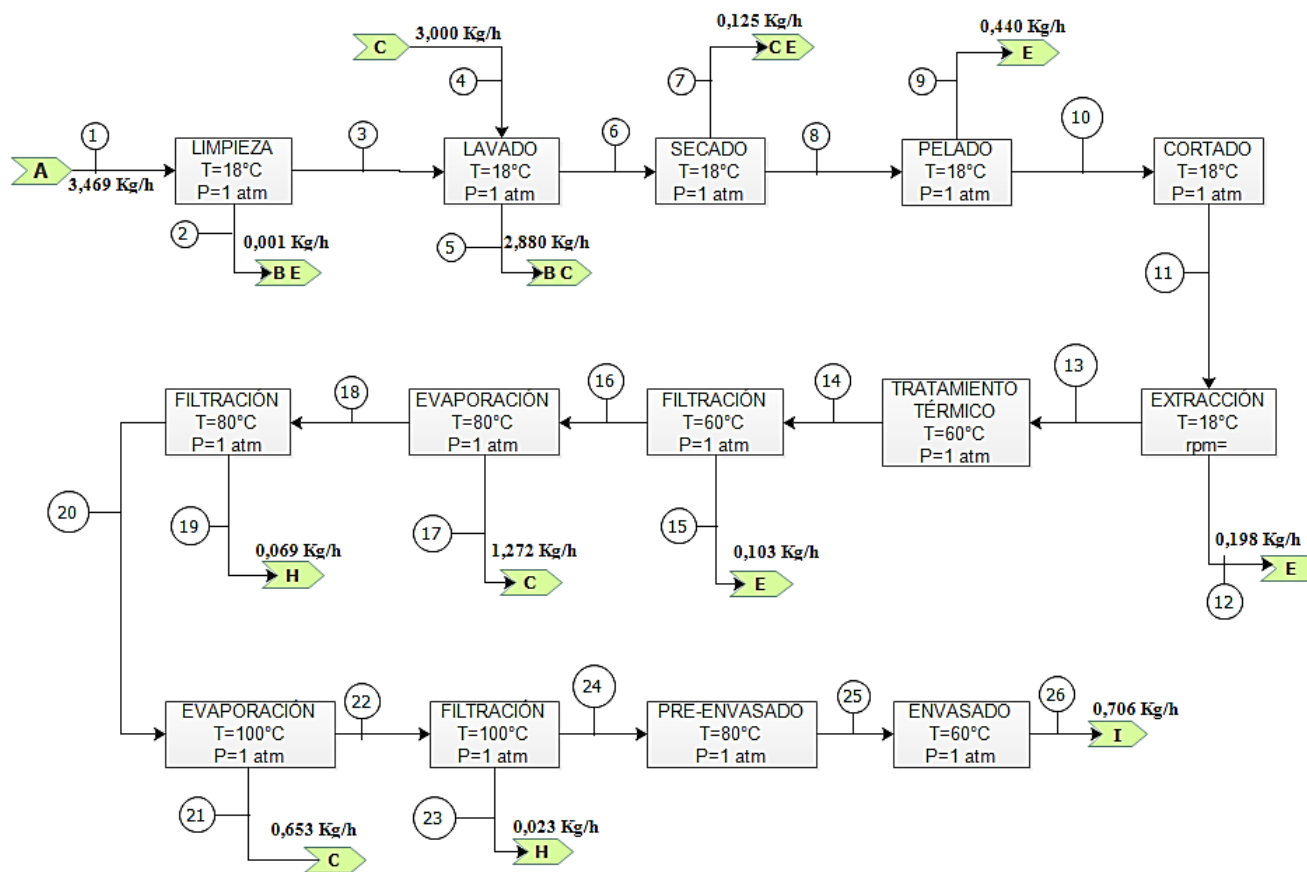
*Diagrama de bloques del proceso de producción*



**Nota.** La imagen representa el tratamiento del yacón para su acondicionamiento en el proceso, se determina la secuencia en: extracción, filtración, acondicionamiento de zumo (Tratamiento térmico), concentración, filtración II y envasado.

**Figura 11.**

*Diagrama BFD del proceso de producción de jarabe de Yacón*



**Nota.** En la imagen se encuentra el diagrama BFD del proceso, el cual contiene las catorce etapas, junto con la descripción de las variables de la misma (temperatura, presión, flujo másico, rpm, etc.) , así mismo cuenta con la descripción de las sustancias que ingresan y salen al proceso por medio de las letras del abecedario (la correspondencia de las mismas se encuentra en el anexo A)



En la figura 11 se puede evidenciar el diagrama BFD del proceso, en el cual se encuentran los diferentes flujos másicos de las corrientes de entrada y salida de cada etapa según corresponde, también se encuentran las principales condiciones operativas por etapa que en este caso son presión y temperatura; para un correcto seguimiento del proceso se encuentran numeradas las corrientes en el cual la línea principal de producción tiene prevalencia. En los anexos se puede encontrar el diagrama con su respectivo rotulo, balance y convenciones para cada una de las letras que encontramos señaladas en este diagrama. Finalmente cabe mencionar que el BFD es un diagrama más simple que el diagrama de procesos PFD pues en este solo se tienen en cuenta las operaciones unitarias y el balance global, por lo que permite una sencilla comprensión a una simple vista.

#### **4. PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL JARABE DE YACÓN (*SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS*) A NIVEL ARTESANAL**

##### **4.1 Equipos**

El proceso se plantea de forma artesanal por consiguiente los equipos, insumos y la materia prima requerida para esto son acordes al lote de producción adecuado para este. A continuación, se realiza la caracterización de los materiales e insumos que se utilizarán tanto en el proceso de producción, pretratamiento de la materia prima y descripción de líneas de servicio.

###### **a. Tanque de lavado**

Empleado para el pretratamiento, el tanque de lavado cumple la función de eliminar las impurezas de la raíz por medio de contención de agua, éste se caracteriza por su amplitud y su volumen (6 Litros) adecuado para la cantidad de masa de yacón.

###### **b. Cepillo de lavado**

En la remoción de partículas indeseadas en la materia prima, es necesario acciones mecánicas para una limpieza profunda, de manera que se selecciona un cepillo con cerdas rígidas de 0,5mm de diámetro para garantizar un buen procedimiento.

###### **c. Pelador**

Se emplea un utensilio de acero inoxidable con una cuchilla de 0.8mm de grosor, la cual cumple con la función de retirar la cáscara del yacón.

###### **d. Utensilios de corte**

Para los procesos de corte y reducción de diámetro de partícula, se emplean 2 cuchillos de diversos tamaños, los cuales poseen una hoja de corte eficiente para el proceso.

#### e. Extractor de jugos

En la fase de extracción del zumo de yacón, existen diversos equipos que permiten llevar a cabo la etapa, tales como la licuadora doméstica convencional, o procesador de alimentos, sin embargo, para el proyecto, es necesario contar con las tecnologías que mejor se adapten al escalamiento del proceso, es decir las que puedan representar una mejor similitud al proceso industrial de la obtención de jarabe de yacón, de modo que el extractor de jugos permite una óptima separación del zumo y del bagazo del tubérculo, aumentando así en primera instancia el rendimiento de la etapa.

Especificaciones del equipo:

- 400 watts
- Cuchilla y colador de acero inoxidable
- Recipiente colector de 28oz
- Material exterior de plástico resistente.

#### f. Recipiente refractario

Posterior a la extracción del zumo, se dispone un recipiente refractario de vidrio que permite elevar su temperatura y la del líquido para preservar su condición de salida, el recipiente tipo pírex, cuenta con un grosor de 7mm el cual soporta temperaturas hasta de 200°C, y así mismo no modifica la estructura del zumo para el proceso.

#### g. Fuente de calor

En procesos intermedios, se determina una elevación de la temperatura, ya sea para la conservación del producto por etapa o para la modificación fisicoquímica del mismo, de manera que está traducida en el empleo de una fuente de calor, generada por la combustión del gas natural doméstico.

#### h. Termómetro.

En las etapas de calentamiento, es esencial el control térmico de la sustancia, de modo que el termómetro de alimentos permite asegurar un seguimiento preciso y adecuado. Su tecnología soporta más de 350°C y por medio de un tablero análogo la lectura que se realiza es fácil e intuitiva.

#### i. Filtro mediano

Para la remoción mecánica de impurezas y bagazo del zumo, se cuenta con un filtro en forma de colador doméstico, que por su tamiz de  $3mm^2$ , recolecta la mayor cantidad de material orgánico indeseado en el producto.

#### j. Microfiltro de tela

En el proceso es necesario contar con la mayor cantidad de pureza para el edulcorante, de modo que una segunda filtración con un medio de menor diámetro de paso puede garantizar una mayor eficiencia, en este caso se implementa un filtro de paño, el cual permite la retención de partículas indeseadas que no pueden ser removidas por otro medio. El número de malla utilizado en este filtro está en el rango entre la malla 8 (2,38 mm de abertura) y la malla 10 (2 mm de abertura), se escoge un filtro de la marca Familia pues cumple con las condiciones de abertura de malla.

#### k. Recipiente evaporador

En la segunda etapa de evaporación se tiene presente un recipiente abierto de acero inoxidable para la liberación del agua en exceso que presenta el jarabe.

#### l. Envase de producto

Para finalizar, el edulcorante debe permanecer en envases esterilizados de vidrio, sellados al vacío, de manera que se permita una mayor preservación del fluido en el periodo de almacenamiento. Su presentación es de (250 mL) y posee una tapa de metal que soporta diferencias de presiones y de igual forma no permite la entrada de sustancias u organismos indeseados al recipiente.

**Tabla 11.**

*Equipos implementados en el proceso de producción del jarabe de yacón.*



Tanque de lavado. (a)



Cepillo de lavado. (b)



Pelador de cáscara. (c)



Utensilios de corte: cuchillos. (d)



Extractor. (e)



Recipiente refractario. (f)



Fuente de calor (g)



Termómetro infrarrojo. (h)



Colador plástico. (i)



Filtro de tela. (j)



Olla a presión doméstica. (k)



Recipiente evaporador. (l)



Recipientes de envasado. (m)

**Nota.** Equipos y materiales utilizados en el proceso de elaboración artesanal de jarabe de yacón, se introducen letras de la (a) a la (m) para la correspondencia del numeral 4.1; Tomado de: Fuente propia, excepción (m): Fuente: <https://www.cajasyempaquesdecolombia.com/wp-content/uploads/imagen-envases-de-vidrio-768x431.jpg>

## **4.2 Insumos**

### m. Agua potable

En el pretratamiento de la materia prima, se determinan procesos de lavado y desinfección, el agua es la sustancia que por excelencia determina condiciones aptas para el acondicionamiento del tubérculo, ya sea eliminando material orgánico como tierra, o siendo el solvente para la desinfección de este. Se utiliza agua potable para la limpieza del tubérculo.

### n. Solución de limpieza y desinfección

En el pretratamiento es importante la eliminación de microorganismos que puedan atentar con la correcta formación del producto endulzante, de manera que por medio de esta solución compuesta por vinagre y agua (30:1) que se realiza posterior a la limpieza principal, se tiene un mayor control en la posible proliferación de sistemas vivos microscópicos en la superficie del tubérculo.

## **4.3 Condiciones experimentales de operación del proceso**

A continuación, en la tabla 12 se evidencian las variables y constantes de operación del proceso, tenidas en cuenta según las condiciones atmosféricas y de temperatura en la ciudad de Bogotá D.C. y así mismo según los valores estipulados para cada etapa según procesos realizados anteriormente para la elaboración del edulcorante de yacón, éstos encontrados específicamente en el documento “Jarabe de yacón: Principios y procesamiento.” [37]

**Tabla 12.***Condiciones de operación proceso de elaboración de jarabe de yacón.*

<b>Código</b>	<b>Equipo</b>	<b>T (°C)</b>	<b>P (Atm)</b>	<b>t (min)</b>	<b>m (Kg )</b>
<b>B-101</b>	Transporte	18	1	8	3,469
<b>T-101</b>	Tanque de lavado	18	1	12	14,500
<b>S-101</b>	Bandeja de secado	18	1	5	10,500
<b>P-101</b>	Pelador	18	1	10	9,900
<b>C-101</b>	Cortadora	18	1	8	8,019
<b>E-201</b>	Extractor	18	1	13	8,019
<b>TT-201</b>	Tratamiento térmico	60	1	12	6,415
<b>F-201</b>	Filtro 1	60	1	9	6,415
<b>H-201</b>	Evaporador 1	70	1	20	6,159
<b>F-202</b>	Filtro 2	70	1	4	4,234
<b>H-202</b>	Evaporador 2	85	1	25	4,149
<b>F-203</b>	Filtro3	85	1	7	2,879
<b>T-301</b>	Equipo Preenvasado	83	1	20	2,822
<b>T-302</b>	Equipo envasado	60	1	3	2,822

*Nota.* Se expresa en la tabla los principales datos de operación del proceso artesanal, entre estos se encuentran los códigos del diagrama PFD, nombre de equipo, temperatura, presión, tiempo de residencia, y masa. Las condiciones de operación 12 corresponden a valores obtenidos en la ciudad de Bogotá-Colombia.

#### **4.4 Descripción del proceso**

En primera instancia se obtiene la materia prima, adquirida en la plaza de mercado de Paloquemao, ubicada en Bogotá- Colombia, se compró una masa total de yacón de 3,469 Kg correspondiente a 11 unidades de este.

Posterior a la adquisición de la materia prima, la fase inicial consta del pretratamiento, primero se pesa la materia prima bruta, es decir con todas las impurezas propias de esta, el valor obtenido fue de 3,469 Kg de yacón. Seguido esto se eliminan las impurezas superficiales correspondientes a ramas, raíces pequeñas y tierra que pueda llegar a tener; al ser un alimento que se obtiene bajo la tierra, este posee gran cantidad de material orgánico indeseado para el proceso, por lo que necesita ser lavado y cepillado con el fin de eliminar las impurezas adheridas a la corteza, para esto se

utilizó un volumen de 3,000 L de agua potable y un cepillo con cerdas duras; al finalizar el proceso de lavado se puede apreciar el color rojizo de la corteza del tubérculo.

Posteriormente se procede a secar la materia prima, debido a que luego del lavado, alcanza a albergar un porcentaje importante de agua en la cáscara, el secado se realiza mediante una tela que permite una correcta transferencia de masa de líquido a la misma, el proceso continúa con el pelado del yacón utilizando un pelador manual retirando de igual forma la materia orgánica que no fue eliminada en anteriores etapas; se procede a pesar la masa sin la corteza obteniendo un valor de 3,024 Kg de materia prima neta, luego se procede a picar el yacón en bastones de 1 cm de diámetro aproximado, con el fin de facilitar la entrada del alimento al extractor de jugos, en el cual por medio de cuchillas y micro filtro de acero inoxidable se logra triturar el yacón y por ende obtener el zumo de mismo, se decide procesar la pulpa dos veces, la primera alimentando el extractor con el yacón recién cortado y la segunda se extrae el zumo remanente en la pulpa resultante de la primera extracción, la cual contiene un alto porcentaje de líquido y de materia prima sin procesar.

De forma inmediata a la recolección del zumo en la primera extracción se realiza un acondicionamiento para evitar el pardeamiento del zumo, este acondicionamiento consiste en poner el zumo obtenido en baño María a una temperatura de 60°C durante 20-25 minutos.

Posterior al acondicionamiento mencionado anteriormente se mide el volumen resultante después de la extracción es de 2,826 L, se debe considerar que dentro de este valor se encuentra sólidos en suspensión correspondientes a pequeñas porciones de pulpa.

Mientras se realiza el acondicionamiento del primer zumo obtenido, se procesa nuevamente el bagazo que queda de la primera extracción con el fin de obtener todo el zumo posible, sin embargo, este zumo tiene un color mucho más oscuro pues estuvo más tiempo en contacto con el ambiente y el pardeamiento del Yacón ocurre muy rápido, de esta segunda extracción se obtienen aproximadamente 480 mL de zumo de Yacón y se le agregan 0,2 g debido a que se le agregan 400 ppm por cada litro de zumo, al obtener medio litro se le agregan 200 ppm de ácido cítrico con el fin de reducir el pardeamiento que este presenta.

Siguiendo con el proceso de producción se procede a filtrar, en primera instancia se procesa el zumo para eliminar los sólidos en suspensión, en el cual se obtiene un volumen de 2200 mL,



posteriormente a el primer equipo de filtración, se procede a separar el bagazo obtenido de la segunda extracción y los sólidos obtenidos del primer proceso de filtrado, mediante una malla de tela. Después de todo el proceso de filtrado se obtiene un volumen de 2723 mL de jugo.

Posteriormente se procede con la etapa de reducción evaporación, en la cual se busca obtener el jarabe de yacón. De modo que se dispone de una fuente de calor y un recipiente con un fondo ancho para facilitar la transferencia de energía, el zumo obtenido se vierte en el recipiente y se mezcla de forma continua a una velocidad moderada-lenta para evitar acumulación en el fondo o en las paredes del recipiente. Con el uso de un termómetro infrarrojo se monitorea la temperatura y al llegar a 80°C, sin dejar de mezclar, se toman dos muestras cada una de 60 mL del prejarabe obtenido hasta esa etapa del proceso, el cual servirá posteriormente para pruebas y análisis. Aproximadamente a esta temperatura empieza a aparecer una espuma y algunos sólidos tienen que ser retirados, mediante una pequeña espátula, posterior a retirar todos estos sólidos se cuantifica el volumen resultante y se obtiene un valor de 1,382 L.

El proceso continua hasta que la temperatura del fluido llega a 83°C donde se evidencia que se ha reducido un 60% aproximadamente del zumo de yacón, de forma que se finaliza el proceso de evaporación, y se retira el zumo de la fuente de calor; se vierte en un recipiente refractario y se deja reposar el jarabe hasta que su temperatura alcanza los 80°C; alcanzada esta temperatura se realiza un último proceso de filtrado con el fin de asegurar que el jarabe no lleva ningún tipo de sólido en suspensión y se cuantifica el volumen obtenido después del proceso de evaporación y se obtiene un volumen de 706 mL de jarabe de yacón, de los cuales se toman dos muestras de 60 mL cada una para pruebas y análisis posteriores.

De forma paralela al proceso de enfriamiento del zumo, se lavan y se esterilizan los envases en los que se va a almacenar el producto; para así realizar de forma rápida y eficiente el envasado del producto final, el cual se vierte a una temperatura aproximada de 60°C para evitar la contaminación del mismo por agentes externos.

#### **4.5 Balance de masa**

A continuación, se determina un balance de masa global y por equipos.

#### 4.5.1 Balance por equipos

El balance de masa se presenta por equipos, de modo que las corrientes de entrada determinan directamente el valor másico de las corrientes de salida, en la tabla 13, se identifica el número de la corriente y las respectivas sustancias que vienen en ella, de igual forma se puede identificar en la tercera columna la fase a la que corresponden las mismas, siendo L: líquido, G: gas, y S: sólido.

**Tabla 13.**

*Numeración de corrientes, sustancias involucradas en las mismas y su estado.*

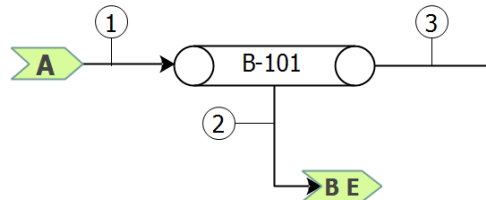
Corriente	Sustancias	Fase	Corriente	Sustancias	Fase
1	Tubérculo Yacón	S	14	Jugo de yacón	L
2	Impurezas superficiales, material orgánico	S	15	Material orgánico (Bagazo de yacón)	S
3	Tubérculo Yacón	S	16	Jugo de yacón	L
4	Agua	L	17	Agua evaporada	G
5	Agua, impurezas superficiales	L, S	18	Pre-jarabe de yacón	L
6	Yacón lavado	S	19	Sobrenadante (Azúcares cristalizados)	S
7	Agua	L	20	Pre-jarabe de yacón	L
8	Yacón lavado y secado	S	21	Agua evaporada	G
9	Material orgánico (Cáscaras de yacón)	S	22	Jarabe de yacón	L
10	Pulpa de yacón	S	23	Sobrenadante (Azúcares cristalizados)	S
11	Pulpa de yacón cortada	S	24	Jarabe de yacón	L
12	Material orgánico (Bagazo de yacón)	S	25	Jarabe de yacón	L
13	Jugo de yacón	L	26	Jarabe de yacón	L

**Nota.** Se encuentran en la tabla las corrientes del proceso enumeradas, junto con la fase en que se encuentra la sustancia correspondiente.

- Banda transportadora

**Figura 12.**

*Banda transportadora PFD elaboración jarabe de yacón.*



**Nota.** Diagrama de banda transportadora, ingresa corriente 1, salen corrientes 2 y 3.

$$F_1 = F_2 + F_3$$

$$F_1 = 3,469 \text{ kg}$$

$$F_2 = 0,001 \text{ kg}$$

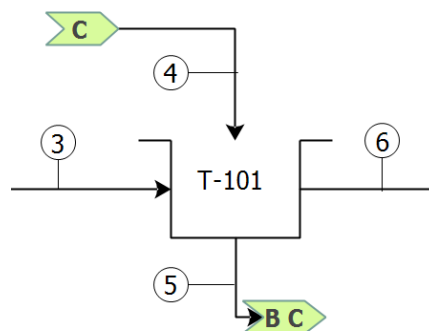
$$F_3 = 3,469 \text{ kg} - 0,001 \text{ kg}$$

$$F_3 = 3,468 \text{ kg}$$

- Tanque de lavado

**Figura 13.**

*Tanque de lavado PFD elaboración jarabe de yacón.*



**Nota.** Diagrama de tanque de lavado, ingresan corrientes 3 y 4, salen corrientes 5 y 6.

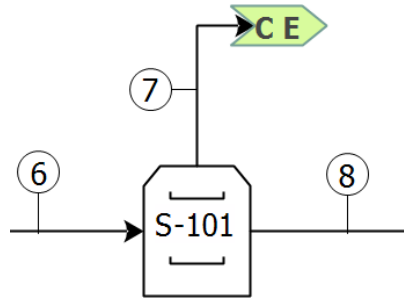
$$F_3 + F_4 = F_5 + F_6$$

$$3,468kg + 3,000kg = 2,880kg + 3,588kg$$

- Bandeja de secado

**Figura 14.**

*Bandeja de secado PFD elaboración jarabe de yacón.*



**Nota.** Diagrama de bandeja de secado, ingresa corriente 6, salen corrientes 7 y 8.

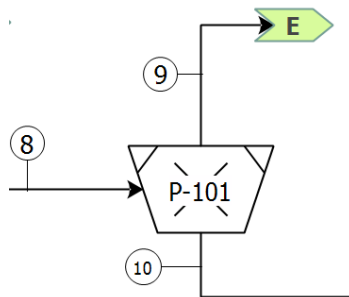
$$F_6 = F_7 + F_8$$

$$F_6 = 0,125kg + 3,464kg$$

- Equipo de pelado

**Figura 15.**

*Equipo de pelado PFD elaboración jarabe de yacón.*



**Nota.** Diagrama de equipo de pelado, ingresa corriente 8, salen corrientes 9 y 10.

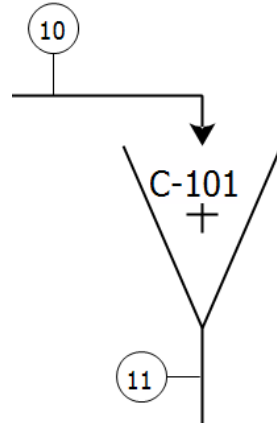
$$F_8 = F_9 + F_{10}$$

$$F_8 = 0,440kg + 3,024kg$$

- Equipo de cortado

**Figura 16.**

*Equipo de cortado PFD elaboración jarabe de yacón.*



**Nota.** Diagrama de equipo de cortado, ingresa corriente 10, sale corriente 11.

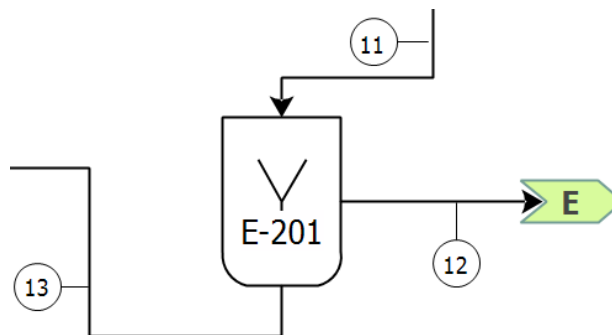
$$F_{10} = F_{11}$$

$$F_{10} = 3,024kg = F_{11}$$

- Extractor

**Figura 17.**

*Extractor PFD elaboración jarabe de yacón.*



**Nota.** Diagrama de equipo de extracción, ingresa corriente 11, salen corrientes 12 y 13.

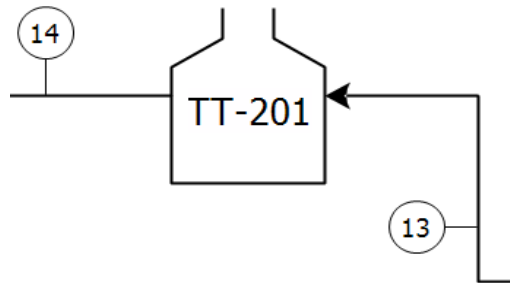
$$F_{11} = F_{12} + F_{13}$$

$$F_{11} = 0,198kg + 2,826kg$$

- Tratamiento térmico

**Figura 18.**

*Tratamiento térmico PFD elaboración jarabe de yacón.*



**Nota.** Diagrama de equipo de tratamiento térmico, ingresa corriente 13, sale corriente 14.

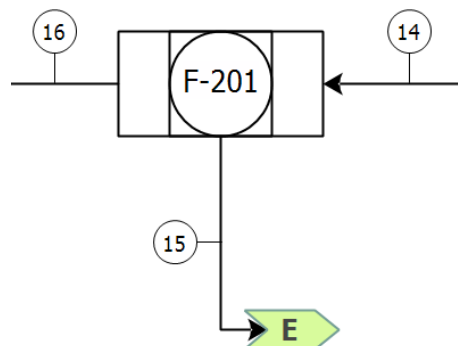
$$F_{13} = F_{14}$$

$$F_{13} = 2,826kg = F_{14}$$

- Filtrado I: Jugo de yacón

**Figura 19.**

*Filtro I PFD elaboración jarabe de yacón.*



**Nota.** Diagrama de equipo de filtración, ingresa corriente 14, salen corrientes 15 y 16.

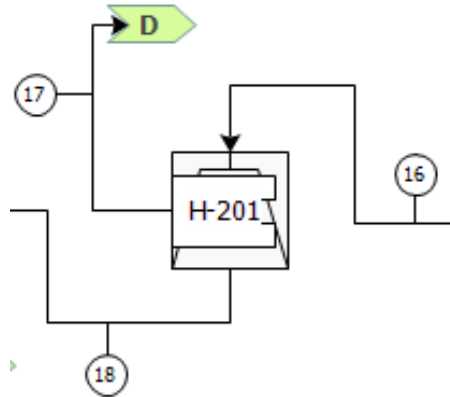
$$F_{14} = F_{15} + F_{16}$$

$$F_{14} = 0,103kg + 2,723kg$$

- Evaporador I: Prejarabe de yacón

**Figura 20.**

*Evaporador I PFD elaboración jarabe de yacón.*



**Nota.** Diagrama de equipo de evaporación I, ingresa corriente 16, salen corrientes 17 y 18.

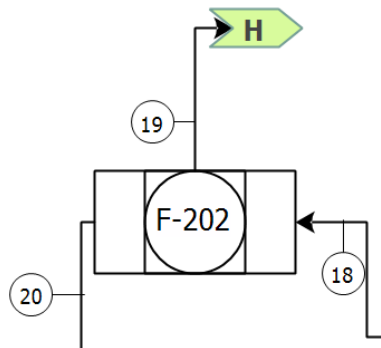
$$F_{16} = F_{17} + F_{18}$$

$$F_{16} = 1,272kg + 1,451kg$$

- Filtrado II: Pre-jarabe de yacón

**Figura 21.**

*Filtro II PFD elaboración jarabe de yacón.*



**Nota.** Diagrama de equipo filtrado II, ingresa corriente 18, salen corrientes 19 y 20.

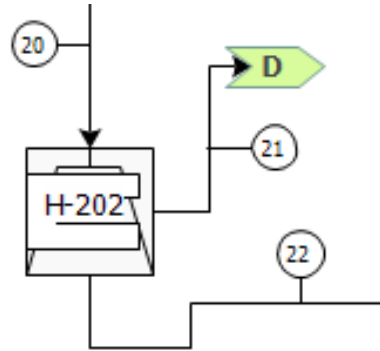
$$F_{18} = F_{19} + F_{20}$$

$$F_{18} = 0,069kg + 1,382kg$$

- Evaporador II: Jarabe de yacón

**Figura 22.**

*Evaporador II PFD elaboración jarabe de yacón.*



**Nota.** Diagrama de equipo de evaporación II, ingresa corriente 20, salen corrientes 21 y 22.

$$F_{20} = F_{21} + F_{22}$$

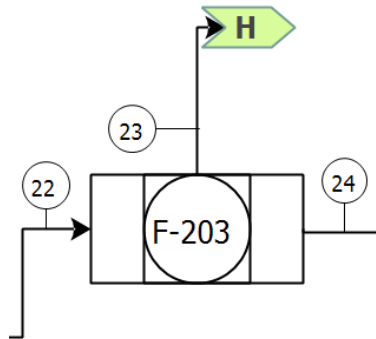
$$F_{20} = 0,653kg + 0,729kg$$



- Filtrado III: Jarabe de yacón

**Figura 23.**

*Filtro III PFD elaboración jarabe de yacón.*



**Nota.** Diagrama de equipo de filtrado III, ingresa corriente 22, salen corrientes 23 y 24.

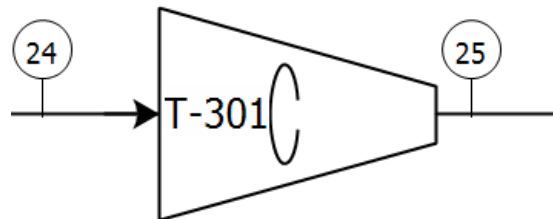
$$F_{22} = F_{23} + F_{24}$$

$$F_{22} = 0,023kg + 0,706kg$$

- Pre-ensado: Jarabe de yacón

**Figura 24.**

*Pre- envasado PFD elaboración jarabe de yacón.*



**Nota.** Diagrama de equipo de pre envasado, ingresa corriente 24, sale corriente 25.

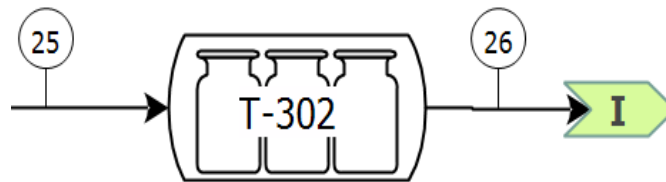
$$F_{24} = F_{25}$$

$$F_{24} = 0,706kg = F_{25}$$

- Envasado: Jarabe de yacón

**Figura 25.**

*Envasado PFD elaboración jarabe de yacón.*



**Nota.** Diagrama de equipo de envasado, ingresa corriente 25, sale corriente 26.

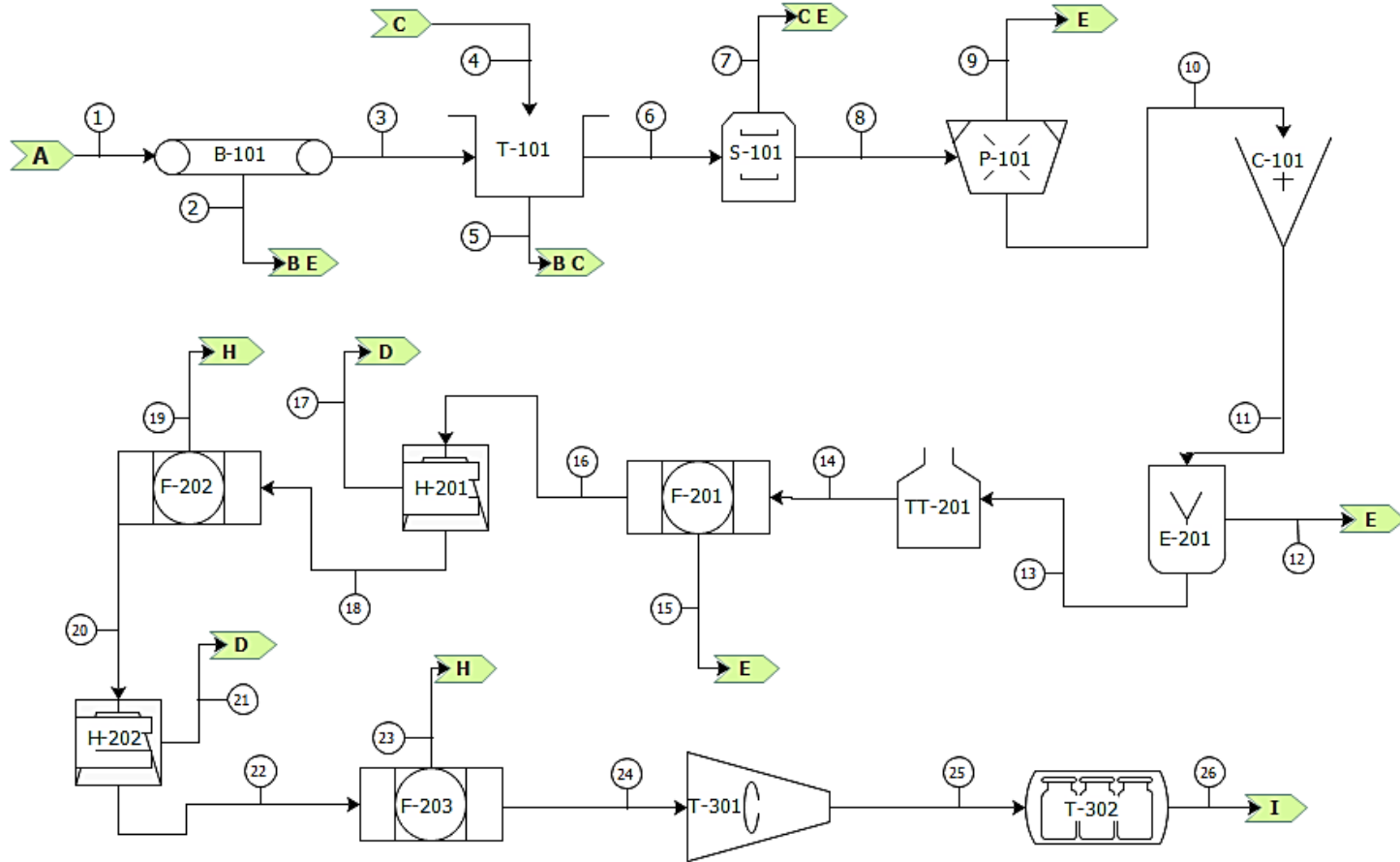
$$F_{25} = F_{26}$$

$$F_{25} = 0,706kg = F_{26}$$

4.5.2 Balance Global de Materia de Proceso

Figura 26.

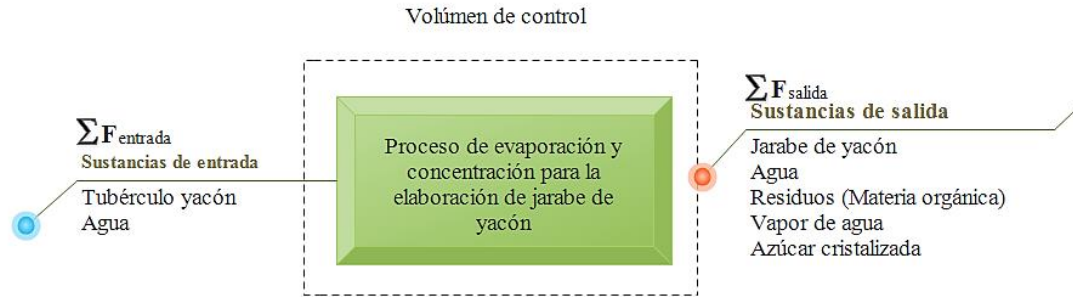
Diagrama PFD elaboración jarabe de yacón.



**Nota.** Diagrama PFD de proceso productivo artesanal de jarabe de yacón, se describe el número de corrientes, junto con los códigos respectivos de los equipos y en las flechas se conotan las sustancias de entrada y salida del proceso.

**Figura 27**

*Esquema volumen de control proceso de producción de edulcorante de yacón*



**Nota.** En la figura se muestra el volumen de control implementado para la realización del balance de materia del proceso de producción artesanal del edulcorante a base de yacón, en este se muestran las sustancias correspondientes a las corrientes de entrada y de salida del mismo.

A continuación, se determina el balance global másico por medio de la ecuación 1.

$$\text{Entra} + (\text{Genera} - \text{Consume}) = \text{Sale} + \text{Acumula}$$

**Ecuación 1.**

Balance másico por flujos de entrada y salida de proceso

$$\Sigma F_{\text{Entrada}} = \Sigma F_{\text{Salida}}$$

**Nota.** La ecuación describe el balance de materia involucrado en las corrientes de proceso, de manera que la sumatoria de las corrientes, determinará el valor requerido para su corroboración y determinación de residuos, corrientes de agua, producto, etc.

$$F_1 + F_4 = F_2 + F_5 + F_7 + F_9 + F_{12} + F_{15} + F_{17} + F_{19} + F_{21} + F_{23} + F_{26}$$

$$F_1 + F_4 = 0,001kg + 2,880kg + 0,125kg + 0,440kg + 0,198kg + 0,103kg + 1,272kg + 0,069kg + 0,653kg + 0,023kg + 0,706kg$$

$$F_1 + F_4 = \mathbf{6,469kg}$$

$$3,469Kg + 3,000Kg = F_2 + F_5 + F_7 + F_9 + F_{12} + F_{15} + F_{17} + F_{19} + F_{21} + F_{23} + F_{26}$$

$$\mathbf{6,469Kg} = F_2 + F_5 + F_7 + F_9 + F_{12} + F_{15} + F_{17} + F_{19} + F_{21} + F_{23} + F_{26}$$

## Rendimiento experimental de proceso

### Ecuación 2.

*Rendimiento experimental del proceso*

$$\text{Rendimiento}_{exp.} = \frac{\text{Masa Jarabe de Yacón Obtenido}_{exp.} (kg)}{\text{Masa de Tubérculo Yacón Utilizado}_{exp.} (kg)} * 100$$

*Nota.* Se describe el rendimiento experimental del proceso por medio de la masa requerida para el desarrollo del mismo, en forma de yacón crudo, y se compara frente al jarabe como producto final obtenido.

$$\text{Rendimiento}_{exp} = \frac{0,706 \text{ kg}}{3,469 \text{ kg}} * 100 = 20,4\%$$

### 4.5.3 Balance de masa teórico

El balance de masa teórico se encuentra en forma de tabla en anexos, la información se encuentra en [17]

$$\begin{aligned} F_1 + F_4 &= F_2 + F_5 + F_7 + F_9 + F_{12} + F_{15} + F_{17} + F_{19} + F_{21} + F_{23} + F_{26} \\ F_1 + F_4 &= 0,100 \text{ kg} + 4,400 \text{ kg} + 0,600 \text{ kg} + 1,881 \text{ kg} + 1,604 \text{ kg} + 0,257 \text{ kg} + 1,925 \text{ kg} \\ &\quad + 0,085 \text{ kg} + 1,270 \text{ kg} + 0,058 \text{ kg} + 2,822 \text{ kg} \\ F_1 + F_4 &= \mathbf{15,000Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 10,000Kg + 5,000Kg &= F_7 + F_5 + F_7 + F_9 + F_{12} + F_{15} + F_{17} + F_{19} + F_{21} + F_{23} + F_{26} \\ \mathbf{15,000Kg} &= F_7 + F_5 + F_7 + F_9 + F_{12} + F_{15} + F_{17} + F_{19} + F_{21} + F_{23} + F_{26} \end{aligned}$$

### Rendimiento teórico de proceso

Para este segmento del proyecto, se basaron los valores teóricos en el documento “Jarabe de yacón: Principios y procesamiento” [37], de manera que los porcentajes y valores de insumos y materias primas fueron implementados en el presente proyecto, para así tener una relación adecuada en valores de rendimiento y eficiencia.

### Ecuación 3.

*Rendimiento teórico del proceso.*

$$\text{Rendimiento}_{\text{teórico}} = \frac{\text{Masa Jarabe de Yacón Obtenido}_{\text{teórico}} \text{ (kg)}}{\text{Masa de Tubérculo Yacón Utilizado}_{\text{teórico}} \text{ (kg)}} * 100$$

**Nota.** Se describe el rendimiento teórico del proceso por medio de la relación encontrada en la teoría, en donde también se realiza un respectivo balance másico.

$$\text{Rendimiento}_{\text{teórico}} = \frac{2,822 \text{ kg}}{10,000 \text{ kg}} * 100 = 28,2\%$$

#### 4.5.4 Eficiencia

### Ecuación 4.

*Eficiencia del proceso de producción de jarabe.*

$$N = \frac{\text{Rendimiento experimental}}{\text{Rendimiento Teórico}} * 100$$

**Nota.** La ecuación se obtiene por medio de la relación entre el rendimiento experimental obtenido en el proceso artesanal, y el rendimiento obtenido por bibliografía, así mismo se multiplica por cien para determinar una expresión de porcentaje.

$$N = \frac{0,204}{0,282} * 100 = 72.3\%$$

Se determina que el valor de la eficiencia del proceso favorece directamente los resultados del proyecto, ya que se tiene en cuenta que los residuos involucrados representan un porcentaje alto de la materia prima (18-20% de cáscara, 18-20% de bagazo, 3-5% de fibra, 3-5% de sólidos insolubles de jarabe [37]). La eliminación de los residuos, junto con la evaporación de agua del jugo de yacón, determina una alta relación de la masa de la materia prima, frente a la masa obtenida de edulcorante, es decir que se espera una disminución considerable de esta propiedad física, de manera que al comparar los valores de rendimiento, se tiene que la diferencia porcentual es de 8,2% bajo el valor teórico, reflejando un valor adecuado frente al procedimiento artesanal realizado a distintas condiciones del proceso comparado de la literatura.

#### 4.6 Balance energético

Se determina el balance de energía por medio del calor cedido en los procesos de tratamiento térmico y evaporación del jugo de yacón, en estos se introducen las temperaturas tomadas dentro del procedimiento artesanal, para hallar por medio de una sumatoria el calor total requerido, que finalmente es representado por [kJ], y por el calor requerido por kilogramo de yacón, para su transformación a jarabe [kJ/kg ] para describir la energía requerida sobre la masa total del jugo de yacón, para la transformación de la materia prima implementada en la elaboración del edulcorante.

En la tabla 14, se pueden encontrar los valores teóricos de las constantes de las materias involucradas en el proceso (agua, jarabe de yacón y aluminio como recipiente), y los valores de las variables resultantes en el proceso como las temperaturas finales e iniciales de las materias. Los valores teóricos de referencia son tomados del valor del jugo de la caña de azúcar en concentración, teniendo en cuenta que es uno de los productos que más se acercan a esta fase experimental, así mismo se tiene en cuenta que valores como la capacidad calorífica y el calor latente del yacón, se usan de manera constante, debido a los resultados escasos de análisis calorífico. [39].

**Tabla 14.**

*Valores de constantes y variables del proceso artesanal para balance energético.*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
<b>Temperatura ambiente [°C]</b>	18
<b>Temperatura final agua[°C]</b>	65
<b>Masa agua [kg ]</b>	2,500
<b>Masa jugo yacón [kg ]</b>	2,826
<b>Cp jugo yacón [kJ/kg °C]</b>	3,96
<b>Calor latente yacón [kJ/kg ]</b>	1,989
<b>Cp agua [kJ/kg °C]</b>	4,186
<b>Cp aluminio [kJ/kg °C]</b>	0,896

**Nota.** En la tabla 14 se muestran los valores utilizados para realizar el balance energético del proceso, entre los cuales se encuentran temperaturas, masa, calor latente y calor específico de las sustancias involucradas.

En la ecuación 5, se determina el balance energético para el proceso, en donde no se tiene en cuenta la energía potencial, energía cinética, de igual forma se desprecia la potencia involucrada en el proceso, y así mismo en procesos de transferencia de calor sin cambio de estado (como es en el tratamiento térmico) se descarta la entalpía involucrada en la ecuación. Finalmente, para los procesos de evaporación se tiene en cuenta el calor latente de vaporización, que corresponde al agua contenida dentro del zumo y pre-jarabe de yacón.

### **Ecuación 5.**

*Balance energético del proceso.*

$$Q + W = \Delta E_c + \Delta E_p + \Delta H$$

**Nota.** En la ecuación se determinan los factores que afectan el balance energético por medio de variables como energía potencial, cinética, entalpía y potencia.

$$Q + W \overset{\uparrow}{=} \overset{\uparrow}{\Delta E_c} + \overset{\uparrow}{\Delta E_p} + \overset{\uparrow}{\Delta H}$$

$$Q = Q_{cedido} + Q_{ganado}$$

### **Ecuación 6.**

*Ecuación resultante para el balance energético de proceso.*

$$-Q_{cedido} = Q_{ganado}$$

**Nota.** Se eliminan los términos que no hacen parte de la operación y se despejan los términos de calor de entrada y salida.

Intercambio energético 1: Tratamiento térmico

$$Q_{Agua} = -Q_{Estufa}$$

$$m_{agua} * C_{p_{agua}} * \Delta T_{agua} = Q_{Estufa}$$



$$2,500Kg * 4,186 \frac{kJ}{kg * ^\circ C} * (65^\circ C - 18,5^\circ C) = Q_{Estufa}$$

$$486,623 kJ = Q_{Estufa}$$

$$486,623 kJ = Q_{Tratamiento\ t\acute{e}rmico}$$

$$-Q_{Agua} = Q_{recipiente}$$

$$m_{agua} * Cp_{agua} * \Delta T_{agua} = m_{recipiente} * Cp_{recipiente} * \Delta T_{recipiente}$$

$$m_{agua} * Cp_{agua} * (T_{f\text{equilibrio}} - T_{0\text{agua}}) = m_{recipiente} * Cp_{recipiente} * (T_{f\text{equilibrio}} - T_{0\text{recipiente}})$$

$$T_{f\text{equilibrio}} = \frac{m_{recipiente} * Cp_{recipiente} * T_{0\text{recipiente}} + m_{agua} * Cp_{agua} * T_{0\text{agua}}}{m_{recipiente} * Cp_{recipiente} + m_{agua} * Cp_{agua}}$$

$$T_{f\text{equilibrio}} = \frac{4,186 \frac{Kj}{kg^\circ C} * 2,5kg * 65^\circ C + 0,896 \frac{Kj}{Kg^\circ C} * 0,650kg * 18,5^\circ C}{4,186 \frac{Kj}{kg^\circ C} * 2,5kg + 0,896 \frac{Kj}{Kg^\circ C} * 0,650kg}$$

$$T_{f\text{equilibrio}} = 62,549^\circ C$$

La temperatura de equilibrio representa un aproximado de la temperatura final del jugo de yacón al ser sometido a tratamiento térmico, debido a que, por el delgado espesor del recipiente de aluminio, se determina un valor similar en el calor requerido para alcanzar los 60°C.

Intercambio energético 2: Evaporación I

$$Q_{Jugo\ yac\acute{o}n} = -Q_{recipiente}$$

$$m_v * L_v\ jy + Cp_{jy} * m_{jy} * \Delta T_{jy} = -Q_{recipiente}$$

$$1,272Kg * 1,989 \frac{kJ}{Kg} + 3,96 \frac{kJ}{Kg^\circ C} * 2,826kg * (76,8^\circ C - 18^\circ C) = -Q_{recipiente}$$

$$660,558 kJ = -Q_{recipiente}$$

$$660,558 kJ = Q_{evap.II}$$

Intercambio energético 3: Evaporación II

$$Q_{Jugo\ yac\acute{o}n} = -Q_{recipiente}$$

$$m_v * L_v\ jy + Cp_{jy} * m_{jy} * \Delta T_{jy} = -Q_{recipiente}$$

$$0,653Kg * 1,989 \frac{kJ}{Kg} + 3,96 \frac{kJ}{Kg \cdot ^\circ C} * 1,451kg * (83,2^\circ C - 73,2^\circ C) = -Q_{recipiente}$$

$$58,76 kJ = -Q_{recipiente}$$

$$58,76 kJ = Q_{evap.II}$$

- Calor total requerido para el proceso:

**Ecuación 7.**

*Sumatoria de calores involucrados del proceso.*

$$Q_{total} = Q_{tratamiento\ térmico} + Q_{evap.I} + Q_{evap.II}$$

*Nota.* Se realiza la sumatoria de los procesos que involucran requerimiento energético para la transformación y conservación de la materia utilizada.

$$Q_{total} = 486,623 kJ + 660,558 kJ + 58,76 kJ$$

$$\mathbf{Q_{total} = 1205,939kJ}$$

- Calor necesario para la obtención de jarabe por kilogramo de yacón:

**Ecuación 8.**

*Calor necesario para la obtención de jarabe de yacón por kilogramo.*

$$q_{total} = \frac{Q_{total}}{m_{jy}}$$

*Nota.* Se connota la expresión de energía por masa, para determinar el calor requerido por kilogramo de yacón, para su transformación en edulcorante.

$$q_{total} = \frac{1205,939kJ}{2,826Kg}$$

$$\mathbf{q_{total} = 426,730kJ/kg}$$

La elaboración del edulcorante a nivel artesanal, implica múltiples cambios en el escalamiento del proceso seleccionado a nivel industrial; en primera instancia los equipos seleccionados no cuentan con una tecnificación alta que permita medir variables de manera asertiva y precisa, de modo que la línea de producción es llevada con un porcentaje considerable de incertidumbre, teniendo en cuenta que artesanalmente se pueden considerar solo algunas constantes por medios prácticos,

tales como la presión atmosférica, temperatura ambiente, calores específicos y latentes de los materiales, entre otros.

El método de procesamiento seleccionado: “Evaporación y concentración” representa un alto beneficio para el escalamiento del proceso a nivel industrial, ya que los equipos se reducen a implementos de cocina que se adquieren de forma fácil para el método práctico, sin embargo se determina esencial la búsqueda de implementos que faciliten operaciones unitarias y disminuyan la pérdida de producto requerido, como lo es en el caso del extractor de jugos, teniendo que, si la extracción del jugo de yacón se realiza vía licuadora, se tendrá una mayor dificultad en la futura separación del bagazo y el líquido, en cambio con el primer instrumento, se verifica una eficiencia práctica considerable que se representa en la cantidad de bagazo y jugo en un tiempo reducido (13 minutos), que a pesar de requerir siguientes tamizados, garantiza una mejor disposición del líquido requerido.

En el proceso de envasado, se tiene en cuenta la temperatura a la cual se trasvasa el jarabe de yacón a los frascos dispuestos para la operación ( $60^{\circ}\text{C}$ ), esto debido a que se debe garantizar la máxima inocuidad del producto en el medio de procesamiento, de manera que se evite una contaminación por hongos o bacterias que se reproducen fácilmente en un medio de cultivo que puede tener nutrientes aptos para su crecimiento a menores temperaturas como lo es el jarabe de yacón. Se emplea una refrigeración posterior para cumplir con el mismo propósito de conservación del producto, y así mismo las muestras que se toman para la evaluación de procesos fisicoquímicos son congeladas para la preservación de sus características, en el capítulo 5 se determina un análisis más detallado sobre las mismas.

En materia de consumo energético, se determina que, el valor requerido para la transformación total del producto (1205,939kJ) ronda en un valor adecuado, debido a que en tres operaciones se requiere una elevación de temperatura al medio para la eliminación del agua del producto, o para efectuar un tratamiento térmico adecuado; en las evaporaciones se tiene que, el tiempo transcurrido para alcanzar la consistencia adecuada del pre jarabe y el jarabe, es de 45 minutos, es decir que en ese tiempo no se omite la transferencia energética por medio de calor (estufa), sino que es constante para alcanzar la mayor temperatura y optimizar la duración del proceso. A pesar de que en este procedimiento se buscó brindar la mayor cantidad de energía por medio de calor, la temperatura

no pasó de los 85°C, disminuyendo la eficacia del proceso determinada teóricamente, y alargando el tiempo de evaporación, es decir aumentando el gasto energético requerido para llegar al mismo punto de viscosidad del producto.

Finalmente se encuentra que el jarabe obtenido por medio artesanal no cuenta con las características teóricas encontradas en la literatura, ya que al no poseer los equipos de medición adecuados (termómetro de alimentos y turbidímetro), no se podía tener un control total del punto exacto en el que la materia debía pasar a la siguiente operación, afectando así sus propiedades físicas finales.

## **5. COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES BENEFICIOS Y PROPIEDADES NUTRICIONALES, QUE PRESENTA EL ENDULZANTE OBTENIDO DEL YACÓN (*SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS*) RESPECTO AL AZÚCAR CONVENCIONAL Y OTROS ENDULZANTES**

### **5.1 Azúcar convencional y los endulzantes alternativos**

#### **5.1.1 *Sacarosa***

La sacarosa, o mayormente conocida como el azúcar convencional, es un disacárido compuesto de dos moléculas sencillas: glucosa y fructosa, reconocidas en primera instancia por la principal representación energética que el cuerpo humano procesa para ejecutar cualquier tarea, éstas son metabolizadas por el hígado a partir de su disociación en el intestino delgado.

Al ser el endulzante más conocido y más usado por la población en el mundo, puede determinar múltiples factores sociales, económicos y culturales que afectan globalmente a la humanidad, iniciando por la necesidad industrial que gira en torno a ello, por lo que alrededor de 1.889.268.880 [40]toneladas de caña de azúcar se produce en el mundo (2020), traducido en 188 millones de toneladas de azúcar industrializada anuales producidas principalmente por Brasil, India, Tailandia y Estados Unidos [41], estas cifras dan a entender que la demanda del producto posee un lugar importante en alimentos producidos para consumo diario.

En cuanto a los factores culturales y sociales, el azúcar posee un papel histórico importante, determinando en primera instancia su aparición en el siglo IX en culturas europeas y de medio oriente como producto exclusivo para la gastronomía, e incluso para el sector medicinal de la época, siendo asequible sólo por la nobleza y las comunidades con mayor poder económico; posteriormente su tecnificación fue avanzando con el desarrollo social de ciertas civilizaciones, en eventos históricos como la finalización de la segunda guerra mundial y la revolución industrial, generando así tecnologías de producción en cadena y la ejecución de planes de expansión para su comercialización en América y Asia, transformándose de esta manera en un producto alcanzable para cualquier nivel social.[42]

La sacarosa común, encontrada como un sólido cristalino color blanco, posee propiedades importantes que resaltan su utilidad en la industria alimentaria, tales como la disminución de punto de congelamiento, la elevación de su punto de ebullición luego de su adición y la alta presión osmótica que posee; estas tres características permiten que el alimento pueda tener una mayor consistencia y resistencia a las condiciones externas que pueden generar un perecimiento temprano, así como la prevención en el ingreso de contaminantes y microorganismos indeseados, el mantenimiento en la solidez del mismo en temperaturas altas y la disminución de cristales de agua al ser sometido a temperaturas bajas. [43]

Se pueden resaltar diversas características en ésta molécula, como su alta solubilidad, que favorece la compatibilidad con la mayoría de solventes utilizados en procesos de la industria alimentaria y así mismo aumenta la gelatinización de almidones en estos productos, debido a que la sacarosa al tener alta afinidad por el agua, la absorbe y define un efecto plastificante que reduce la interacción del almidón y la molécula acuosa [44] , o en aspectos moleculares que determinan acciones favorables para procesos específicos como la formación de espumas, en este caso se estabiliza la forma debido a que la adición de sacarosa incrementa el nivel de viscosidad de la mezcla, generando así una menor fluidez del líquido entre los espacios oxigenados y las micelas generadas por las demás moléculas involucradas en la sustancia [45]

En materia nutricional la sacarosa aporta efectos favorables para el cuerpo humano, entre ellas su importancia para la ejecución de las funciones cognitivas, ya que al ser un carbohidrato simple, su metabolismo brinda glucosa disponible para ser usada al instante, ya sea en procesos neuronales o como combustible para el funcionamiento adecuado de los músculos [46], también se tiene que, según estudios, esta molécula facilita e incrementa la velocidad del cuerpo para la reparación de cicatrices y la disminución de probabilidades de infección en la misma [46]; pero de igual forma se contempla en mayor instancia su impacto negativo debido a su consumo en exceso.

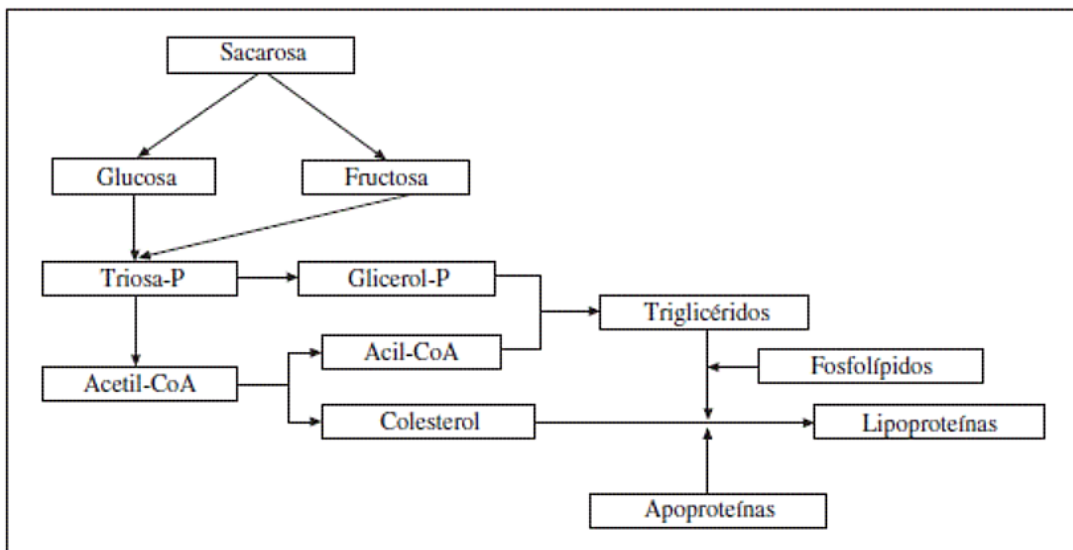
Retomando el concepto de la absorción de esta sustancia en el organismo, la enzima sacarasa, rompe el enlace y brinda así a las moléculas de fructosa y glucosa, las cuales viajarán hacia el hígado y serán metabolizadas para su almacenamiento como energía, cabe resaltar que este órgano también produce glucosa según la necesidad del organismo, el hígado realiza el proceso de glucogenólisis, de manera que transforma el glucógeno de reserva en glucosa disponible para los

procesos que requieren energía; así mismo teniendo en cuenta que no todos los cuerpos realizan los procesos metabólicos de igual forma, sea por alteraciones genéticas, o por enfermedades adquiridas con el tiempo, la recepción de la sacarosa en el organismo cambia, y determina las múltiples complicaciones que conllevan a padecimientos que afectan a la calidad de vida de la persona.

La hiperglucemia, se conoce como la condición en la cual un organismo posee un nivel alto de glucosa, siendo la respuesta del mismo posterior al consumo de alimentos altos en carbohidratos y azúcares, o de igual forma la respuesta a un padecimiento de alteraciones en la regulación del azúcar en la sangre, tal como la diabetes; en estos casos la fructosa no puede transformarse en glucosa, sino que toma la ruta metabólica para obtener triglicéridos (Figura 28), siendo estas moléculas de lipoproteínas de baja densidad (VLDL), las cuales son las responsables de generar problemas de colesterol en sangre y determinar un mayor riesgo para la salud cardiovascular de la persona. [46]

**Figura 28.**

*Destino metabólico de la sacarosa en situación de hiperglucemia.*



**Nota.** Se muestra en la figura el proceso metabólico de la sacarosa en el cuerpo humano, aquí se ve la ruta de la glucosa y la fructosa que desencadena en la formación de triglicéridos y lipoproteínas. S. Zamora and F. Pérez, “Importancia de la sacarosa en las funciones cognitivas: conocimiento y comportamiento,” *Nutrición Hospitalaria*, vol. 28, no. 4, Jul. 2013, Accessed: Apr. 10, 2022.[Online]. Available: [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0212-16112013001000013](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112013001000013)

### **5.1.2 *Edulcorantes alternativos***

Los edulcorantes alternativos, son reconocidos por representar opciones alternas al azúcar, las cuales pueden llegar a aportar mayor dulzor a las preparaciones, sin representar un mayor valor calórico en las mismas proporciones que podría dar la sacarosa, de igual forma, como anteriormente se nombra, existe una clasificación para estos productos la cual permite identificar de manera global, los beneficios y contraindicaciones que puede representar su consumo.

Un aspecto clave e importante para la industria química a la hora de la producción de edulcorantes no nutritivos, es la intensidad de endulzamiento, de manera que determina directamente el rendimiento del producto y su impacto al momento de incluirlo en preparaciones alimenticias; estos endulzantes poseen una amplia escala evaluativa en base a su comparación con el azúcar, que puede determinar de 30 a 13.000 unidades de más, frente al poder de endulzamiento de la misma. En la tabla 17, se pueden contrastar los valores de endulzantes no nutritivos, con bajo nivel calórico. [47]

Es importante mencionar el efecto de los alimentos, en especial de los endulzantes en el cuerpo, específicamente el impacto que estos generan al metabolizarse y dirigirse al torrente sanguíneo en forma de glucosa, a la medición de este efecto, se le conoce como el índice glucémico, por el cual se indica la elevación del nivel de glucemia en el cuerpo al consumir específicamente carbohidratos, este es directamente proporcional al índice glucémico (IG) que poseen los alimentos. En los alimentos se deben contemplar múltiples factores que determinan el nivel de IG que pueden poseer, como su maduración, forma de cocción, contenido de fibra en el mismo, entre otros.



**Tabla 15.**

*Tipos de edulcorantes alternativos en el mercado.*

**TIPOS DE EDULCORANTES**

<b>Según su aporte calórico</b>		
<b>Edulcorantes nutritivos</b>	Estos aportan energía al organismo por medio de calorías, muchos de estos son derivados del azúcar, por tanto, siguen aportando niveles de glucosa y fructosa. También se encuentran alcoholes de azúcar los cuales poseen una respuesta distinta del cuerpo humano, en donde se disminuyen significativamente los niveles glucémicos del cuerpo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Azúcares refinados</li> <li>· Jarabe de maíz</li> <li>· Fructosa cristalina</li> <li>· Dextrosa</li> <li>· Miel</li> <li>· Lactosa</li> <li>· Maltosa</li> <li>· Azúcares invertidos</li> <li>· Concentrados de frutas</li> <li>· <b>Jarabe de yacón</b></li> </ul>
<b>Edulcorantes no nutritivos</b>	Son aquellos productos que aportan un nivel significativo de dulzura a la preparación, sin tener un nivel alto de calorías. Estos son incluidos en dietas y planes alimenticios para la reducción de peso, control de enfermedades cardiovasculares, metabólicas y prevención de caries dentales	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Alitamo</li> <li>· Aspartamo</li> <li>· Ciclamato</li> <li>· Neohesperidina DC</li> <li>· Sacarina</li> <li>· Sucralosa</li> <li>· Steviosida</li> <li>· Taumatina</li> </ul>
<b>Según su origen</b>		
<b>Edulcorantes naturales</b>	Éstos productos se caracterizan debido a que no han sido sometidos a tratamientos químicos, o que alteran drásticamente su naturaleza, suelen tener una caducidad más próxima a comparación de los artificiales, ya que poseen un menor nivel de conservantes y sustancias que preservan el producto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Stevia</li> <li>· Sorbitol</li> <li>· Miel cruda</li> <li>· Azúcar de palma</li> <li>· Brazzeina</li> <li>· Taumatina</li> <li>· Fructosa</li> <li>· Glucosa</li> <li>· Lactosa</li> <li>· Maltosa</li> <li>· Sacarosa</li> <li>· Dextrosa</li> </ul>
<b>Edulcorantes artificiales</b>	Son aquellos edulcorantes que son derivados de sustancias químicas, o que han sido sometidos a procesos químicos alterando su forma molecular.	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Sorbitol</li> <li>· Manitol</li> <li>· Ciclamato sódico</li> <li>· Saacarina</li> <li>· Aspartamo</li> <li>· Neotamo</li> <li>· Acesulfame K</li> <li>· Alitamo</li> <li>· Azúcar invertido</li> <li>· Neohesperidina DC</li> </ul>

**Nota.** La tabla 15 muestra la división de los edulcorantes según su aporte calórico y también según su origen (natural o artificial), al costado derecho se puede evidenciar una lista de ejemplos por categoría, y en la columna central, una breve descripción de las mismas.

En la tabla 16 se sintetizan los tipos de endulzantes.

**Tabla 16.**

*Clasificación de edulcorantes alternativos.*

**Clasificación sintetizada de los endulzantes según sus características**

<b>Calóricos</b>	Naturales	Azúcares	Sacarosa, glucosa, dextrosa, fructosa, lactosa, maltosa, galactosa, trehalosa, tagatosa.
		Edulcorantes naturales calóricos	<b>Jarabe de yacón</b> , miel, jarabe de arce, azúcar de palma o de coco, y jarabe de sorgo
	Artificiales	Azúcares modificados	Jarabe de maíz de alto fructosa, caramelo, azúcar invertido
		Alcoholes de azúcar	Sorbitol, xilitol, manitol, isomaltulosa, lactitol, glicerol
<b>No calóricos</b>	Naturales	Edulcorantes naturales sin calorías	Stevia, taumatuna, pentadina, monelina, brazzeina
	Artificiales	Edulcorantes artificiales	Aspartamo, sucralosa, sacarina, neotamo, acesulfame K, ciclamato, neohesperidina DC, alitamo, advantamo

**Nota** Tabla de síntesis de información frente a la clasificación de los tipos de edulcorantes alternativos, Tomado de: J. M. García-Almeida, G. Ma Casado Fdez, and J. García Alemán, “A CURRENT AND GLOBAL REVIEW OF SWEETENERS. REGULATORY ASPECTS,” *Nutrición Hospitalaria*, vol. 28, no. 4, pp. 17–31, 2013, Accessed: Apr. 10, 2022. [Online]. Available: <http://www.info-edulcorants.org/>

La referencia para los valores de IG se determina de la siguiente forma: bajo  $IG < 55$ , medio  $56 < IG < 69$ , alto  $IG < 70$ , y se puede apreciar su escalamiento según el tipo de endulzante en la siguiente tabla.

**Tabla 17.**

Valores de comparación de factores nutricionales y organolépticas de endulzantes alternativos.

<b>Edulcorante</b>	<b>Índice Glucémico (IG)</b>	<b>Valor calórico (Kcal/g)</b>	<b>Cantidad máxima tolerable. *</b>	<b>Intensidad de endulzamiento**</b>
<b>Azúcar común</b>	68 +/- 5	4	25(g/día)	1
<b>Sirope de yacón</b>	1	3	7-10(g/día)	30-50
<b>Inulina</b>	14	1,5	10(g/día)	0,1
<b>Fructooligosacáridos</b>	-	1,5-2,7	7-10(g/día)	30-50
<b>Eritritol</b>	0,2	0,2	No registrado	0,75
<b>Licaina</b>	0	<3	No registrado	0,4-0,9
<b>Lactitol</b>	2 +/- 3	2	20(g/día)	0,5
<b>Maltitol</b>	30 / 89	2,1	30-50(g/día)	1
<b>Manitol</b>	0	1,6	10-20(g/día)	0,7
<b>Sorbitol</b>	5 +/- 2	2,6	>80(g/día)	0,5-1
<b>Xilitol</b>	8 +/- 1	2,4	>50(g/día)	1
<b>Aspartame</b>	0	4	2.800(mg/día)***	160-220
<b>Acesulfamo-k</b>	0	0	630(mg/día)***	200
<b>Ciclamato</b>	0	0	490(mg/día)***	30
<b>Neohesperidina DC</b>	0	0	350(mg/día)***	1.500
<b>Neotame</b>	0	0	140(mg/día)***	8.000
<b>Sacarina</b>	0	0	350(mg/día)***	300
<b>Stevia</b>	0	0	280(mg/día)***	300
<b>Sucralosa (splenda)</b>	0	0	1.050(mg/día)***	600
<b>Taumatina</b>	0	0	-	2.000-3.000

\*Cantidad máxima tolerable sin sintomatología gastrointestinal

\*\*Comparación nivel de intensidad de endulzamiento de algunos endulzantes alternativos, valor de referencia: azúcar convencional =1

\*\*\*En personas de 70Kg

**Nota.** En la tabla se encuentra el listado de múltiples edulcorantes artificiales, junto con valores nutricionales y metabólicos importantes: índice glucémico, valor calórico, dosis máxima recomendada y poder endulzante. Tomado de: J. M. García-Almeida, G. Ma Casado Fdez, and J. García Alemán, "A CURRENT AND GLOBAL REVIEW OF SWEETENERS. REGULATORY ASPECTS," *Nutrición Hospitalaria*, vol. 28, no. 4, pp. 17–31, 2013, Accessed: Apr. 10, 2022. [Online]. Available: <http://www.info-edulcorants.org/>

En materia de la composición de sustancias endulzantes en la planta del yacón, se especifican dos de gran importancia, los FOS, y la inulina, el primero posee la característica de contar con la mitad de calorías por gramos que la glucosa, y teniendo un poder edulcorante de 0.3-0.6 relativo al azúcar convencional; por otro lado la inulina al ser un polímero que cuenta con monómeros de fructosa (20 a 60), se conoce como una sustancia con efecto prebiótico, determinado por una relación de 12.4g/100g en el tubérculo *Smallanthus Sonchifolius*. [6].

En cuanto a la cantidad máxima tolerable de sirope de yacón, se hace referencia a los efectos secundarios gastrointestinales tales como dolor abdominal, efecto laxante, agrieras, generación de gases, entre otros [10]; mas no hace referencia a un efecto nocivo permanente en la salud del consumidor. Así mismo se resalta que si se incrementa su ingesta, no se ven mejoradas las condiciones metabólicas e intestinales en el organismo, otorgadas por el contenido de FOS, sino que al contrario se generan los problemas anteriormente nombrados.

#### 5.1.2.a. Aspectos negativos de los edulcorantes alternativos

A pesar de que la imagen más común de los edulcorantes alternativos al azúcar describe un beneficio para la salud, reflejado en la disminución de carga calórica al organismo, y de igual forma una disminución para la síntesis de la glucosa en el hígado, éstos también poseen un aspecto negativo a nivel metabólico y psicológico, que no solo afectan la percepción de la comida en el organismo, sino que también pueden determinar un efecto contrario en cuanto a la disminución del peso corporal, y por ende la generación de enfermedades cardiovasculares.

La estimulación de la fase cefálica está definida como la preparación del sistema digestivo para el ingreso de alimentos al mismo, pues el cerebro al ser sometido por estímulos visuales, de olor y de gusto, envía una señal por el nervio vago hacia el estómago, para que éste pueda iniciar el proceso de digestión de alimentos, produciendo principalmente las enzimas necesarias para el procesamiento de estos. El impacto que tienen múltiples edulcorantes en este ámbito radica en que se puede llegar a generar una menor estimulación de la fase cefálica en el organismo, alterando la metabolización de los alimentos y generando una digestión ineficiente tanto en el estómago como en el intestino delgado. [6]

Por otra parte, se debe tener en cuenta que las señales que da el estómago para determinar el nivel de vaciamiento del mismo no solo son determinadas por el volumen de alimento que se ingiera y se esté digiriendo, sino que también en órganos como el intestino delgado y estómago, se encuentran de manera correspondiente osmo-receptores y quimio- receptores los cuales se encargan de determinar la cantidad de nutrientes que posee la carga alimenticia ingerida, de manera que a partir del nivel de estos, aumenta la respuesta a nivel de saciedad y de igual forma la velocidad de digestión que se pueda llegar a tener en el sistema gástrico, por lo que, al momento de ingerir productos no calóricos y sin propiedades nutricionales, se determina una menor inactividad de receptores gástricos e intestinales, dando a proveer una menor sensación de saciedad en el estómago. [6]

Los péptidos se encuentran en el cuerpo humano en diversas formas, ya sea como formaciones peptídicas que se encuentran en procesos hormonales como la insulina, vasopresina, el glucagón y la oxitocina, o como formaciones peptídicas que determinan procesos neuronales, sustancias vasopresoras o el accionamiento de antibióticos y su eficiencia en el cuerpo humano; los péptidos se encuentran también en el tracto gastrointestinal funcionando como factor de saciedad y su liberación depende del nivel de estimulación que puedan brindar los macronutrientes ingeridos en los alimentos, de manera que sustancias no calóricas como los edulcorantes sucralosa, stevia, aspartamo, entre otros, no permiten una adecuada secreción de péptidos similares al glucagón (GLP-1 por sus siglas en inglés), de forma que se puede determinar un mayor nivel de ansiedad al momento de la ingesta de alimentos [48].

## **5.2 Caracterización del jarabe artesanal de Yacón (*Smallanthus Sonchifolius*)**

### **5.2.1 Investigación exploratoria sensorial**

Después del desarrollo el producto y con el fin de tener un vistazo de la aceptación que este tendría en el público no focalizado, es decir población que no necesariamente posee problemas alimenticios como la obesidad o endocrinos como la diabetes, se ha planteado una investigación exploratoria sensorial, que se traduce a un análisis sensorial con un panel no entrenado.

Un análisis sensorial se puede definir como una ciencia en la que participan diversos individuos cumpliendo con el papel de panelistas, en el cual se utilizan sus sentidos (olfato, vista, gusto, tacto y oído) para medir las características sensoriales y así transmitir la aceptabilidad del producto a evaluar. Una evaluación sensorial es de suma importancia al momento de desarrollar un producto alimentario pues no hay nada que pueda reemplazar la respuesta humana.

Entre las características que se pueden evaluar en un análisis sensorial están:

- **Apariencia:** color, tamaño, forma, conformación, uniformidad
- **Olor**
- **Gusto:** dulce, amargo, salado, ácido, umami. Características que se pueden percibir perfectamente mediante las papilas gustativas
- **Textura:** propiedades físicas del elemento tales como dureza, viscosidad, consistencia, granulosidad.

A continuación, se describen las pruebas sensoriales más representativas, su funcionamiento y su objetivo

- Test de discriminación o diferencias.

La prueba de diferencias tiene como fin evaluar si es posible distinguir diferencias específicas entre muestras diferentes; esta prueba está pensada en realizar pruebas de calidad a medida que pasa el tiempo del lanzamiento, con el fin de evidenciar si ha habido cambios con respecto a un producto original como en la alteración de un ingrediente o durante el proceso productivo del mismo como en el almacenamiento. En esta prueba se evalúan parámetros como apariencia, sabor o textura[49].

Básicamente esta prueba indica si las muestras son iguales o no, sin embargo, no arroja una respuesta puntual en cuanto a que parámetro podría estar variando; por otro lado, esta prueba tiene la condición de que las pruebas tienen que ser homogéneas y las diferencias presentes en estas deben ser pequeñas [49].

- Test de ordenamiento o ranking.

Para esta prueba se suministra al panel tres o más muestras o productos que deben ser clasificados en orden de los atributos o características objetivos que se busquen evaluar. El test de ranking es rápido, no requiere un entrenamiento exhaustivo y tiene un espectro amplio de características sensoriales a evaluar.

Se recomienda que el panel se seccione y que cada subgrupo del panel evalúe solo una característica del producto, cabe aclarar que la misma prueba puede ser utilizada para diferentes características, la desventaja de esta prueba es que se necesita un grupo evaluador bastante amplio [49].

- Test de valoración de calidad

La prueba de valoración o calidad consiste en evaluar la calidad de un lote de producto por medio del panel sensorial; sin embargo, esta prueba está sujeta a los parámetros subjetivos de lo que puede llegar a ser la calidad de una muestra.

La prueba de calidad comprende de 8 a 10 panelistas que deben ser entrenados con rigurosidad previamente con el fin de reducir el margen de error de lo que puede ser un producto calificado con un buen puntaje de calidad cuando no cumple los estándares.

Este método es muy popular debido a que arroja una medida directa de la calidad el producto a evaluar por ende es popularmente usadas en las empresas.

El criterio de calificación general comprende en evaluar una característica específica, empleando una escala determinada que va desde pobre hasta excelente en términos de calidad, posteriormente al panel los productos correspondientes a la muestra evaluada que no pase el proceso de prueba tendrán que ser desechados [49]

- Análisis descriptivo o perfiles sensoriales.

El método de perfil sensorial es un método de análisis descriptivo en el cual son cuantificados y caracterizados los atributos de un producto, utilizando un panel que no necesariamente tiene que estar profundamente entrenado. En este análisis se pueden involucrar todos los parámetros del producto o puede ser limitada a determinados aspectos.

Hay diversos métodos para realizar perfiles sensoriales para caracterizar el producto objetivo bien puede ser de forma descriptiva o cuantitativa. En la primera etapa de este análisis se busca relacionar el “que nos recuerda” y como se describe cada sensación, generando así un vocabulario de como máximo 15 palabras para describir el producto, la segunda fase del análisis se mide la escala que puede ser de 0 a 10 como por ejemplo el jugo de mandarina tiene una intensidad de 8.

En este análisis el grupo de personas encargado de la calificación del producto expresa su reacción subjetiva ante el producto entregado, indicando así si lo acepta o si por el contrario lo rechaza. Esta aceptación está relacionada con la reacción de los panelistas frente a las propiedades físicas, químicas y texturales que pueda presentar el producto[49].

#### 5.2.1.a. Análisis organoléptico sensorial con panel no entrenado

El análisis elegido para este proyecto es el análisis descriptivo o de perfiles sensoriales, descrito previamente. Este análisis fue seleccionado debido a la facilidad de selección del panel pues no es necesario que esté entrenado, debido a que las calificaciones pueden ser subjetivas, de modo que previendo un sesgo y buscando uniformidad en los resultados se escoge una población de 200 personas de las cuales se excluye responsables del proyecto, de modo que se espera que los resultados sean imparciales y se pueda analizar a cabalidad la receptibilidad de la población a el producto.

El medio por el cual se suministró el producto consistió en muestras en cucharas de helado, con una cantidad apropiada para que las diferentes propiedades fueran apreciadas sin problema alguno; sin embargo, en caso de ser solicitado por el panelista se entregó una segunda muestra del producto.

El método de recopilación de datos fue por medio de un formulario de Google en el cual los panelistas calificaron el producto según una tabla de valoración previamente establecida con el fin de tener uniformidad en los datos recopilados, se estableció una escala de 1 a 4 donde 4 es el valor



más alto e indica el resultado más favorecedor y 1 indica el valor más bajo y el menos favorecedor, también se tiene una pregunta que se evalúa por medio de Si/No y finalmente una abierta donde el panelista puede asemejar el sabor a sabores familiares de forma individual

Se hace una recopilación de datos de las características organolépticas del producto y otra de la recepción de este en el grupo de panelistas, con el fin de tener una idea de cómo se percibe el producto.

En general la normativa a seguir para la implementación de pruebas sensoriales se subdivide en el tipo de prueba a realizar; en este caso el análisis exploratorio sensorial corresponde a una prueba hedónica, la cual está orientada hacia la aceptabilidad de un producto y el gusto por el mismo. En este caso el análisis exploratorio sensorial se rige bajo las normas UNE- ISO 6658 correspondiente a las generalidades de los análisis sensoriales y enfocada hacia organizar y describir el producto e ISO 11136, la cual menciona aspectos fundamentales como el tamaño mínimo de muestra, montaje de la muestra, generalidades de las pruebas hedónicas, entre otros [50].

A continuación, se expone la tabla 18 correspondiente a la ponderación otorgada en la primera sección del análisis exploratorio sensorial, correspondiente a las propiedades organolépticas del producto; en esta tabla se determina una escala cuyo valor mínimo es 1 indicando completo desagrado y un valor máximo de 4, indicando un completo agrado por la caracterización del producto. Se decide que la escala sea de cuatro unidades, solo con números enteros para facilitar la uniformidad en la recolección de datos.

**Tabla 18.** *Ponderación análisis exploratorio sensorial*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>ESCALA</b>
<b>Color</b>	1 a 4
<b>Olor</b>	1 a 4
<b>Sabor</b>	1 a 4
<b>Dulzor</b>	1 a 4
<b>Viscosidad</b>	1 a 4
<b>Sólidos en suspensión</b>	SI/NO

*Nota:* La tabla describe la escala de evaluación del análisis exploratorio sensorial

En la tabla 19 se puede evidenciar el parámetro de estudio y la escala o ponderación otorgada a cada uno de estos parámetros, esta tabla corresponde a la segunda sección del análisis exploratorio sensorial, la cual se enfoca en la aceptabilidad del producto. De modo que el primer parámetro al igual que en la tabla 18 se le otorga una ponderación de mínimo 1 y máximo 4 en números enteros con el fin de facilitar la recolección y análisis de los datos. Posteriormente se tienen dos preguntas cuya ponderación no se otorga en números sino en palabras puntuales tales como si, no o lo consideraría con el fin de analizar fácilmente la opinión del panel hacia el producto de forma puntual, finalmente se tiene la última pregunta la cual no tiene una ponderación pues es una de carácter cualitativo, puesto que se desea analizar los sabores familiares que recuerda el producto en el paladar de los panelistas de modo que no puede haber un valor máximo/mínimo o bueno/malo en esta pregunta.

**Tabla 19.**

*Ponderación análisis exploratorio sensorial*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>ESCALA</b>
<b>Gusto por el producto</b>	1 a 4
<b>Probabilidad de incluir en la dieta diaria</b>	SI/NO/LO CONSIDERARÍA
<b>Probabilidad de recomendar el producto</b>	SI/NO/LO CONSIDERARÍA
<b>Semejanza con un sabor familiar</b>	ABIERTA

*Nota:* La tabla describe la escala de evaluación del análisis exploratorio sensorial

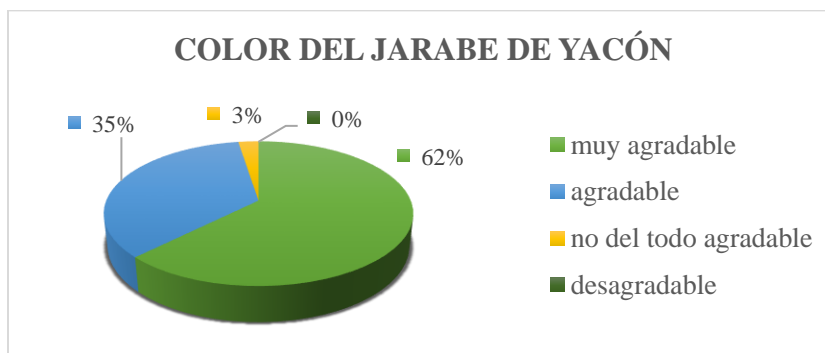
Adicionalmente, se preguntó a qué sabor conocido se asemejaba el jarabe de yacón, pues el sabor obtenido fue nuevo, diferente, de modo que en el formulario de Google se colocó una pregunta abierta referente a la semejanza de este sabor con los sabores ya conocidos del día a día.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos por cada pregunta del análisis organoléptico sensorial realizado, cabe mencionar que se buscó usar lenguaje cotidiano para la fácil comprensión de la pregunta, adicionalmente en caso de ser necesario se brindó una breve explicación para que los panelistas comprendieran a cabalidad lo que se buscaba en la pregunta.

**Pregunta 1.**” Considerando la oxidación y pardeamiento propio del tubérculo y los azúcares presentes en este y comparado con los demás jarabes endulzantes que conoce por favor califique de 1 a 4 el color que el endulzante de yacón presenta donde 1 es la calificación menos favorable y 4 la más favorable para el producto”.

**Figura 29.**

*Diagrama de torta datos obtenidos análisis exploratorio sensorial: color*

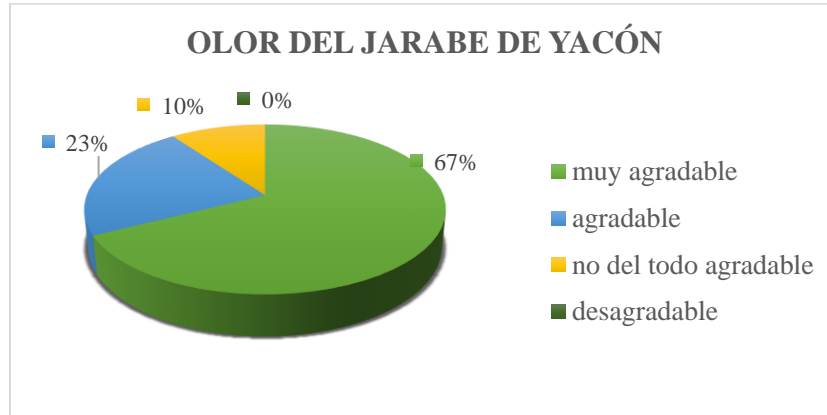


**Nota:** El diagrama de torta muestra los resultados obtenidos del análisis exploratorio sensorial respecto al color del jarabe de yacón.

**Pregunta 2.** “El olor presentado por el edulcorante es agradable o desagradable, recuerde que 1 es desagradable y 4 es muy agradable”.

**Figura 30.**

*Diagrama de torta datos obtenidos análisis exploratorio sensorial: olor*

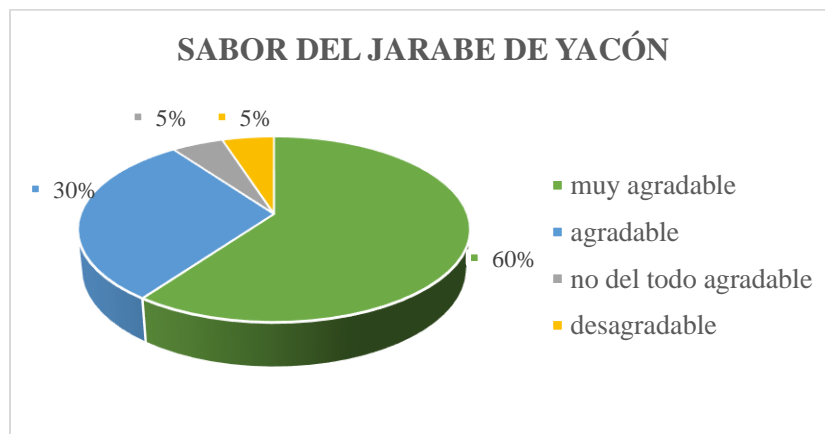


**Nota:** El diagrama de torta muestra los resultados obtenidos del análisis exploratorio sensorial respecto al olor del jarabe de yacón.

**Pregunta 3.** “Califique el sabor obtenido para el edulcorante de yacón, recuerde que 1 es desagradable y 4 es muy agradable”.

**Figura 31.**

*Diagrama de torta datos obtenidos análisis exploratorio sensorial: sabor*

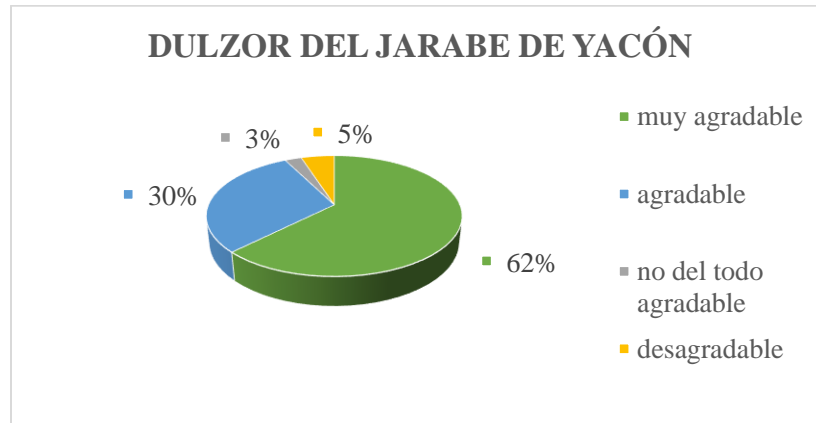


**Nota:** El diagrama de torta muestra los resultados obtenidos del análisis exploratorio sensorial respecto al sabor del jarabe de yacón.

**Pregunta 4.** “Considerando que lo que se busca es obtener un producto que aporte poder edulcorante a alimentos y bebidas, califique el dulzor obtenido en el edulcorante de yacón. recuerde que 1 es desagradable y 4 es muy agradable”

**Figura 32.**

*Diagrama de torta datos obtenidos análisis exploratorio sensorial: dulzor*

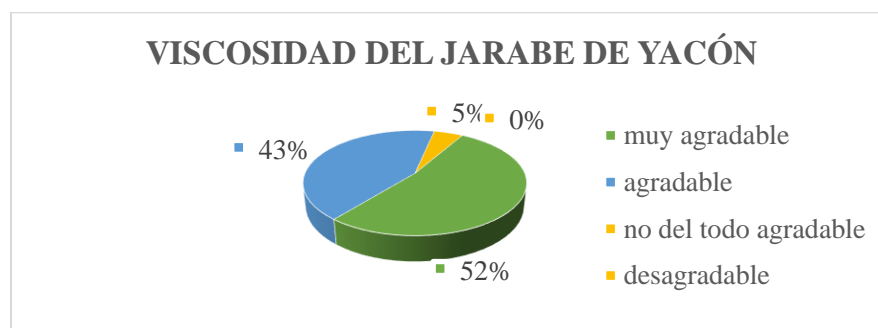


**Nota:** El diagrama de torta muestra los resultados obtenidos del análisis exploratorio sensorial respecto al dulzor del jarabe de yacón.

**Pregunta 5.** “Tenga presentes los diferentes jarabes endulzantes que conoce tales como el sirope de pancakes y bajo su gusto personal califique la viscosidad que el edulcorante de yacón presenta. recuerde que 1 es desagradable y 4 es muy agradable”

**Figura 33.**

*Diagrama de torta datos obtenidos análisis exploratorio sensorial: viscosidad*

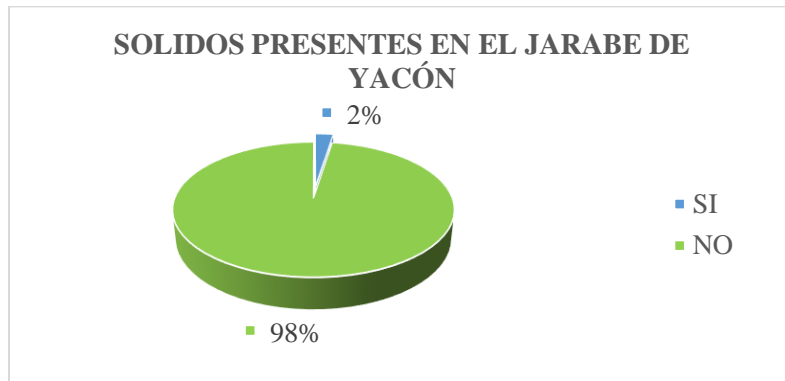


**Nota:** El diagrama de torta muestra los resultados obtenidos del análisis exploratorio sensorial respecto a la viscosidad del jarabe de yacón.

**Pregunta 6.** “Los sólidos en suspensión pueden ser definidos como pequeños grumos o trozos de pulpa presentes en el edulcorante, basado en la muestra que tomo marque si, en el caso de haber presenciado sólidos en suspensión y no en el caso de no haberlo hecho”

**Figura 34.**

*Diagrama de torta datos obtenidos análisis exploratorio sensorial: sólidos presentes en el jarabe*

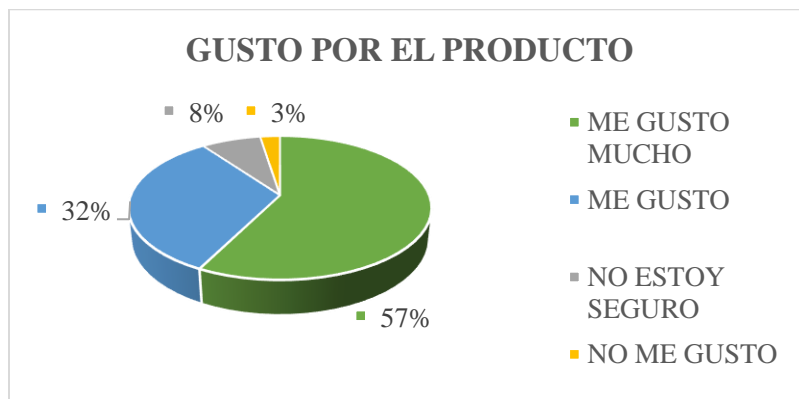


**Nota:** El diagrama de torta muestra los resultados obtenidos del análisis exploratorio sensorial respecto a los sólidos presentes en el jarabe de yacón.

**Pregunta 7.** “Que tanto le gusto el producto. donde 1 es no me gusto y 4 me gustó mucho.”

**Figura 35.**

*Diagrama de torta datos obtenidos análisis exploratorio sensorial: gusto por el producto*

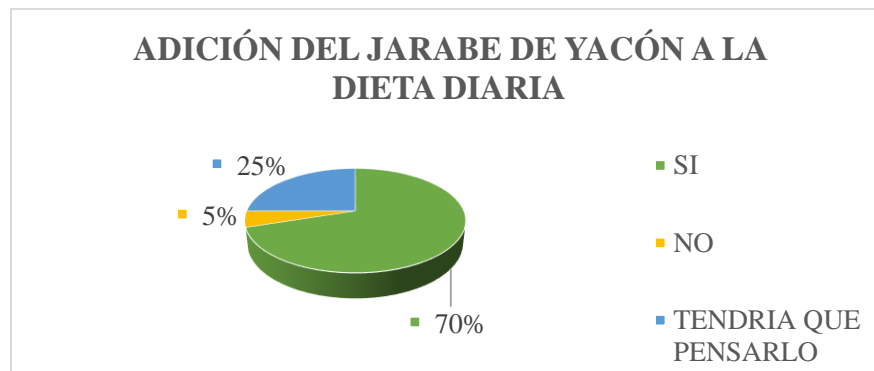


**Nota:** El diagrama de torta muestra los resultados obtenidos del análisis exploratorio sensorial respecto al gusto de los panelistas por el jarabe de yacón.

**Pregunta 8.** “Considerando los diferentes beneficios aportados por el yacón, consideraría incluir el endulzante de yacón en su dieta diaria. donde no es no lo consideraría y si es si lo incluiría”

**Figura 36.**

*Diagrama de torta datos obtenidos análisis exploratorio sensorial:  
adición del edulcorante de yacón a la dieta diaria*



**Nota:** El diagrama de torta muestra los resultados obtenidos del análisis exploratorio sensorial respecto a que tan dispuestos están los panelistas a incluir el jarabe de yacón en su dieta diaria.

**Pregunta 9.** “Considerando los diferentes beneficios aportados por el yacón, recomendaría el producto a sus amigos y familiares”

**Figura 37.**

*Diagrama de torta datos obtenidos análisis exploratorio sensorial:  
Recomendación del edulcorante de yacón a otras personas*



**Nota:** El diagrama de torta muestra los resultados obtenidos del análisis exploratorio sensorial respecto a que tan dispuestos están los panelistas a recomendar el jarabe de yacón.

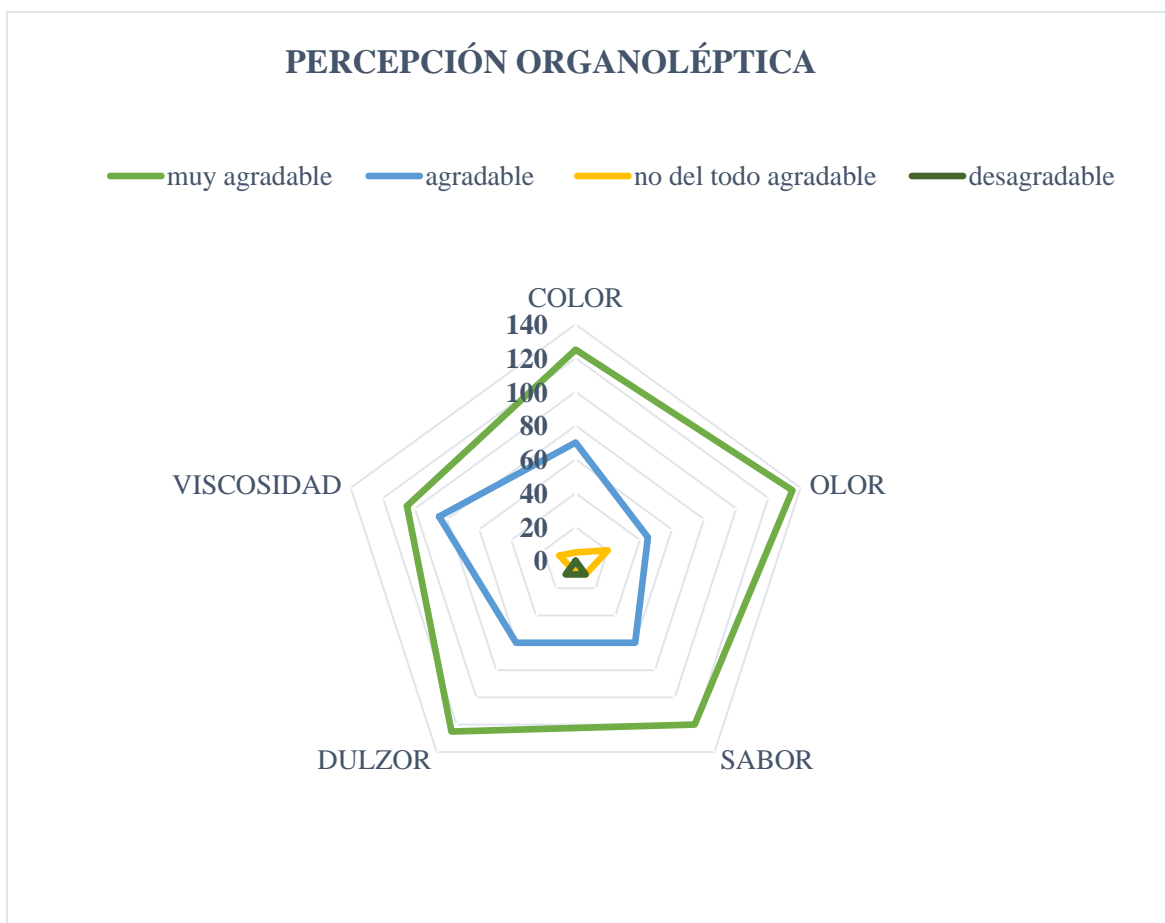
**Pregunta 10.** “A que sabor se le asemeja o le recuerda el sabor que presenta el endulzante de yacón. describa brevemente”

En cuanto a la pregunta abierta se recibieron diferentes respuestas para la relación del sabor del jarabe con productos ya conocidos, entre las respuestas más frecuentes jarabe de propóleo, breva, café, caña de azúcar, miel, melao, mieltertos (jarabe naturista), sirope, sabor herbal.

Adicional a los diagramas de torta, se realizó un diagrama de red de las 5 propiedades organolépticas con el fin de tener una vista de estas agrupadas.

**Figura 38.**

*Diagrama de red análisis exploratorio sensorial: datos con la misma escala de ponderación*



**Nota:** el diagrama de red muestra los resultados a diferentes preguntas del análisis exploratorio sensorial, enfocándose en las preguntas de las características organolépticas del jarabe de yacón.



Los datos arrojados por el análisis exploratorio sensorial permiten analizar la percepción de la población frente a un producto nuevo con características diferentes a las conocidas. Sin embargo los datos obtenidos son favorecedores debido que en cuanto a las propiedades organolépticas como color se obtuvo que al 62,5% de los encuestados les parece muy bueno y al 35 % bueno; en esta categoría no se obtiene la nota más baja (1) por lo que se puede decir que el color es bien recibido por la población; en cuanto al olor presente en el jarabe el 67,5% de la población indica calificación máxima, que se traduce en muy bueno, el 22,5 indica que tenía un buen olor y el 10% indica que el olor no era del todo agradable, sin embargo no se reciben respuestas que indiquen la calificación mínima que se traducía en olor desagradable.

Respecto al sabor presente en el jarabe de yacón el 60% de la población afirma que el sabor fue muy agradable, el 30% un sabor agradable, el 5% que el sabor no era del todo agradable, el 5% restante indica que el sabor era desagradable, en este ítem si se reciben respuestas con la calificación mínima lo que quiere decir que a 10 personas de las 200 que probaron el jarabe no les gusto en lo absoluto el sabor del mismo.

Siguiendo con los demás ítems del análisis exploratorio sensorial, se evalúa ahora el dulzor presente en el jarabe, donde los datos obtenidos arrojan que al 62,5 % de la población le parece que el dulzor era muy agradable, al 30% afirma que el dulzor era agradable, al 2,5 % que el dulzor era apenas agradable y al 5% le parece que el dulzor no era nada agradable. Al momento de evaluar la viscosidad se plantea una relación para que los panelistas puedan comparar con facilidad, de modo que se plantea como ejemplo la viscosidad del sirope de pancakes frente a la viscosidad del jarabe de yacón, los datos arrojan que al 52,5% de la población determinó que la viscosidad del jarabe era muy agradable, el 42,5% responde que la viscosidad era agradable y el 5% restante responde que la viscosidad del jarabe de yacón era apenas agradable.

Otro de los ítems a evaluar es la presencia de sólidos en suspensión que son explicados como “grumos” o partículas de distinto color y textura presentes en el jarabe de yacón, en este ítem lo que se determina es, que, si al momento de degustar el jarabe se pueden percibir los sólidos visualmente, o al momento de saborearlo, los resultados arrojan que el 97,5% de la población no percibe grumos y el 2,5% de la población si los percibe.

Los siguientes dos ítems corresponden a si cada individuo de la población consideraría incluir el jarabe de yacón en la dieta diaria, conociendo sus beneficios para la salud; los datos obtenidos de este ítem son que el 70% de la población si incluiría el jarabe en su dieta, el 25% no están completamente seguros y tendrían que pensarlo, finalmente el 5 % no lo incluiría. Ahora con el fin de averiguar si las personas que probaron el endulzante de yacón lo recomendarían a sus amigos y familiares debido a sus diferentes propiedades y beneficios se tiene el siguiente ítem cuyos datos arrojan que el 90% de la población si recomendaría el jarabe de yacón, el 7,5% no está seguro de recomendarlo y tendría que pensarlo y el 2,5% no lo recomendaría.

En cuanto a la última pregunta del análisis exploratorio sensorial hace referencia a que sabor conocido se le asemeja a cada persona de la población el jarabe de yacón, este ítem es una pregunta abierta y al momento de recopilar los resultados se tienen respuestas muy variadas, entre ellas las más representativas propóleo, breva, café, caña de azúcar, miel, melao, mieltertos (jarabe naturista), sirope, sabor herbal.

Finalmente, se tiene el diagrama de red, se puede establecer que en las cinco características evaluadas (olor, color, sabor, dulzor y viscosidad) los panelistas tendieron a responder que eran muy agradables y se puede evidenciar que los números 1 y 2, otorgados para la calificación de desagradable y no del todo agradable respectivamente no suman más de 20 personas en las 5 características evaluadas.

Para concluir, los resultados respecto al jarabe de yacón fueron buenos, pues al 90% de las personas expuestas al edulcorante manifestaron gusto por el producto, además de resultados buenos en cada una de las preguntas del análisis exploratorio sensorial.

### ***5.2.2 Caracterización Físicoquímica del Jarabe***

Ya obtenido el producto final, se procede a hacer pruebas físicoquímicas para determinar diferentes características del jarabe obtenido, estas pruebas se realizan a escala laboratorio y con el fin de tener objetos de comparación, se le hacen las mismas pruebas a la miel y el sirope de maíz (Sirope de pancakes) debido a que las características físicas presentadas por estos tres son

similares; se descarta el uso de azúcar convencional pues sería necesario diluirlo y se crearía un margen de error al intentar compararlo con el jarabe de yacón.

### 5.2.2.a. Grados Brix

Los grados Brix se definen como la cuantificación de materia sólida disuelta en un líquido determinado, se realiza mediante espectrometría y generalmente se usa para medir el azúcar disuelto [51].

De forma inicial se limpia el equipo con alcohol y algodón; posteriormente se realiza una lectura con agua para verificar que el equipo este calibrado, verificado esto, se coloca una gota de jarabe de yacón para realizar la lectura (este procedimiento se repite 5 veces), posteriormente se limpia el equipo y se coloca una gota de miel, de la misma manera que con el jarabe de yacón se toman 5 lecturas para esta sustancia, finalmente después de nuevamente limpiar el equipo se realiza el mismo procedimiento y el mismo número de lecturas para el sirope para pancakes y para el prejarabe de yacón.

**Tabla 20.**

*Datos obtenidos de grados brix en pruebas de laboratorio*

<b>Toma</b>	<b>Prejarabe</b>	<b>Jarabe</b>	<b>Miel</b>	<b>Sirope de pancakes</b>
<b>1</b>	17,90%	64,10%	81,50%	46,60%
<b>2</b>	17,90%	65,80%	80,9 %	46,8%
<b>3</b>	16,10%	65,20%	81,6%	46,6%
<b>4</b>	16,50%	63,30%	80,4%	45,5%
<b>5</b>	17,20%	64,20%	81,5%	46,7%
<b>Promedio</b>	17,12%	64,52%	81,18%	46,64%

**Nota:** La tabla muestra los datos obtenidos de la toma de grados Brix en el laboratorio para las diferentes sustancias a analizar.

Después de las cinco lecturas para cada producto se saca un promedio y se determina el valor de los grados brix correspondiente, en este caso 64,5% para el jarabe de yacón, 81,1% para la miel,

46,6% para el sirope para pancakes y 17,12% para el prejarabe de yacón. Adicionalmente se sabe que el porcentaje de grados Brix también expresa el porcentaje de sólidos presente y con el fin de conocer el porcentaje de agua disponible en el jarabe de yacón se hace una resta del 100 % menos el 64,52% correspondiente a los sólidos, lo que daría un 35,48% de agua disponible en el jarabe.

#### 5.2.2.b. Turbidez

La turbiedad o turbidez se define como la cuantificación de material solido disuelto que afecta la transparencia del agua o del medio, de modo que una muestra más turbia tendrá más sólidos en suspensión. [52]

Esta prueba fue tomada mediante un turbidímetro, el cual fue necesario calibrarlo primero con un blanco (agua desionizada), después de calibrarlo se inician las pruebas de turbidez en el jarabe de yacón, se realizan 5 lecturas, posteriormente se calibra nuevamente con el blanco y se toman 5 lecturas nuevamente, pero esta vez para la miel, seguido esto se calibra nuevamente con el blanco y se toman 5 lecturas finales para el sirope de pancakes y prejarabe de yacón

**Tabla 21.**

*Datos de turbidez obtenidos en pruebas de laboratorio.*

<b>Toma</b>	<b>Prejarabe</b>	<b>Jarabe</b>	<b>Miel</b>	<b>Sirope de pancakes</b>
<b>1</b>	479,8	321,3	8,72	4,16
<b>2</b>	476,2	332,6	9,69	4,34
<b>3</b>	483,2	324,9	8,42	4,25
<b>4</b>	485,7	331,7	9,54	4,28
<b>5</b>	475,7	336	9,81	4,4
<b>Promedio</b>	480,12	329,3	9,23	4,28

**Nota:** La tabla muestra los datos obtenidos de la toma de turbidez en el laboratorio para las diferentes sustancias a analizar.

Después de las cinco lecturas para cada sustancia se saca un promedio para determinar la turbidez que será analizada, se evidencia que el jarabe y prejarabe tienen una mayor turbidez con respecto a la miel y el sirope. La turbidez fue determinada en un equipo con un rango de medida de 0,01 –

1100 NTU/FNU, siendo el blanco el punto de comparación inicial, cuyo valor fue 0,5 para cada una de las lecturas, a partir de esto se puede determinar que tan turbio o no es el jarabe de yacón comparado con los demás productos.

### 5.2.2.c.Densidad

La densidad es definida como una magnitud escalar de la cantidad de masa de una sustancia en un volumen determinado [53].

Esta prueba se realizó mediante un picnómetro de 5 mL y se utilizó una balanza analítica. de forma inicial se tomó el peso del picnómetro vacío y seco, seguido esto se llenó hasta el aforo con jarabe de yacón y se pesó en la balanza cinco veces, después de terminar cada lectura se taró la balanza para mantener precisión en los resultados, este procedimiento se repitió para la miel y para el sirope de maíz. Terminada la recolección de datos se procede a hacer los cálculos correspondientes para cada una de las sustancias y así determinar la densidad de cada una de estas.

A continuación, en la tabla 22 se exponen los datos obtenidos de las muestras de laboratorio, en el caso puntual de la densidad del agua se decide aproximar el valor de 0,998g/ml correspondiente a agua a 20°C a 1g/ml con el fin de practicidad al momento de realizar los cálculos correspondientes.

**Tabla 22.**

*Datos de peso y volumen necesarios para cálculo de densidades*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
<b>Peso picnómetro vacío (g)</b>	120,159
<b>Peso picnómetro más agua (g)</b>	169,254
<b>Peso picnómetro más Jarabe (g)</b>	183,917
<b>Peso picnómetro más sirope de pancakes (g)</b>	178,253
<b>Peso picnómetro más miel (g)</b>	188,96
<b>Volumen picnómetro (mL)</b>	5
<b>Densidad agua (g/mL)</b>	1

**Nota:** la tabla muestra los datos recolectados y constantes necesarias para el cálculo posterior de la densidad de todas las sustancias a analizar.

El cálculo de las densidades de cada una de las sustancias analizadas en el laboratorio se lleva a cabo mediante la ecuación 9 la cual fue tomada del documento “*Determinación de la densidad de un líquido con el método del picnómetro*” [54]

**Ecuación 9.**

*Densidad de un líquido por medio de picnómetro.*

$$\rho_{sustancia} = \left( \frac{m_{picnómetro\ s} - m_{picnómetro}}{m_{picnómetro\ agua} - m_{picnómetro}} \right) * \rho_{agua}$$

**Nota.** Se describe la ecuación utilizada para hallar el valor de la densidad de un líquido en laboratorio por medio de picnómetro.

**Ecuación 10.**

*Densidad de jarabe de yacón por medio de picnómetro.*

$$\rho_{jarabe\ de\ yacón} = \left( \frac{m_{picnómetro\ jarabe} - m_{picnómetro}}{m_{picnómetro\ agua} - m_{picnómetro}} \right) * \rho_{agua}$$

**Nota.** Se describe la ecuación utilizada para hallar el valor de la densidad del jarabe de yacón en laboratorio por medio de picnómetro.

$$\rho_{jarabe\ de\ yacón} = \left( \frac{183,917\ g - 120,159\ g}{169,254 - 120,159\ g} \right) * \left( 1 \frac{g}{mL} \right)$$

$$\rho_{jarabe\ de\ yacón} = 1,29 \frac{g}{mL}$$

Densidades.

**Tabla 23.**

*Densidades obtenidas*

Material	Valor [g/mL]
Jarabe de yacón	1,29
Sirope de pancakes	1,18
Miel	1,41

**Nota:** La tabla muestra los resultados obtenidos de densidad de las sustancias.

Después de realizar los cálculos correspondientes para cada una de las sustancias evaluadas se determina que tanto la miel, jarabe y sirope son mas densos que el agua; sin embargo, la miel tiene mayor densidad entre las tres sustancias analizadas, seguida de el jarabe de yacón y finalmente el sirope para pancakes.

#### 5.2.2.d. pH

El pH se define como una medida de la acidez o alcalinidad que pueda tener una sustancia, este mide la cantidad de iones de hidrogeno presentes en una solución va en una escala de 0 a 14, donde 7 es neutro, de 0-6 es acido y de 8-14 es básico [55].

Esta prueba se realiza mediante un pHmetro en el cual se sumerge el medidor en la sustancia a analizar, esta prueba se realiza cinco veces para cada sustancia y se condensan los datos obtenidos; con el fin de corroborar que el equipo estuviese calibrado se hace lectura de pH con cinta, con el cual se verifica que el valor obtenido por el equipo es certero.

**Tabla 24.**

*Datos de pH obtenidos en pruebas de laboratorio*

<b>Toma</b>	<b>Prejarabe</b>	<b>Jarabe</b>	<b>Miel</b>	<b>Sirope de pancakes</b>
<b>1</b>	5,23	4,88	4	4,5
<b>2</b>	5,27	4,83	4	4,53
<b>3</b>	5,3	4,51	4,2	4,56
<b>4</b>	5,1	4,81	4,15	4,7
<b>5</b>	5,23	4,87	4	4,48
<b>Promedio</b>	5,22	4,78	4,07	4,55

**Nota:** La tabla muestra los datos obtenidos de la toma de pH en el laboratorio para las diferentes sustancias a analizar.

De la misma forma que con pruebas anteriores, se sacó un promedio después de las cinco lecturas para establecer el valor final de pH de cada sustancia, en este caso cada uno de los compuestos arrojaron valores cercanos, todos en la escala de pH ácido, el menos acido de todos fue el prejarabe seguido del jarabe de yacón, posteriormente el sirope para pancakes y finalmente la miel.

### 5.2.2.e. Cenizas

Las cenizas en una prueba de alimentos son un indicador del contenido de materia orgánica y minerales presentes en la muestra. [56]

Para esta prueba se pesa la cápsula de porcelana vacía y seca, posteriormente se vierte un volumen de 100mL de jarabe de yacón en una capsula y se deja durante tres horas en la mufla a una temperatura de 550°C transcurrido este tiempo se saca la capsula y se deja enfriar para posteriormente tomar el peso de la capsula con las cenizas obtenidas.

#### **Tabla 25.**

*Tabla de pesos necesarios para el cálculo de cenizas totales*

<b>Instrumento</b>	<b>Peso [mg]</b>
<b>Cápsula vacía</b>	57539,2
<b>Cápsula con cenizas jarabe de yacón</b>	86415,8

**Nota:** La tabla muestra los datos obtenidos para el cálculo posterior de cenizas presentes en la muestra de jarabe de yacón.

#### **Ecuación 11.**

*Determinación de cenizas por medio de diferencia de pesos de cápsula de porcelana.*

$$\text{Cenizas} = \text{peso capsula con jarabe} - \text{peso capsula vacia}$$

**Nota.** Se establece el peso final de cenizas del jarabe por medio de ecuación de diferencia de pesos de cápsula de porcelana: con cenizas y sin cenizas.

$$\text{cenizas} = 86415,8 \text{ mg} - 57539,2 \text{ mg}$$

$$\text{cenizas} = 28876,6 \text{ mg}$$

$$\text{cenizas} = 28,87 \text{ g}$$

Posterior a las tres horas en la mufla y realizado el cálculo de la masa de las cenizas remanentes en la capsula, se evidencia que de 100 mL de jarabe de yacón quedan 28,87 g de cenizas traducidas en materia orgánica y minerales presentes en este, de modo que si se determina el porcentaje de cenizas en el jarabe, se llega a un valor de 22,37%.



Realizando un análisis global de las pruebas realizadas al producto obtenido y comparado con otros dos productos con características similares se evidencia que:

La miel tiene mayor dulzor que el jarabe y que el sirope, sin embargo, el jarabe de yacón tiene mayor dulzor que el sirope para pancakes. El valor obtenido para el jarabe  $64,52^\circ$  corresponde a los grados que también tiene una mermelada, por otro lado, el prejarabe de yacón presento  $17,12^\circ$  grados Brix, esto permite evidenciar que el prejarabe que se tomó en la etapa de preconcentración del producto aún estaba lejano de alcanzar las características deseadas y se confirma que el jarabe debe dejarse concentrar hasta una temperatura aproximada de  $80^\circ\text{C}$  para alcanzar un buen resultado de grados Brix.

Como se menciona anteriormente la escala del equipo de medición es de 0,01 – 1100 NTU/FNU siendo el blanco 0,5 y el prejarabe y jarabe 480,12 y 329,3 respectivamente se puede evidenciar que tiene una gran diferencia respecto al blanco, incluso respecto a los dos productos con los que se compara pues tanto la miel como el sirope de pancakes no tienen un valor superior a 10 pues la miel tiene 9,23 y el sirope 4,28. La turbidez representa la cantidad de material disuelto que afecta el paso de la luz por la muestra, de lo anterior es correcto decir que el prejarabe, al ser extraído en una etapa de preconcentración aún tiene bastantes sólidos y material en suspensión mientras que el jarabe si bien tiene un valor alto, si se divide la escala total en 3 secciones, el nivel bajo correspondería hasta el valor de 366,66, el nivel medio correspondería hará el valor de 733,33 y el nivel alto correspondería a los valores por encima del valor máximo de la escala media. Sería correcto afirmar que el jarabe de yacón tiene una turbidez baja/media y el prejarabe tiene una turbidez media

En cuanto a la densidad, después de los cálculos correspondientes se obtiene un valor de 1,29 g/mL para el jarabe de yacón, a pesar de que a simple vista se pensaría que el sirope para pancakes sería considerablemente más denso que el jarabe no fue así pues el jarabe de yacón es levemente más denso que el sirope, por otro lado, la miel a pensar de que es el producto más denso de los tres que se analizaron no muestra una diferencia muy grande respecto al jarabe de yacón pues el valor obtenido de la miel fue de 1,41g/mL.

Respecto al pH, al analizar cada uno de los productos se evidencia que la miel tiene el pH mas acido de los 4 (incluyendo el prejarabe de yacón) pues obtuvo un valor de 4,07, el jarabe de yacón y el sirope para pancakes dieron como resultado valores cercanos 4,78 y 4,55 respectivamente y finalmente el prejarabe arrojó un valor de 5,22; inicialmente se podría pensar que a medida que aumenta la concentración del jugo de yacón va disminuyendo levemente el pH pues a en la etapa de preconcentración fue menos acido que en la etapa de concentración final. Por otro lado, para ampliar un poco la comparación de los alimentos con rangos de pH similares el jarabe de yacón tiene un pH similar al del queso crema que es 4,72 y en el caso de las frutas al del mango que a su vez también es 4,72 [57], en cuanto al prejarabe, alimentos que tienen un pH similar podrían ser el queso cottage cuyo valor de pH es 5,27 y el del chayote que es 5,22 [55].

### 5.3 Análisis comparativo de las propiedades y beneficios del edulcorante de yacón con base teórica, edulcorantes tradicionales

· *Jarabe de Yacón*

**Tabla 26.**

*Comparación valores experimentales obtenidos y valores teóricos del jarabe de yacón*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor teórico</b>	<b>Valor experimental</b>
<b>Densidad</b>	1,35 g/mL	1,29 g/mL
<b>Grados Brix</b>	73°	64,5°
<b>pH</b>	4,2 -5,8	4,78

**Nota:** la tabla muestra la comparación entre los valores teóricos y experimentales de determinadas características del jarabe de yacón. Tomado de: Referencia teórica del yacón: [https://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/06/1919-Jarabe\\_Yacon.pdf](https://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/06/1919-Jarabe_Yacon.pdf)

· *Sirope para pancakes*

**Tabla 27.**

*Comparación valores experimentales obtenidos y valores teóricos del sirope para pancakes*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor teórico</b>	<b>Valor experimental</b>
<b>Densidad [g/mL]</b>	1,314	1,18
<b>Grados Brix</b>	66°	46,6 °
<b>pH</b>	4,46	4,55

**Nota:** la tabla muestra la comparación entre los valores teóricos y experimentales de determinadas características del sirope para pancakes. Tomado de [56],[59],[59]

· *Miel*

**Tabla 28.**

*Comparación valores experimentales obtenidos y valores teóricos de la miel de abejas*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor teórico</b>	<b>Valor experimental</b>
<b>Densidad [g/mL]</b>	1,41 -1,43	1,41
<b>Grados Brix</b>	77-88°	81,1°
<b>pH</b>	3,3-3,4	4,0

**Nota:** la tabla muestra la comparación entre los valores teóricos y experimentales de determinadas características de la miel de abejas. Tomado de: [http://red.unal.edu.co/cursos/ciencias/2018415/und2/html\\_1/2\\_7\\_3parametros.html](http://red.unal.edu.co/cursos/ciencias/2018415/und2/html_1/2_7_3parametros.html), [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmLui/bitstream/handle/123456789/411/60970s.pdf?#:~:text=a\)%20Densidad%20a%2020%20%C2%B0,mL%20y%201.435%20g%2FmL](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmLui/bitstream/handle/123456789/411/60970s.pdf?#:~:text=a)%20Densidad%20a%2020%20%C2%B0,mL%20y%201.435%20g%2FmL), [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmLui/bitstream/handle/123456789/411/60970s.pdf?#:~:text=a\)%20Densidad%20a%2020%20%C2%B0,mL%20y%201.435%20g%2FmL](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmLui/bitstream/handle/123456789/411/60970s.pdf?#:~:text=a)%20Densidad%20a%2020%20%C2%B0,mL%20y%201.435%20g%2FmL).

De las tablas 26, 27 y 28 expuestas anteriormente, se comparan los valores experimentales contra los valores teóricos de diferentes propiedades de cada producto para así determinar qué tan precisos fueron los resultados, iniciando con el jarabe de yacón se obtienen datos diferentes que no están muy alejados de los valores teóricos pues el valor experimental de la densidad fue 1,29 g/mL y el teórico 1,35 g/mL; los grados Brix teóricos son de 73° y los obtenidos experimentalmente 65° y finalmente el pH teórico es un rango entre 4,2 – 5,8 y el valor experimental obtenido de pH fue

4,78, valor que se encuentra dentro del rango establecido teórico. La diferencia de los datos puede haberse dado debido a condiciones de proceso tales como temperatura o volumen de zumo tratado.

Por otro lado, en cuanto al sirope para pancakes también se obtienen valores, aunque diferentes que no están muy alejados de los datos teóricos, la densidad experimental fue 1,18g/mL y la teórica 1,314 g/mL, los grados Brix experimentales fueron de 46,6° y los teóricos de 66°, el pH experimental fue de 4,55 y el teórico de 4,46. Finalmente con la miel los datos obtenidos están mayormente en el rango de los datos teóricos en cuanto a la densidad el valor experimental fue de 1,41g/mL y el rango teórico es de 1,41-1,43 g/mL, los grados brix fueron de 81,1° y el rango teórico es de 77°-88°, el pH experimental fue de 4 y el rango teórico es de 3,3 - 3,4. En cuanto a la miel y el sirope para pancakes los datos pudieron ser diferentes debido a la marca del producto analizado con la marca de la referencia usada como teórica, sin embargo, los datos obtenidos no están alejados de los datos teóricos.

Otro de los ajustes en el proceso se basa en el aumento del tiempo de evaporación del pre jarabe, efectuado debido a la imposibilidad de la fuente de calor para elevar la temperatura del líquido a 100°C, esto en los parámetros fisicoquímicos del jarabe representa una falencia reflejada en los grados Brix y la densidad del producto, teniendo en cuenta que el control de la primera variable, no se puede manejar en el procedimiento artesanal por carencia del instrumento de medición (refractómetro), alcanzando únicamente un 64,5% de medición en laboratorio de este producto, es decir 16% menos de lo esperado.

Como se evidencia en la tabla 26, se comparan los resultados experimentales obtenidos contra los valores teóricos de características del jarabe de yacón, teniendo en cuenta que existe una relación directa entre grados brix y densidad pues en los grados brix se miden los sólidos presentes en el jarabe, por ende, entre más denso sea el jarabe también tendrá mayor resultado de grados brix, lo cual es evidenciable en los resultados, en donde se verifica que se cumple esta relación, por otro lado hay que contemplar errores presentes en el proceso de la toma de datos pues si bien los valores de densidad no son iguales, no están tan alejados mientras que en los grados brix si se ve una diferencia más considerable, esto puede deberse a la calibración de los equipos implementados o incluso a la preparación de la muestra al momento de tomar los valores en laboratorio, incluso el equipo implementado pues es más preciso un densímetro que un picnómetro.

## CONCLUSIONES

Se logra caracterizar el tubérculo yacón (*Smallanthus Sonchifolius*) por medio de una búsqueda teórica, en la cual se destacan las características morfológicas, botánicas y de cultivo óptimo para el crecimiento del mismo, determinando de igual forma que el territorio colombiano, al estar ubicado en la región andina, reúne las características adecuadas para su desarrollo. Por otra parte, se caracterizaron las propiedades nutricionales y medicinales del tubérculo, a partir de datos encontrados en la literatura, en donde se evidencia su aporte positivo en la dieta humana, esto centrado en su contenido de FOS, inulina, y demás sustancias como vitaminas y minerales, que benefician procesos cardiovasculares, digestivos y hormonales en el cuerpo.

Para la identificación del proceso de producción del edulcorante a base de yacón, se determinaron diversos métodos y equipos involucrados en la elaboración de jarabes endulzantes, por lo que se estableció en una primera instancia, el pretratamiento de la materia prima por medio de operaciones unitarias básicas, y así mismo una posterior comparación entre la hidrólisis enzimática y química, lo que posteriormente conllevó a una descripción de múltiples tratamientos industriales, como lo es el secado por aspersión, ultrasonido, liofilización, extracción de fructanos y FOS y finalmente evaporación y concentración.

Se estableció el proceso de producción de jarabe de yacón a nivel artesanal, a partir de la elaboración de la matriz de decisión por criterio optimista, en donde se evaluaron factores financieros, ambientales, de eficiencia de proceso, seguridad industrial y legales, a cada criterio se le asignó una puntuación y así mismo se calificó la relevancia sobre los procesos productivos comparados en la matriz, obteniendo como resultado que el mejor proceso que determina una eficacia representativa para la obtención del jarabe de yacón a nivel artesanal, es el proceso de extracción y concentración, alcanzando un puntaje de 80 sobre 95 puntos posibles totales en la escala propuesta, esto debido a que cuenta con el valor máximo por criterio maxi-max, en el factor financiero y en el adecuado escalamiento que cuenta para su ejecución, centrándose así en la similitud de operaciones unitarias que se pueden realizar con equipos no tecnificados como lo son los implementos de cocina sin un control estricto de las condiciones del ambiente de producción.

El valor de la eficiencia obtenida en el proceso artesanal fue de 72,3%, cifra resultante de la comparación entre el rendimiento teórico y experimental del mismo. Este valor nos lleva a concluir que el proceso resulta eficaz, teniendo en cuenta que el rendimiento teórico se encuentra ocho puntos porcentuales sobre el rendimiento experimental, de manera que, analizando diversos aspectos limitantes como falta de tecnificación en maquinaria, equipos de control de variables, y error humano, el rango de factibilidad resulta óptimo.

A partir de los resultados de las propiedades fisicoquímicas del jarabe, determinadas por medio de laboratorio, se obtiene que su densidad arroja un valor de 1,29 g/mL, comparado con el valor teórico, se desfasa en un error del 4,44%, por otra parte se cuenta con que los grados Brix resultantes son de 65°, expresando un error del 10,96% con respecto a la teoría y finalmente el pH teórico es un rango entre 4,2 – 5,8 estando en el rango reportado vía teórica, de manera que se puede concluir que, a pesar de no se cuenta con los valores exactos reportados por la literatura, los resultados demuestran un similaridad aceptable, afectando positivamente el producto para su posterior consumo, de igual manera cabe resaltar que existe una considerable desviación, debido a las limitaciones presentadas en la ejecución del proceso, al tipo de yacón utilizado y la tecnología seleccionada para el mismo.

Se compararon los diferentes beneficios del jarabe obtenido del tubérculo yacón, frente a diversos endulzantes alternativos y tradicionales, como lo son el azúcar convencional, y edulcorantes sintéticos; se determinó que las principales diferencias radican en las propiedades metabólicas que producen cada uno de estos en el cuerpo humano, es decir el índice glucémico del alimento, el valor calórico o la cantidad máxima tolerable, en donde el jarabe de yacón resulta ser 68, 2 y 15 unidades menor al azúcar, respectivamente, de igual forma al comparar con un endulzante alternativo reconocido como la Stevia, se pudo verificar que el jarabe de yacón representa valores mayores en todos los ítems analizados anteriormente, sin embargo gracias a la comparación realizada frente a los aspectos negativos que los demás edulcorantes pueden generar, se encuentra que las sustancias de tipo no calórico pueden provocar trastornos metabólicos o psicológicos que afectan la saciedad y la digestión de los alimentos.

De los análisis sensoriales captado por un muestreo de 200 opiniones, se puede concluir que el jarabe de yacón tuvo una buena recepción por la población de prueba, debido que en cada uno de

los ítems prevalece la aceptación del producto. El diagrama de red permite evidenciar la afinidad de cinco características importantes en el jarabe de yacón (color, olor, sabor, viscosidad y dulzor) y se puede decir que menos del 10% de la población no contó con buena afinidad de percepción del producto, mientras que al 90% de la población muestreada, determinó una aceptación organoléptica del mismo.

Finalmente se puede concluir que, a partir del estructuramiento de los balances energéticos y de materia, se pueden reconocer valores críticos para la evaluación de un proceso industrial, entre estos se pueden destacar el rendimiento y la eficiencia alcanzada por el proceso a partir de su comparación teórica, en este caso, la eficiencia alcanzó un 72.3%, además del porcentaje de residuos involucrados en el proceso y la clasificación de estos para su posterior uso en la elaboración de diversos productos, y en última instancia la energía requerida para conseguir el producto, la cual es calculada a partir de todas aquellas operaciones que requieran en este caso elevar la temperatura de la sustancia en la línea de proceso, obteniendo un valor final de 1205,939 kJ.

## RECOMENDACIONES

- Para garantizar un mejor manejo de la materia prima, se recomienda adquirir el yacón en condiciones con una madurez media, es decir que no posea signos de envejecimiento, como ablandamientos parciales o totales, reducción de firmeza en la cáscara, tonalidades oscuras, entre otros; esto con el fin de que en procesos como el cortado y extracción, se cuente con una mayor eficiencia de separación, y con este una reducción del tiempo de ejecución.
- El proceso realizado en el proyecto para la obtención del jarabe se basa en una técnica artesanal, por lo que no se encuentran disponibles múltiples equipos de medición de parámetros fisicoquímicos para la evaluación de las variables en cada etapa; se recomienda en especial para la fase de evaporación, poseer un equipo de medición de grados brix y un termómetro para alimentos que permitan determinar los tiempos más acertados para la reducción del edulcorante.
- Dentro del proceso artesanal de producción del jarabe, se encuentran múltiples residuos, que a pesar de que no representan un riesgo tóxico para el ambiente, o para la salud humana, sí representa un desecho orgánico que puede ser transformado para la creación de nuevos subproductos; se recomienda analizar las propiedades fisicoquímicas del bagazo obtenido de modo que se pueda evaluar la posibilidad de producción de papel orgánico u otros productos, a partir de su contenido molecular.
- Se recomienda implementar el tratamiento térmico en múltiples puntos de extracción de jugo de yacón: recirculación de materia orgánica en extractor y en filtrado de esta, con el fin de disminuir el pardeamiento debido a la oxidación que sufre en contacto con el ambiente.
- Para la estabilización de sabor, en días posteriores a la elaboración del edulcorante de yacón, se recomienda agregar un estabilizante de acidez que permita equilibrar esta característica en el producto, y así se pueda conservar el notable dulzor del producto por más tiempo.
- Se recomienda realizar una investigación exploratoria sensorial por medio de pruebas triangulares o de comparación, con el fin de determinar una opinión comparativa de los consumidores, para así conocer la probabilidad de inserción en el mercado para la competencia con edulcorantes conocidos como la stevia y el azúcar.
- En el proceso, se determinó una limitante en cuanto a la segunda fase de la evaporación, siendo el calor brindado, menor al requerido por el proceso, es por eso que se recomienda la



implementación de una fuente energética que permita elevar la temperatura fácilmente del jarabe de yacón, para llegar a las características adecuadas del producto en un menor tiempo.

- Se recomienda el estudio del envase del producto, sin embargo se sugiere la implementación de envase de vidrio además de la adición de un fungicida con el fin de prever la aparición de diferentes microorganismos tales como esporas.
- No se considera necesario la adición de un aditivo con el fin de prever el crecimiento de bacterias debido a que el medio no es favorecedor para tal fin.
- Se recomienda la implementación de una pasteurización con el producto ya envasado, con el fin de evitar la contaminación del producto

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] N. Bautista, “Tres de cada 100 colombianos tienen diabetes,” *Tres de cada 100 colombianos tienen diabetes*, Jul. 19, 2020. <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Tres-de-cada-100-colombianos-tienen-diabetes.aspx> (accessed Nov. 04, 2021).
- [2] H. Vargas-Uricoechea and L. Á. Casas-Figueroa, “An Epidemiologic Analysis of Diabetes in Colombia,” *Annals of Global Health*, vol. 81, no. 6, pp. 742–753, Nov. 2015, doi: 10.1016/J.AOGH.2015.11.001.
- [3] “Desmitificación del azúcar :: Diabetes Education Online,” *Desmitificación del azúcar*, May 06, 2018. <https://dtc.ucsf.edu/es/la-vida-con-diabetes/dieta-y-nutricion/comprende-los-carbohidratos-2/desmitificacion-del-azucar/> (accessed Nov. 07, 2021).
- [4] M. Vivas, “Panorama de la diabetes mellitus en Colombia 2020 - CONSULTORSALUD,” *Consultor salud*, Nov. 12, 2021. <https://consultorsalud.com/diabetes-mellitus-en-colombia-2020/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [5] E. Cadena, “Obesidad, un factor de riesgo en el covid-19,” Mar. 2021. Accessed: Jul. 07, 2022. [Online]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Obesidad-un-factor-de-riesgo-en-el-covid-19.aspx>
- [6] J. M. García-Almeida, G. M<sup>a</sup> Casado Fdez, and J. García Alemán, “Una visión global y actual de los edulcorantes. Aspectos de regulación A CURRENT AND GLOBAL REVIEW OF SWEETENERS. REGULATORY ASPECTS,” *Nutrición Hospitalaria*, vol. 28, no. 4, pp. 17–31, 2013, Accessed: Apr. 10, 2022. [Online]. Available: <http://www.info-edulcorants.org/>
- [7] A. García and C. Gracia, “Una visión global y actual de los edulcorantes: aspectos de regulación,” *A current and global review of sweeteners. Regulatory aspects*, vol. 28, no. 4, Jul. 2013, Accessed: Nov. 04, 2021. [Online]. Available: [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0212-16112013001000003](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112013001000003)
- [8] K. Kumar, “Artificial Sweeteners: A Review,” *IJESC*, vol. 10, no. 10, Oct. 2020, Accessed: Nov. 04, 2021. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/344822418\\_Artificial\\_Sweeteners\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/344822418_Artificial_Sweeteners_A_Review)
- [9] M. Polanco, “CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y MOLECULAR DE MATERIALES DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius* Poep. & Endl) H. Robinsón COLECTADOS EN LA ECO REGIÓN EJE CAFETERO DE COLOMBIA ,” Universidad Nacional de Colombia, Palmira, 2011.
- [10] L. Caballero and A. Colonia, “YACÓN COMO PLANTA PROMISORIA EN EL MANEJO DE ENFERMEDADES,” *Artículos de investigación científica y tecnológica*, vol. 20, no. 36, pp. 145–147, 2018, Accessed: Nov. 04, 2021. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/2390/239059788010/html/>
- [11] Á. Carbajal Azcona, “Hidratos de carbono,” *Facultad de farmacia U.C.M.* Madrid, 2010. Accessed: Jul. 17, 2022. [Online]. Available: <http://www.ucm.es/nutricioncarbajal/2https://www.ucm.es/>
- [12] F. Ruiz Gómez *et al.*, “Documento técnico: AZÚCARES ADICIONADOS,” *Ministerio de Salud*, 2014, Accessed: May 16, 2022. [Online]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SNA/documen-to-tecnico-azucares-adicionados.pdf>
- [13] A. Muñoz, “Monografía: Yacón *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob,” *Perudiverso*, vol. 1, pp. 7–8, Jun. 2012, Accessed: Dec. 16, 2021. [Online]. Available:

- [https://repositorio.promperu.gob.pe/bitstream/handle/123456789/1374/Monografia\\_yacon\\_2010\\_keyword\\_principal.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.promperu.gob.pe/bitstream/handle/123456789/1374/Monografia_yacon_2010_keyword_principal.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [14] N. Dostert, J. Roque, A. Cano, M. la Torre, and M. Weigend, “Factsheet: Datos botánicos de Yacón,” *Proyecto Perúbiodiverso – PBD*., vol. 1, pp. 3–20, Apr. 2009, Accessed: Dec. 16, 2021. [Online]. Available: [http://www.botconsult.com/downloads/Yacon\\_factsheet\\_final.pdf](http://www.botconsult.com/downloads/Yacon_factsheet_final.pdf)
- [15] M. A. Cano, “PROPAGACIÓN CLONAL DEL YACÓN [*Smallanthus sonchifolius* (POEPP. AND ENDL.) H. ROBINSON] Y DETERMINACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE INULINA.” Medellín, 2016. Accessed: Dec. 16, 2021. [Online]. Available: <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/2956/Trabajo%20de%20Grado%20Alejandra%20Cano%20Romero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [16] “Yacón, alternativa agrícola con apoyo del SENA,” Nov. 17, 2014. <https://www.sena.edu.co/es-co/Noticias/Paginas/noticia.aspx?IdNoticia=1768> (accessed May 06, 2022).
- [17] C. Andrea, C. Díaz, D. Marcela, F. Morante, T. Melissa, and C. Pacheco, “El Yacón: una alternativa para el sector agrícola colombiano El Yacón: una alternativa para el sector agrícola colombiano Citación recomendada Citación recomendada,” Sep. 2017, Accessed: Apr. 10, 2022. [Online]. Available: [https://ciencia.lasalle.edu.co/finanzas\\_comercioT.M](https://ciencia.lasalle.edu.co/finanzas_comercioT.M).
- [18] K. Marcela and J. Rodríguez, “Propuesta para el cultivo y aprovechamiento sostenible del yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Rob) en Colombia,” Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C., 2011. Accessed: May 06, 2022. [Online]. Available: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8868/tesis807.pdf>
- [19] I. Manrique, M. Valderrama, and J. Seminario, “EL YACON, Fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio,” vol. 1, no. 1. Lima, pp. 20–30, 2003. Accessed: Jan. 17, 2022. [Online]. Available: [http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/07/Yacon\\_Fundamentos\\_password.pdf](http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/07/Yacon_Fundamentos_password.pdf)
- [20] A. Muñoz, “Monografía: Yacón *Smallanthus sonchifolius* ,” *monografías para cinco cultivos peruanos del Proyecto Perúbiodiverso*, Jun. 2010, Accessed: Jan. 25, 2022. [Online]. Available: [https://repositorio.promperu.gob.pe/bitstream/handle/123456789/1374/Monografia\\_yacon\\_2010\\_keyword\\_principal.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.promperu.gob.pe/bitstream/handle/123456789/1374/Monografia_yacon_2010_keyword_principal.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [21] A. Hernández, “Diabetes mellitus » Los fructooligosacáridos,” Jan. 27, 2010. <https://articulos.sld.cu/diabetes/2010/01/27/los-fructooligosacaridos/> (accessed May 06, 2022).
- [22] S. Sánchez and S. Genta, “C13- YACON: UN POTENCIAL PRODUCTO NATURAL PARA EL TRATAMIENTO DE LA DIABETES ,” *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, vol. 6, no. 5, pp. 162–164, 2007, Accessed: Apr. 16, 2022. [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85617508014>
- [23] “Secretaría de Ambiente, Agricultura y Pesca.” <http://www.valledelcauca.gov.co/agricultura/publicaciones.php?id=9767> (accessed Apr. 10, 2022).
- [24] M. I. G. H, and J. J, “Ingredientes no tradicionales para la formulación de alimentos funcionales,” *Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud*, Dec. 2011, Accessed: May 06, 2022. [Online]. Available: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/14425>
- [25] V. Tovar, C. Ramón, and P. Gisela, “Producción de Jarabes Edulcorantes por Hidrólisis Enzimática del Almidón de Ñame Variedad (*Dioscorea rotundata*) Sweetening syrup

- production by enzymatic hydrolysis of starch variety yam (*Dioscorea rotundata*),” 2011, Accessed: Jan. 25, 2022. [Online]. Available: [https://academia.unad.edu.co/images/investigacion/hemeroteca/PeI/volumen5\\_2011/produccion%20de%20jarabes%20edulcorantes%20por%20hidrolisis.pdf](https://academia.unad.edu.co/images/investigacion/hemeroteca/PeI/volumen5_2011/produccion%20de%20jarabes%20edulcorantes%20por%20hidrolisis.pdf)
- [26] Y. Sudiyani, D. Dahnum, D. Burhani, and A. Hada, “Evaluation and comparison between simultaneous saccharification and fermentation and separated hydrolysis and fermentation process,” *Research Center for Chemistry*. 2019. Accessed: Jan. 25, 2022. [Online]. Available: [https://app-knovel-com.ezproxy.uamerica.edu.co/web/view/khtml/show.v/rcid:kpSTGFTEB1/cid:kt0122ERA1/viewerType:khtml/root\\_slug:second-third-generation/url\\_slug:evaluation-enzymatic-hydrolysis?b-q=enzymatic%20hydrolysi&include\\_synonyms=no&sort\\_on=default&page=13&view=collapsed&zoom=1&q=enzymatic%20hydrolysi](https://app-knovel-com.ezproxy.uamerica.edu.co/web/view/khtml/show.v/rcid:kpSTGFTEB1/cid:kt0122ERA1/viewerType:khtml/root_slug:second-third-generation/url_slug:evaluation-enzymatic-hydrolysis?b-q=enzymatic%20hydrolysi&include_synonyms=no&sort_on=default&page=13&view=collapsed&zoom=1&q=enzymatic%20hydrolysi)
- [27] K. Fink, “Chemistry of Bio-Based Polymers (2nd Edition) - 5.1.1 Starch Modification.,” *John Wiley & Sons*, no. 2. pp. 273–275, 2020. Accessed: Jan. 25, 2022. [Online]. Available: [https://app-knovel-com.ezproxy.uamerica.edu.co/web/view/khtml/show.v/rcid:kpCBBPE001/cid:kt012EZKG4/viewerType:khtml/root\\_slug:chemistry-bio-based-polymers/url\\_slug:acid-hydrolysis?b-q=acid%20hydrolysis&include\\_synonyms=no&sort\\_on=default&page=61&view=collapsed&zoom=1&q=acid%20hydrolysis](https://app-knovel-com.ezproxy.uamerica.edu.co/web/view/khtml/show.v/rcid:kpCBBPE001/cid:kt012EZKG4/viewerType:khtml/root_slug:chemistry-bio-based-polymers/url_slug:acid-hydrolysis?b-q=acid%20hydrolysis&include_synonyms=no&sort_on=default&page=61&view=collapsed&zoom=1&q=acid%20hydrolysis)
- [28] P. Binod, R. Sindhu, Usha Kanakambran, and A. Pandey, *Hydrolysis of Cellulosic and Hemicellulosic Biomass*. Thiruvananthapuram: \*Centre for Biofuels, Microbial Processes and Technology Division, CSIR-National Institute for Interdisciplinary Science and Technology, 2019. Accessed: Jan. 25, 2022. [Online]. Available: [https://app-knovel-com.ezproxy.uamerica.edu.co/web/view/khtml/show.v/rcid:kpBBBBAFC3/cid:kt0122B8P2/viewerType:khtml/root\\_slug:biomass-biofuels-biochemicals/url\\_slug:acid-hydrolysis?b-q=acid%20hydrolysis&include\\_synonyms=no&sort\\_on=default&page=5&view=collapsed&zoom=1&q=acid%20hydrolysis](https://app-knovel-com.ezproxy.uamerica.edu.co/web/view/khtml/show.v/rcid:kpBBBBAFC3/cid:kt0122B8P2/viewerType:khtml/root_slug:biomass-biofuels-biochemicals/url_slug:acid-hydrolysis?b-q=acid%20hydrolysis&include_synonyms=no&sort_on=default&page=5&view=collapsed&zoom=1&q=acid%20hydrolysis)
- [29] A. Raspolli and C. Antonetti, *Biomass pretreatment: separation of cellulose, hemicellulose, and lignin - existing technologies and perspectives*. De Gruyter, 2012. Accessed: Jan. 25, 2022. [Online]. Available: [https://app-knovel-com.ezproxy.uamerica.edu.co/web/view/khtml/show.v/rcid:kpBFBCF001/cid:kt00U4FVL1/viewerType:khtml/root\\_slug:biorefinery-from-biomass/url\\_slug:acid-hydrolysis?b-q=acid%20hydrolysis&include\\_synonyms=no&sort\\_on=default&page=11&view=collapsed&zoom=1&q=acid%20hydrolysis](https://app-knovel-com.ezproxy.uamerica.edu.co/web/view/khtml/show.v/rcid:kpBFBCF001/cid:kt00U4FVL1/viewerType:khtml/root_slug:biorefinery-from-biomass/url_slug:acid-hydrolysis?b-q=acid%20hydrolysis&include_synonyms=no&sort_on=default&page=11&view=collapsed&zoom=1&q=acid%20hydrolysis)
- [30] A. Villagran Jaramillo, C. Huayamave Bravo, J. Lara García, O. Maluk Salem, G. Galindo Velasco Km, and V. Perimetral, “Stevia: Producción y Procesamiento de un Edulzante Alternativo,” Guayaquil, 2009. Accessed: May 26, 2022. [Online]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/5208/1/8555.pdf>
- [31] E. PALACIO VASQUEZ, J. E. HURTADO IBARBO, J. D. ARROYAVE ROA, M. CARDONA CAICEDO, and J. MARTINEZ GIRON, “EDULCORANTES NATURALES UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DE CHOCOLATES,” *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 15, no. 2, p. 142, 2017, doi: 10.18684/bsaa(15)142-152.

- [32] R. Vega, “EVALUACIÓN PRELIMINAR DE PRODUCCION DE ERITRITOL A PARTIR DE PRODUCTOS AZUCARADOS DE LA CAÑA.” Nov. 2019. Accessed: May 26, 2022. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/337063804\\_EVALUACION\\_PRELIMINAR\\_DE\\_PRODUCCION\\_DE\\_ERITRITOL\\_A\\_PARTIR\\_DE\\_PRODUCTOS\\_AZUCARADOS\\_DE\\_LA\\_CANA](https://www.researchgate.net/publication/337063804_EVALUACION_PRELIMINAR_DE_PRODUCCION_DE_ERITRITOL_A_PARTIR_DE_PRODUCTOS_AZUCARADOS_DE_LA_CANA)
- [33] P. Arango, J. Jiménez, and A. Sldarriega, “Obtención de edulcorantes a partir de tubérculos andinos: aplicación en chocolatería,” Corporación Universitaria Lasallista, Caldas, 2013. Accessed: Jan. 25, 2022. [Online]. Available: [http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1042/1/Obtencion\\_edulcorantes\\_de\\_tuberculos\\_andinos\\_aplicacion\\_chocolateria.pdf](http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1042/1/Obtencion_edulcorantes_de_tuberculos_andinos_aplicacion_chocolateria.pdf)
- [34] I. Guevara, B. Pallardel, Indira, K. Noborikawa, Melissa, and C. Gutierrez, “Optimización del proceso de extracción de los fructooligosacáridos de yacón (*Smallantus Sonchifolius*),” *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 81, no. 3, pp. 263–272, 2015, Accessed: Jan. 25, 2022. [Online]. Available: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2015000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2015000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- [35] L. Jaime, M. A. Martín-Cabrejas, E. Mollá, F. J. López-Andréu, and R. M. Esteban, “Effect of storage on fructan and fructooligosaccharide of onion (*Allium cepa* L.),” *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 49, no. 2, pp. 982–988, 2001, doi: 10.1021/JF000921T.
- [36] S. Benito, “Introducción a la economía de la empresa,” 2010, pp. 8–12. Accessed: May 08, 2022. [Online]. Available: [http://portal.uned.es/pls/portal/docs/PAGE/UNED\\_MAIN/LAUNIVERSIDAD/UBICACIONES/05/DOCENTE/SONIA\\_BENITO\\_MUELA/ECONOMIA%20DE%20LA%20EMPRESA%20I/TEMA%205.%20ANALISIS%20DE%20PROBLEMAS%20...PDF](http://portal.uned.es/pls/portal/docs/PAGE/UNED_MAIN/LAUNIVERSIDAD/UBICACIONES/05/DOCENTE/SONIA_BENITO_MUELA/ECONOMIA%20DE%20LA%20EMPRESA%20I/TEMA%205.%20ANALISIS%20DE%20PROBLEMAS%20...PDF)
- [37] I. Manrique, A. Párraga, and M. Hermann, “Jarabe de yacón: Principios y procesamiento,” *Centro Internacional de la Papa (CIP)*. Lima, 2003. Accessed: Jun. 05, 2022. [Online]. Available: [https://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/06/1919-Jarabe\\_Yacon.pdf](https://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/06/1919-Jarabe_Yacon.pdf)
- [38] “Granulometría o número de malla, Standard Sieve Mesh- Carbotecnia,” *Carbotecnia.info*, Nov. 16, 2021. <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtracion-de-agua-liquidos/granulometria-o-numero-de-malla/> (accessed May 26, 2022).
- [39] H. García and E. Kopp, “Evaporación del agua de los jugos de la caña y concentración de las mieles,” Nov. 2012. Accessed: May 28, 2022. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/306375262\\_Evaporacion\\_del\\_agua\\_de\\_los\\_jugos\\_de\\_la\\_cana\\_y\\_concentracion\\_de\\_las\\_mieles](https://www.researchgate.net/publication/306375262_Evaporacion_del_agua_de_los_jugos_de_la_cana_y_concentracion_de_las_mieles)
- [40] “Los principales países productores de caña de azúcar del mundo - AtlasBig.com,” Dec. 2020. <https://www.atlasbig.com/es-mx/paises-por-produccion-de-cana-de-azucar> (accessed Apr. 10, 2022).
- [41] “USDA: la producción mundial de azúcar alcanzará cifras récord en 2020-2021 | Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar | Gobierno | gob.mx,” *Agropopular*, Jun. 05, 2020. <https://www.gob.mx/conadesuca/prensa/usda-la-produccion-mundial-de-azucar-alcanzara-cifras-record-en-2020-2021> (accessed Apr. 10, 2022).
- [42] L. Martínez, “El azúcar, historia de un motor geopolítico y económico - El Orden Mundial - EOM,” *El orden mundial*, Jul. 12, 2020. <https://elordenmundial.com/azucar-historia-geopolitica-economia/> (accessed Apr. 10, 2022).

- [43] N. Aguilar Rivera, “Lo dulce del azúcar,” *La ciencia y el hombre*, Apr. 2006. <https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol19num1/articulos/azucar/index.htm> (accessed Apr. 10, 2022).
- [44] M. Contreras, G. Martínez, M. Zavaleta, and V. Maccha, “GELATINIZACION Y GELIFICACION DE ALMIDONES | Veryto Maccha Cabello - Academia.edu,” Callao, 2015. Accessed: Apr. 10, 2022. [Online]. Available: [https://www.academia.edu/17812160/04\\_GELATINIZACION\\_Y\\_GELIFICACION\\_DE\\_ALMIDONES](https://www.academia.edu/17812160/04_GELATINIZACION_Y_GELIFICACION_DE_ALMIDONES)
- [45] E. A. Foegeding, P. J. Luck, and J. P. Davis, “Factors determining the physical properties of protein foams,” *Food Hydrocolloids*, vol. 20, no. 2-3 SPEC. ISS., pp. 284–292, Mar. 2006, doi: 10.1016/J.FOODHYD.2005.03.014.
- [46] S. Zamora and F. Pérez, “Importancia de la sacarosa en las funciones cognitivas: conocimiento y comportamiento,” *Nutrición Hospitalaria*, vol. 28, no. 4, Jul. 2013, Accessed: Apr. 10, 2022. [Online]. Available: [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0212-16112013001000013](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112013001000013)
- [47] R. Lindsay, Damodaran Srinivasan, and K. Parkin, *Fennema’s Food Chemistry*, 5th ed. 2017. Accessed: Apr. 10, 2022. [Online]. Available: [https://app-knovel-com.ezproxy.uamerica.edu.co/web/view/khtml/show.v/rcid:kpFFCE001G/cid:kt011MF701/viewerType:khtml/root\\_slug:fennemas-food-chemistry/url\\_slug:intensely-sweet-nonnutritive?b-q=low-calorie%20sweeteners&include\\_synonyms=no&sort\\_on=default&page=34&view=collapsed&zoom=1.25&q=low-calorie%20sweeteners](https://app-knovel-com.ezproxy.uamerica.edu.co/web/view/khtml/show.v/rcid:kpFFCE001G/cid:kt011MF701/viewerType:khtml/root_slug:fennemas-food-chemistry/url_slug:intensely-sweet-nonnutritive?b-q=low-calorie%20sweeteners&include_synonyms=no&sort_on=default&page=34&view=collapsed&zoom=1.25&q=low-calorie%20sweeteners)
- [48] G. E. DuBois, “Molecular mechanism of sweetness sensation,” *Physiology & Behavior*, vol. 164, pp. 453–463, Oct. 2016, doi: 10.1016/J.PHYSBEH.2016.03.015.
- [49] J. Olmos and A. Díaz, “Análisis sensorial ,” *Otoño 2014* , vol. 1. Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Puebla, 2014. Accessed: May 16, 2022. [Online]. Available: [https://investigacion.upaep.mx/micrositios/assets/analisis-sensorial\\_final.pdf](https://investigacion.upaep.mx/micrositios/assets/analisis-sensorial_final.pdf)
- [50] “Actualidad. Análisis sensorial. Metodología. Guía general,” *Revista de la normalización española*, Mar. 2019. <https://revista.une.org/12/analisis-sensorial.-metodologia.-guia-general.html> (accessed Jul. 17, 2022).
- [51] M. Toledo, “Brix: los conceptos básicos,” *Brix: los conceptos básicos*, 2014. <https://www.mt.com/es/es/home/perm-lp/product-organizations/ana/brix-meters.html> (accessed May 19, 2022).
- [52] “TURBIDEZ | Publicaciones | Induanalisis, Laboratorio, monitoreo, consultoría y equipo. Bucaramanga - Col.” [https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/turbidez\\_28](https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/turbidez_28) (accessed May 19, 2022).
- [53] “Significado de Densidad (Qué es, Concepto y Definición) - Significados.” <https://www.significados.com/densidad/> (accessed May 19, 2022).
- [54] L. Huerta, “Determinación de la densidad de un líquido con el método del picnómetro,” *ETSIAMN* . Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- [55] “¿Qué es pH? » Su Definición y Significado [2022].” <https://conceptodefinicion.de/ph/> (accessed May 19, 2022).
- [56] B. Márquez, “CENIZAS Y GRASAS”,” Arequipa, 2014. Accessed: May 19, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4188/IAmasibm024.pdf?sequence=>

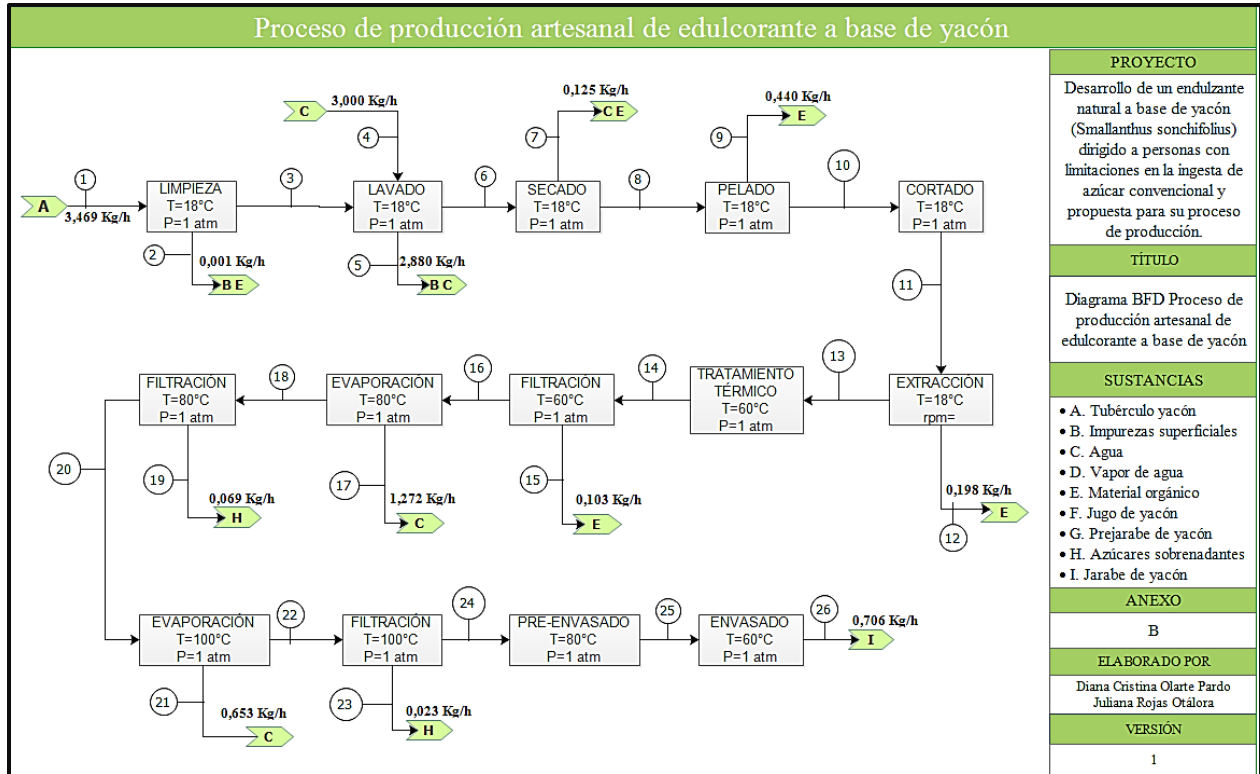


## **ANEXOS**



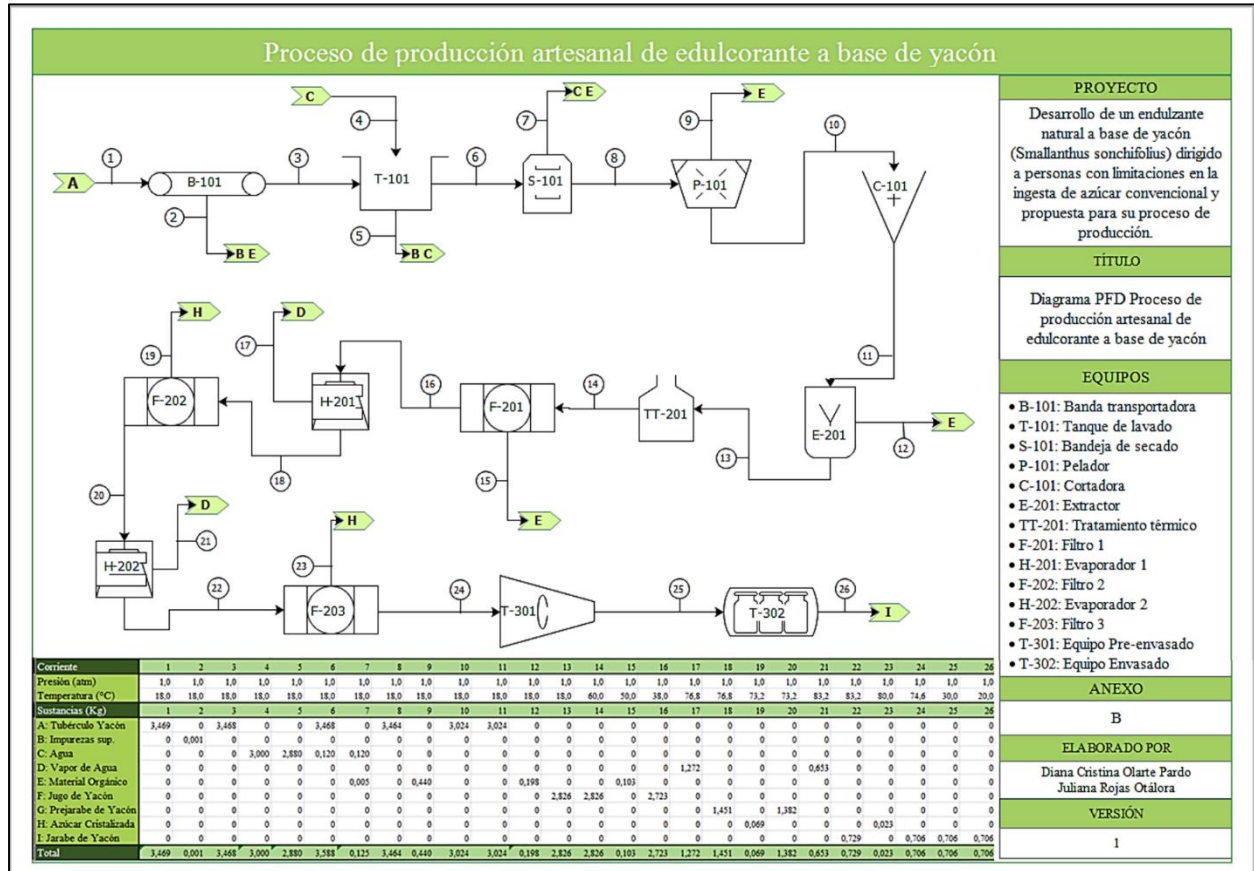
## ANEXO 1

### DIAGRAMA BFD DE ELABORACION DE EDULCORANTE POR MEDIO ARTESANAL.



## ANEXO 2

### DIAGRAMA PFD ELABORACIÓN DE EDULCORANTE POR MEDIO ARTESANAL



### ANEXO 3

## BALANCE DE MATERIA Y VARIABLES DEL PROCESO ARTESANAL POR CORRIENTES.

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Presión (atm)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Temperatura (°C)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	81	18	60	60	60	70	70	70	70	100	100	100	100	80	60
Hijos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
A. Tubérculo Yacón	10,000	0	9,900	0,000	0	9,900	0	9,900	0	8,019	8,019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B. Impurezas sup.	0	0,100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C. Agua	0	0	0	5,000	4,400	0,600	0,600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D. Vapor de Agua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,925	0	0	0	1,270	0	0	0	0	0
E. Material Orgánico	0	0	0	0	0	0	0	1,881	0	0	1,604	0	0	0,257	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F. Jugo de Yacón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,415	6,415	0	6,159	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G. Preparabe de Yacón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,234	0	4,149	0	0	0	0	0	0
H. Azúcar Cristalizada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,085	0	0	0	0,058	0	0	0
I. Jarabe de Yacón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,879	0	2,822	2,822	2,822
<b>Total</b>	<b>10,000</b>	<b>0,100</b>	<b>9,900</b>	<b>5,000</b>	<b>4,400</b>	<b>10,500</b>	<b>0,600</b>	<b>9,900</b>	<b>1,881</b>	<b>8,019</b>	<b>8,019</b>	<b>1,604</b>	<b>6,415</b>	<b>6,415</b>	<b>0,257</b>	<b>6,159</b>	<b>1,925</b>	<b>4,234</b>	<b>0,085</b>	<b>4,149</b>	<b>1,270</b>	<b>2,879</b>	<b>0,058</b>	<b>2,822</b>	<b>2,822</b>	<b>2,822</b>

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Presión (atm)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Temperatura (°C)	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	60,0	50,0	38,0	76,8	76,8	73,2	73,2	83,2	83,2	80,0	74,6	30,0	20,0
Sustancias (Kg)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
A. Tubérculo Yacón	3,469	0	3,468	0	0	3,468	0	3,464	0	3,024	3,024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B. Impurezas sup.	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C. Agua	0	0	0	3,000	2,880	0,120	0,120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D. Vapor de Agua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,272	0	0	0	0,653	0	0	0	0	0
E. Material Orgánico	0	0	0	0	0	0	0,005	0	0,440	0	0	0,198	0	0	0,103	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F. Jugo de Yacón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,826	2,826	0	2,723	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G. Preparabe de Yacón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,451	0	1,382	0	0	0	0	0	0
H. Azúcar Cristalizada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,069	0	0	0	0,023	0	0	0
I. Jarabe de Yacón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,729	0	0,706	0,706	0,706
<b>Total</b>	<b>3,469</b>	<b>0,001</b>	<b>3,468</b>	<b>3,000</b>	<b>2,880</b>	<b>3,588</b>	<b>0,125</b>	<b>3,464</b>	<b>0,440</b>	<b>3,024</b>	<b>3,024</b>	<b>0,198</b>	<b>2,826</b>	<b>2,826</b>	<b>0,103</b>	<b>2,723</b>	<b>1,272</b>	<b>1,451</b>	<b>0,069</b>	<b>1,382</b>	<b>0,653</b>	<b>0,729</b>	<b>0,023</b>	<b>0,706</b>	<b>0,706</b>	<b>0,706</b>

## ANEXO 4

### ESQUEMA ENCUESTA DE ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO SENSORIAL CON PANEL NO ENTRENADO

18/5/22, 16:59

ANÁLISIS SENSORIAL EDULCORANTE DE YACON

### ANÁLISIS SENSORIAL EDULCORANTE DE YACON

SI USTED ESTA RESPONDIENDO ESTE CUESTIONARIO USTED ES CONSIDERADO UN PANELISTA SENSORIAL PARA ESTE PROYECTO POR EL CUAL SE REQUIERE SU SINCERIDAD EN LAS RESPUESTAS. A CONTINUACION ENCONTRARA UNA SERIE DE CARACTERISTICAS QUE ESPERAN SER EVALUADAS DEL ENDULZANTE QUE PREVIAMENTE PROBÓ, POR FAVOR RESPONDA SEGUN CORRESPONDA.

**\*Obligatorio**

1. CONSIDERANDO LA OXIDACION Y PARDEAMIENDO PROPIO DEL TUBECULO Y LOS AZUCARES PRESENTES EN ESTE Y COMPARADO CON LOS DEMAS JARABES ENDULZANTES QUE CONOCE POR FAVOR CALIFIQUE DE 1 A 4 EL COLOR QUE EL ENDULZANTE DE YACON PRESENTA DONDE 1 ES LA CALIFICACION MENOS FAVORABLE Y 4 LA MAS FAVORABLE PARA EL PRODUCTO \*

*Marca solo un óvalo.*

- 1
- 2
- 3
- 4

2. EL OLOR PRESENTADO POR EL EDULCORANTE ES AGRADABLE O DESAGRADABLE, RECUERDE QUE 1 ES DESAGRADABLE Y 4 ES MUY AGRADABLE \*

*Marca solo un óvalo.*

- 1
- 2
- 3
- 4

3. CALIFIQUE EL SABOR OBTENIDO PARA EL ENDULCORANTE DE YACON. \*  
RECUERDE QUE 1 ES DESAGRADABLE Y 4 ES MUY AGRADABLE

*Marca solo un óvalo.*

- 1  
 2  
 3  
 4

4. CONSIDERANDO QUE LO QUE SE BUSCA ES OBTENER UN PRODUCTO QUE \*  
APORTE PODER EDULCORANTE A ALIMENTOS Y BEBIDAS, CALIFIQUE EL DULZOR  
OBTENIDO EN EL EDULCORANTE DE YACON. RECUERDE QUE 1 ES  
DESAGRADABLE Y 4 ES MUY AGRADABLE

*Marca solo un óvalo.*

- 1  
 2  
 3  
 4

5. TENGA PRESENTES LOS DIFERENTES JARABES ENDULZANTES QUE CONOCE \*  
TALES COMO EL SIRUP DE PANCAKES Y BAJO SU GUSTO PERSONAL CALIFIQUE  
LA VISCOSIDAD QUE EL EDULCORANTE DE YACON PRESENTA. RECUERDE QUE 1  
ES DESAGRADABLE Y 4 ES MUY AGRADABLE

*Marca solo un óvalo.*

- 1  
 2  
 3  
 4

6. LOS SOLIDOS EN SUSPENSION PUEDEN SER DEFINIDOS COMO PEQUEÑOS GRUMOS O TROZOS DE PULPA PRESENTES EN EL EDULCORANTE, BASADO EN LA MUESTRA QUE TOMO MARQUE SI, EN EL CASO DE HABER PRESENCIADO SOLIDOS EN SUSPENSION Y NO EN EL CASO DE NO HABERLO HECHO \*

*Marca solo un óvalo.*

- SI  
 NO

7. QUE TANTO LE GUSTO EL PRODUCTO. DONDE 1 ES NO ME GUSTO Y 4 ME GUSTO MUCHO. \*

*Marca solo un óvalo.*

- 1  
 2  
 3  
 4

8. CONSIDERANDO LOS DIFERENTES BENEFICIOS APORTADOS POR EL YACON, CONSIDERARIA INCLUIR EL ENDULZANTE DE YACON EN SU DIETA DIARIA. DONDE NO ES NO LO CONSIDERARIA Y SI ES SI LO INCLUIRIA \*

*Marca solo un óvalo.*

- SI  
 NO  
 TENDRIA QUE PENSARLO

9. CONSIDERANDO LOS DIFERENTES BENEFICIOS APORTADOS POR EL YACON, RECOMENDARIA EL PRODUCTO A SUS AMIGOS Y FAMILIARES \*

*Marca solo un óvalo.*

- SI  
 NO  
 TENDRIA QUE PENSARLO

10. A QUE SABOR SE LE ASEMEJA O LE RECUERDA EL SABOR QUE PRESENTA EL ENDULZANTE DE YACON. DESCRIBA BREVEMENTE \*

---

---

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios