

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA EL DISEÑO CONCEPTUAL DE  
LA PRODUCCIÓN DE UN EDULCORANTE A BASE DE YACÓN**

**VERONICA MARCELA BARRETO VARGAS**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA QUÍMICA  
BOGOTÁ, D.C.**

**2019**

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA EL DISEÑO CONCEPTUAL DE  
LA PRODUCCIÓN DE UN EDULCORANTE A BASE DE YACÓN**

**VERONICA MARCELA BARRETO VARGAS**

**Proyecto integral de trabajo de grado para optar al título de  
INGENIERO QUÍMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTA D.C.**

**2019**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

Presidente de jurado

---

Firma del jurado 1

---

Firma del jurado 2.

Bogotá, D.C, febrero de 2019

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

**Dr. JAIME POSADA DÍAZ**

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrectoría Académica y de Posgrados

**Dr. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS**

Decano Facultad de Ingenierías

**Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI**

Director Programa de Ingeniería Química

**Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ**

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.

Este proyecto va dedicado a mis padres y hermano Dora Lucia Vargas Alonso y Luis Felipe Barreto Camelo, Andrés Felipe Barreto Vargas ya que mediante a sus consejos, apoyo, comprensión, esfuerzo y enseñanzas no hubiese sido posible la culminación de esta meta.

Quiero agradecer a toda mi familia por su apoyo y ayuda durante todo este proceso, siendo mí pilar ante las diferentes adversidades brindándome su colaboración incondicional, agradeciéndoles sus palabras de apoyo en los momentos difíciles de mi vida, por estar a mi lado brindándome sus consejos; gracias a esto he crecido como persona y profesionalmente.

Agradezco también a los ingenieros químicos Leidy Johanna Murcia y Bayron German Flórez por haber contado siempre con su apoyo durante este largo camino para la culminación de esta meta. A todos mis amigos y compañeros los cuales fueron parte de la ejecución de este proyecto y mi formación profesional, brindándome sus consejos, conocimientos, tiempo para que este saliera de la mejor manera.

Por último, a Dios que me permitió continuar a pesar de los contratiempos que se me presentaron en la realización de proyecto demostrando que cuando una puerta se cierra Dios abre una ventana para alcanzar tus sueños y metas más anheladas.

**VERÓNICA MARCELA BARRETO VARGAS**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradezco profundamente a la Fundación Universidad de América por brindarnos los recursos y las herramientas de educación necesarios para el correcto desarrollo de este trabajo.

Agradezco también a la universidad Militar Nueva Granada por permitirme realizar el trabajo experimental e investigativo de este proyecto, dándome acceso a las diferentes herramientas, para la culminación de esta tesis.

Agradezco a mi director Felipe Correa Mahecha por brindarme sus consejos y conocimientos que me permitió la correcta realización de este proyecto, gracias a su experiencia y conocimientos adquiridos que me guiaron de manera correcta.

También deseo agradecer a mi orientador del proyecto el Ingeniero Oscar Libardo Lombana y a la Ingeniera química Melba Esperanza Rodríguez, por las instrucciones al momento de redactar, estructurar el documento y guiarme con su experiencia y conocimientos.

Agradezco a la ingeniera Leidy Johanna Murcia Moreno por el gran apoyo recibido en la ejecución de la etapa experimental del proyecto, por ser participe en la discusión de los protocolos para la realización del mismo, también por los consejos recibidos en la discusión de resultados obtenidos.

Por último, agradezco a mis padres por haberme brindado su apoyo, comprensión, incondicional durante todo mi proceso de formación, porque gracias a ellos es que puedo realizar este proyecto que me acerca más a mi meta final.

***Verónica Marcela Barreto Vargas***

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	24
OBJETIVOS	26
1. GENERALIDADES	27
1.1 YACÓN ( <i>Smallanthus sonchifolius</i> )	27
1.2 BOTANICA DEL YACÓN	29
1.2.1 Hoja	29
1.2.2 Planta	29
1.2.3 Raíz	30
1.2.4 Flores	30
1.2.5 Raíces de yacón	31
1.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA	32
1.1.1 Taxonomía del yacón	32
1.3.1 Inulina	33
1.3.2 Fructooligosacáridos	33
1.4 PRODUCCIÓN DEL YACÓN	35
1.4.1 Nivel mundial	35
1.4.2 Latinoamérica	35
1.4.3 Colombia	36
1.5 PRODUCCIÓN DE EDULCORANTE	37
1.5.1 Nivel nacional	37
1.5.2 Nivel mundial	39
1.6 PRETRATAMIENTO DEL YACÓN	40
1.7 HIDRÓLISIS	41
1.6.1 Hidrólisis ácida	41
1.6.2 Hidrolisis Enzimática	43
1.8 MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN	44
1.9 USOS DEL YACÓN	46
2. CARACTERIZACIÓN DEL YACÓN	46
2.1 MUESTREO GENERAL DEL YACÓN	47
2.2 PRETRATAMIENTO DEL YACÓN	49
2.3 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL YACÓN	49
2.4 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CENIZAS	51
2.5 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL YACÓN	52



2.6 DETERMINACIÓN DE PH EN EL YACÓN	53
2.7 DETERMINACIÓN DE FOS EN EL YACÓN	54
2.8 RESUMEN DE RESULTADOS	56
3. PRODUCCIÓN DE UN EDULCORANTE A BASE DE YACÓN	58
3.1 DEFINICIÓN DE LOS DIFERENTES PARÁMETROS PARA EL DESARROLLO DEL EDULCORANTE	58
3.2 OBTENCIÓN DEL EDULCORANTE	63
3.3 RESULTADOS DISEÑO EXPERIMENTAL	66
4. DISEÑO DE EXTRACCIÓN DEL EDULCORANTE A BASE DE YACÓN	71
4.1 MATERIA PRIMA	71
4.2 BALANCE DE MATERIA GENERAL	76
4.3 BALANCE DE MATERIA SECCIONADO	77
4.4 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS	87
4.4.1 HORNO DESHIDRATADO	87
4.4.2 TRITURADORA	87
4.4.3 TANQUE DE ALMACENAMIENTO	87
4.4.4 REACTOR (I Y II) BATCH	88
4.4.5 EVAPORADOR	89
4.4.6 DECANTADOR	90
4.4.7 MOLINO	90
5. EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA IMPLEMENTACIÓN CONCEPTUAL DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE UN EDULCORANTE A BASE DE YACÓN.	92
5.1 INVERSIÓN	93
5.2 INCREMENTO IPC	93
5.3 INGRESOS	94
5.3.1 Precio de venta	94
5.3.2 Demanda	94
5.3.3 Proyección de Ingresos	95
5.4 COSTOS DE PRODUCCIÓN	95
5.4.1 Costos de materiales usados	96
5.4.2 Proyección de costos de materia prima	96
5.4.3 Costos de mano de Obra	96
5.4.4 Costos Indirectos	98
5.5 FLUJO DE CAJA	98
5.6 EVALUACIÓN FINANCIERA	100
5.6.1 Valor presente Neto (VPN):	100
5.6.2 Tasa interna retorno (TIR):	100

6. CONCLUSIONES	101
7. RECOMENDACIONES	103
BIBLIOGRAFIA	104
ANEXOS	108

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Composición del yacón	29
Tabla 2. Taxonomía del yacón	33
Tabla 3. Producción internacional de Yacón	36
Tabla 4. Producción de cultivos transitorios en Colombia	38
Tabla 5. Exportaciones e Importaciones de Fructosa	39
Tabla 6. Balance mundial de Fructosa	40
Tabla 7. Resultados de la determinación de humedad	51
Tabla 8. Análisis estadístico porcentaje de humedad	51
Tabla 9. Porcentaje de cenizas del Yacón	52
Tabla 10. Análisis estadístico porcentaje de cenizas	52
Tabla 11. Densidad del Yacón	53
Tabla 12. Análisis estadístico Densidad	54
Tabla 13. pH del Yacón	54
Tabla 14. Estadística de pH	55
Tabla 15. Resultados fructoligosacaridos (FOS)	55
Tabla 16. Análisis estadísticos FOS	56
Tabla 17. Resultados de la determinación de pH y densidad	58
Tabla 18. Concentración de furfurales a 97%	60
Tabla 19. Concentración de furfurales a 37%	60
Tabla 20. Diseño experimental Factores y Niveles	61
Tabla 21. Diseño de experimento contrastes	63
Tabla 22. Resultados de los azúcares reductores totales (ART) en (g/mL extracto)	66
Tabla 23. Resultados de glucosa total (Gt) en (g/mL extracto)	66
Tabla 24. Resultados de cada una de las réplicas de la experimentación (g/ml de extracto)	67
Tabla 25. Contrastes del diseño experimental	68
Tabla 26. Análisis de varianza ANOVA	69
Tabla 27. Condiciones para aceptar la hipótesis	69
Tabla 28. Balance de Materia General	77
Tabla 29. De inversión de equipos	93
Tabla 30. Incremento IPC	94
Tabla 31. Precio edulcorante	95
Tabla 32. Indicador demanda	96
Tabla 33. Proyección de Ingresos	96
Tabla 34. Costos de producción	96
Tabla 35. Costos de los materiales	97

Tabla 36. Proyección de costos Materia prima	97
Tabla 37. Costos mano de obra	98
Tabla 38. Costo de mano de obra para la producción del edulcorante.	98
Tabla 39. Costos indirectos	99
Tabla 40. Flujo de Caja	100
Tabla 41. Evaluación Financiera	101

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	<b>pág</b>
Ilustración 1. Disposición de las hojas en el tallo.	28
Ilustración 2. Flor femenina y masculina	29
Ilustración 3. Fructooligosacárido	34
Ilustración 4. Balance Lavador	68
Ilustración 5. Balance Picadora	68
Ilustración 6. Balance Secador	69
Ilustración 7. Balance Molino	69
Ilustración 8. Balance Tanque de Almacenamiento	69
Ilustración 9. Balance Tanque de Agitado	70
Ilustración 10. Balance Reactor I	70
Ilustración 11. Balance Reactor II	70
Ilustración 12. Balance Separador	71
Ilustración 13. Balance Evaporador	71
Ilustración 14. Balance Envasadora	72
Ilustración 15. Modelo Picadora	72
Ilustración 16. Modelo Molino Industrial	73
Ilustración 17. Modelo Tanque de Almacenamiento	73
Ilustración 18. Modelo de Secador	74
Ilustración 19. Modelo Centrífuga	75
Ilustración 20. Modelo de Reactor	75
Ilustración 21. Modelo de Evaporador	76
Ilustración 22. Modelo de Envasadora	77

## LISTA DE GRAFICAS

	<b>pág</b>
Gráfica 1. Comparación del contenido de azúcares entre variedades	30
Gráfica 2. Análisis de las exportaciones en Colombia	37
Gráfica 3. Caracterización del Yacón sin acondicionamiento	52
Gráfica 4. Caracterización del acondicionamiento del Yacón.	52
Gráfica 5. Diseño experimental MiniTab	60
Gráfica 6. Curva de Calibración	120
Gráfica 7. Curva calibración de Fructosa	126
Gráfica 8. Curva de calibración de Glucosa	126

## LISTA DE DIAGRAMAS

	<b>pág</b>
Diagrama 1. Muestreo general del yacón	48
Diagrama 2. Determinación de FOS	56
Diagrama 3. Diagrama de bloques “Experimentación a base de Yacón para la obtención del edulcorante”	63
Diagrama 4. Diagrama del general del proceso	72
Diagrama 5. Diagrama de bloques para la obtención de edulcorante	73
Diagrama 6. Diagrama de procesos.	74
Diagrama 7. Muestreo general del yacón	111
Diagrama 8. Adecuación de los instrumentos para el acondicionamiento del yacón	113
Diagrama 9. Pretratamiento del yacón	114
Diagrama 10. Adecuación de los instrumentos para el análisis de humedad	116
Diagrama 11. Determinación del porcentaje de humedad	118
Diagrama 12. Determinación del porcentaje de cenizas	123
Diagrama 13. Adecuación de los instrumentos para determinar la densidad	127
Diagrama 14. Determinación de la densidad del yacón	128
Diagrama 15. Adecuación de los instrumentos para hallar el pH	132
Diagrama 16. Determinación de pH del yacón	133
Diagrama 17. Determinación de curva de calibración Fructosa	136
Diagrama 18. Concentración de ARD	137

## LISTA DE CUADROS

	<b>pág</b>
Cuadro 1.Acondicionamiento del Yacón	40
Cuadro 2.Agentes hidrolizantes ácidos para el yacón	42
Cuadro 3.Agentes hidrolizantes enzimáticos	43
Cuadro 4.Métodos de cuantificación de azúcares	44
Cuadro 5.(Continuación de los métodos de cuantificación)	45
Cuadro 6.Parámetros para el diseño experimental	61



## GLOSARIO

**ALICUOTA:** volumen de líquido que corresponde a una fracción conocida de un volumen más grande.<sup>1</sup>

**ÁCIDO ASCÓRBICO** es un ácido de azúcar con propiedades antioxidantes. Su aspecto es de polvo o cristales de color blanco-amarillento. Es soluble en agua.<sup>2</sup>

**AZÚCARES:** son polisacáridos y disacáridos que generalmente tienen un sabor dulce.<sup>3</sup>

**AZÚCARES REDUCTORES:** son aquellos azúcares que poseen su grupo carbonilo (grupo funcional) intacto, y que a través del mismo pueden reaccionar como reductores (dadores de electrones) con otras moléculas que actuarán como oxidantes (aceptando electrones).<sup>4</sup>

**AZÚCARES SIMPLES:** monosacáridos compuestos por moléculas simples de azúcar como fructosa, glucosa y galactosa.<sup>5</sup>

**BLANQUEADO:** es una técnica culinaria que consiste en semicocinar algún alimento, como verduras, carnes o marisco, tras sumergirlo en agua hirviendo.<sup>6</sup>

**BIFIDOBACTERIAS:** pertenecen a un grupo de bacterias llamadas bacterias ácido lácticas. Las bacterias ácido lácticas se encuentran en alimentos fermentados como el yogur y el queso.<sup>7</sup>

**CARBOHIDRATOS:** son moléculas compuestas carbono, hidrogeno, oxígeno y la fuente más importante de energía para el cuerpo. El sistema digestivo convierte estos hidratos de carbono en glucosa (azúcar en la sangre).<sup>8</sup>

---

<sup>1</sup> DE QUIMICA. Disponible en: (<http://dequimica.com/glosario/562/Alicuota>)

<sup>2</sup> ACIDO ASCORBICO Disponible en: (<https://www.acidoascorbico.com/>)

<sup>3</sup>GUTIÉRREZ, Laura y VACA, Sandra Mayerly. EVALUACIÓN DEL USO DE RECUBRIMIENTOS LIPÍDICOS, POLIMÉRICOS Y REFRIGERACIÓN PARA PROLONGAR LA VIDA ÚTIL DEL YACÓN (*Smallantus sonchifolius*). Trabajo de grado ingenieras de alimentos. Bogotá D.C.: Universidad de la Salle. Facultad de ingeniería, Departamento de alimentos, 2011.133 p.

<sup>4</sup> ECURED. Disponible en: ([https://www.ecured.cu/Az%C3%BAcares\\_reductores](https://www.ecured.cu/Az%C3%BAcares_reductores))

<sup>5</sup> FOOD INSIGHT. Disponible en: (<https://www.foodinsight.org/articles/carbohidratos-y-azucares>)

<sup>6</sup> CONSUMER. Disponible en: ([http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/en\\_la\\_cocina/trucos\\_y\\_secretos/2011/11/07/204607.php](http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/en_la_cocina/trucos_y_secretos/2011/11/07/204607.php))

<sup>7</sup> ARGENBIO Disponible en: (<http://www.argenbio.org/index.php?action=novedades&note=190>)

<sup>8</sup>Carbohidratos en la dieta, medlineplus,2017, disponible en (<https://medlineplus.gov/spanish/carbohydrates.html>)

**COLESTEROL:** es una sustancia de la sangre y de la bilis, que contiene grasa natural y se adhiere a todas las células del organismo.<sup>9</sup>

**CROMATOGRAFIA:** la cromatografía es un método físico de separación en el que los componentes que se han de separar se distribuyen entre dos fases, una de las cuales está en reposo mientras que la otra se mueve en una dirección definida<sup>10</sup>

**DERIVATIZACIÓN:** es una técnica utilizada para transformar un compuesto químico en uno de estructura química similar, pero con propiedades químicas diferentes.<sup>11</sup> Este es un método utilizado para transformar un compuesto que posteriormente será cuantificado.

**DIABETES:** enfermedad crónica e irreversible del metabolismo en la que se produce un exceso de glucosa o azúcar en la sangre y en la orina; es debida a una disminución de la secreción de la hormona insulina o a una deficiencia de su acción.<sup>12</sup>

**EDULCORANTE:** son sustancias que se utilizan en lugar de los endulzantes con azúcar (sacarosa) o alcoholes del azúcar. También se pueden denominar sustitutos del azúcar.<sup>13</sup>

**ENZIMA:** son moléculas de proteínas que tienen la capacidad de facilitar y acelerar las reacciones químicas que tienen lugar en los tejidos vivos, disminuyendo el nivel de la "energía de activación" Elaboración propia de la reacción.<sup>14</sup>

---

<sup>9</sup> COLESTEROL. Disponible en: (<https://www.colesterol.top/>)

<sup>10</sup> MENDOZA, Roció Milagros. HIDRÓLISIS QUÍMICA Y ENZIMÁTICA DE UN EXTRACTO DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) PARA LA OBTENCIÓN DE FRUCTOSA. Trabajo de grado ingenieras de alimento. Lima-Perú.: universidad nacional agraria la molina. Facultad de industrias alimetarias2017.100 p.

<sup>11</sup> DERIVATIZACION - ¿Qué es derivatización?, boletinagrario.com, disponible en: (<https://boletinagrario.com/ap-6,derivatizacion,2088.html>)

<sup>12</sup> diabetes | Definición de diabetes en español de Oxford Dictionaries , Oxford Dictionaries | español, disponible en: (<https://es.oxforddictionaries.com/definicion/diabetes>)

<sup>13</sup> Edulcorantes y sustitutos del azúca,medlineplus,2016, disponible en: (<https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/007492.htm>)

<sup>14</sup> ECURED. Disponible en: (<https://www.ecured.cu/Enzimas>)

**ESPECTROFOTOMETRÍA:** es un método científico utilizado para medir cuanta luz absorbe una sustancia química, midiendo la intensidad de la luz cuando un haz luminoso pasa a través de la solución muestra, basándose en la Ley de Beer-Lambert. Esta medición también puede usarse para medir la cantidad de un producto químico conocido en una sustancia.<sup>15</sup>

**FRUCTOOLIGOSACARIDOS:** son monómeros de fructosa con una molécula de glucosa en el extremo la estructura es un esqueleto de unidades de fructuosa unidas por enlaces glucósidos  $\beta$  (2- 1) y/o  $\beta$  (2-6), los FOS se encuentran en variedad de plantas y frutos<sup>16</sup>

**FRUCTOSA:** es un monosacárido con la misma fórmula empírica que la glucosa pero difiere en su estructura ( $C_6H_{12}O_6$ ), es una cetohehexosa por tener 6 átomos de carbono.<sup>17</sup>

**FRUCTANOS:** son carbohidratos, polisacáridos y oligosacáridos formados exclusivamente por unidades de fructosa.<sup>18</sup>

**FOSFOLÍPIDOS:** son un tipo de lípidos anfipáticos compuestos por una molécula de alcohol (glicerol o de esfingosina), a la que se unen dos ácidos grasos (1,2-diacilglicerol) y un grupo fosfato.<sup>19</sup>

**GALACTOOLIGOSACÁRIDOS:** son polvos derivados de la lactosa con acción prebiótica que apoya el fortalecimiento del sistema inmune y bienestar del organismo. Algunos de ellos son altamente solubles, estables y ofrecen eficacia ante niveles bajos de inclusión.<sup>20</sup>

---

<sup>15</sup> GONZALES HERNANDEZ, Luis Humberto; Obtención de los nutraceuticos presentes en la piña del Agave tequilero mediante dilución diferencial; Trabajo de grado maestro de las ciencias en producción agrícola sustentable; Jilipan; Instituto politécnico nacional ; 2013; p:85

<sup>16</sup> GUTIÉRREZ, Laura y VACA, Sandra Mayerly. EVALUACIÓN DEL USO DE RECUBRIMIENTOS LIPÍDICOS, POLIMÉRICOS Y REFRIGERACIÓN PARA PROLONGAR LA VIDA ÚTIL DEL YACÓN (*Smallantus sonchifolius*). Trabajo de grado ingenieras de alimentos. Bogotá D.C.: Universidad de la Salle. Facultad de ingeniería, Departamento de alimentos, 2011.133 p.

<sup>17</sup> GUTIÉRREZ, Laura y VACA, Sandra Mayerly. EVALUACIÓN DEL USO DE RECUBRIMIENTOS LIPÍDICOS, POLIMÉRICOS Y REFRIGERACIÓN PARA PROLONGAR LA VIDA ÚTIL DEL YACÓN (*Smallantus sonchifolius*). Trabajo de grado ingenieras de alimentos. Bogotá D.C.: Universidad de la Salle. Facultad de ingeniería, Departamento de alimentos, 2011.133 p.

<sup>18</sup> EL COMIDISTA Disponible en: ([https://elcomidista.elpais.com/elcomidista/2017/11/16/articulo/1510839118\\_777404.html](https://elcomidista.elpais.com/elcomidista/2017/11/16/articulo/1510839118_777404.html))

<sup>19</sup> GUTIÉRREZ, Laura y VACA, Sandra Mayerly. EVALUACIÓN DEL USO DE RECUBRIMIENTOS LIPÍDICOS, POLIMÉRICOS Y REFRIGERACIÓN PARA PROLONGAR LA VIDA ÚTIL DEL YACÓN (*Smallantus sonchifolius*). Trabajo de grado ingenieras de alimentos. Bogota D.C.: Universidad de la Salle. Facultad de ingeniería, Departamento de alimentos, 2011.133 p.

<sup>20</sup>Galacto-oligosacáridos, más que una fibra, énfasis, disponible en: (<http://www.logisticasud.enfasis.com/articulos/63203-galacto-oligosacaridos-mas-que-una-fibra>)

**GLUCOSA:** es un carbohidrato y un azúcar simple que contiene seis átomos de carbono y su fórmula general es  $C_6H_{12}O_6$  además de una de las principales moléculas que sirven como fuentes de energía para las plantas y los animales. Se encuentra en la savia de las plantas y en el torrente sanguíneo humano.<sup>21</sup>

**HERBÁCEA:** hace referencia a aquello que cuenta con las características, las propiedades o las condiciones de la hierba.<sup>22</sup>

**HIDRÓLISIS QUÍMICA:** una molécula de agua se divide y forma parte de otra especie química siendo catalizada por ácidos o bases fuertes. En esta reacción se tiene como factores el pH, tipo de ácido, temperatura y tiempo <sup>23</sup>

**INULINA:** es frútanos que se encuentran generalmente en las raíces, tubérculos y rizomas de ciertas plantas fanerógamas.<sup>24</sup>

**INVERTASA:** enzima hidrolítica que transforma la sacarosa en glucosa y fructosa.  
<sup>25</sup>

**MONOSACÁRIDO:** son azúcares simples que no se pueden hidrolizar a un compuesto más simple que poseen una fórmula general  $(CH_2O)_n$ . Están formados por 3, 4, 5, 6 o 7 átomos de carbono. Químicamente son polialcoholes, es decir, cadenas de carbono con un grupo -OH cada carbono, en los que un carbono forma un grupo aldehído o un grupo cetona<sup>26</sup>

**NUTRACÉUTICO:** son alimentos extraídos de fuentes naturales que proporciona beneficios médicos o para la salud, incluyendo la prevención y/o el tratamiento de enfermedades. <sup>27</sup>

---

<sup>21</sup> ROD NAVE Carl, sugars ,2001 disponible en: (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Organic/sugar.html>)

<sup>22</sup> DEFINICION.DE disponible en: (<https://definicion.de/herbacea/>)

<sup>23</sup>MENDOZA, Roció Milagros. HIDRÓLISIS QUÍMICA Y ENZIMÁTICA DE UN EXTRACTO DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) PARA LA OBTENCIÓN DE FRUCTOSA. Trabajo de grado ingenieras de alimento. Lima-Perú.: universidad nacional agraria la molina. Facultad de industrias alimetarias2017.100 p.

<sup>24</sup> QUIMICA.NET Disponible en: (<https://www.quiminet.com/articulos/que-es-la-inulina-5454.htm>)

<sup>25</sup> DICTONARY Disponible en: (<https://es.thefreedictionary.com/invertasa>)

<sup>26</sup>PROYECTO BIOSFERA, Biosfera, 2000, disponible en: (<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/biomol/contenidos6.htm>)

<sup>27</sup> Sociedad Española De Nutraceútica Médica, sociedad española natraceutica medica, disponible en: (<http://www.nutraceuticamedica.org/definicion.htm>)

**OLIGOSACÁRIDOS:** son polímeros formados a base de monosacáridos unidos por enlaces O-glicosídicos, con un número de unidades manométricas entre 2 y 10, los oligosacáridos varían según el número de ramificaciones.<sup>28</sup>

**PREBIÓTICOS:** Son un tipo de hidratos de carbono que nuestro intestino no puede digerir, y tienen la capacidad de modificar de forma selectiva la flora intestinal, ya que son utilizados por los prebióticos como sustrato alimenticio.<sup>29</sup>

**POLISACRIDO:** son glúcidos formados por la unión de muchos monosacáridos mediante enlaces O-glicosídicos con pérdidas de una molécula de agua por cada enlace.<sup>30</sup>

**RESERVANTES:** son un tipo de raíz engrosada en el que la función de absorción de agua y nutrientes está reemplazada por la de almacenamiento de reservas.<sup>31</sup>

**SACAROSA:** es un disacárido: es decir, un hidrato de carbono que se forma a partir de la unión de dos azúcares monosacáridos. En el caso concreto de la sacarosa, los azúcares que se unen son la glucosa y la fructosa.<sup>32</sup>

**SOLUBLE:** sustancia, cuerpo que se puede disolver al mezclarse con un líquido.<sup>33</sup>

**SUCRALOSA:** es un organoclorado utilizado como edulcorante común de los alimentos. Actúa en los receptores del tracto gastrointestinal produciendo el sabor dulce y estimulando la secreción hormonal<sup>34</sup>

**TUBERCULO:** hace referencia al sector ensanchado de una raíz o de un tallo subterráneo donde la planta almacena nutrientes.<sup>35</sup>

---

<sup>28</sup>GUTIÉRREZ, Laura y VACA, Sandra Mayerly. EVALUACIÓN DEL USO DE RECUBRIMIENTOS LIPÍDICOS, POLIMÉRICOS Y REFRIGERACIÓN PARA PROLONGAR LA VIDA ÚTIL DEL YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*). Trabajo de grado ingenieras de alimentos. Bogotá D.C.: Universidad de la Salle. Facultad de ingeniería, Departamento de alimentos, 2011.133 p.

<sup>29</sup> Prebióticos, Dr Steve, disponible en: (<http://drstevi.com/prebioticos/>)

<sup>30</sup> ASTURNATURA. Disponible en: (<https://www.asturnatura.com/articulos/glucidos/polisacaridos.php>)

<sup>31</sup> MENDOZA, Roció Milagros. HIDRÓLISIS QUÍMICA Y ENZIMÁTICA DE UN EXTRACTO DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) PARA LA OBTENCIÓN DE FRUCTOSA. Trabajo de grado ingenieras de alimento. Lima-Perú.: universidad nacional agraria la molina. Facultad de industrias alimentarias 2017.100 p

<sup>32</sup> DEFINE.DE Disponible en: (<https://definicion.de/sacarosa/>)

<sup>33</sup> SPANISH. Disponible en: (<https://es.oxforddictionaries.com/definicion/soluble>)

<sup>34</sup> KOONOL disponible en: (<http://koonol.mx/producto/view/id/75.html>)

<sup>35</sup> GONZALES HERNADEZ, Luis Humberto; Obtención de los nutraceuticos presentes en la piña del Agave tequilero mediante dilución diferencial; Trabajo de grado maestro de las ciencias en producción agrícola sustentable; Jilipan; Instituto politécnico nacional; 2013; p:85

## RESUMEN

En este proyecto se estudia el yacón que es un tubérculo que almacena los carbohidratos en forma de Fructooligosacaridos y en azúcares libres. Se lleva a cabo la caracterización de la raíz para determinar el porcentaje de humedad, porcentaje de cenizas, pH, densidad, cantidad de FOS los resultados obtenidos de contenidos en este proyecto es de 86,6%, 0,513% ,6,71, 1,032 g/mL, 37,9 g/mL extracto respectivamente estos valores obtenidos son necesarios para llevar un control para la producción del edulcorante. Puesto que al tener una raíz reservante este acumula agua en un 70% a 93% y carbohidratos como fructanos y azúcares simples entre el 40% y 70%.

En la parte experimental de la producción del edulcorante se selecciona el factor que más afecta la producción de fructosa que en este caso es el tipo de ácido ya que tiene una significancia estadística en la variable de respuesta, obteniendo los mejores resultados con el ácido sulfúrico con un valor de 0,000745 g/ mL extracto a comparación con los obtenidos con el ácido clorhídrico con un valor de 0,00045 g/mL extracto. Dicho lo anterior el yacón es totalmente apto para producir edulcorante puesto que al poseer grandes cantidades de fructooligosacaridos (FOS) se cataloga como un prebiótico beneficiosos para la salud humana.

Al efectuar el diseño para la extracción del edulcorante se llevó a cabo un escalamiento del ensayo que mejor resultados obtuvo en la parte experimental considerando la cantidad de edulcorante requerida con un valor de 400 kg/mes siendo que se produce 12,80 kg/h de edulcorante para alcanzar la demanda establecida por la institución donde se requiere 7,2 kg/h de yacón, 0,0425 kg/h de ácido sulfúrico y 0,013 kg/h hidróxido de calcio.

A partir del escalamiento de la producción del edulcorante se llevó a cabo el estudio para 1 Kg de edulcorante teniendo en cuenta la demanda anual del producto, inversión, proyección de costos de la materia prima, mano de obra, costos indirectos y proyección de ingresos donde se obtienen resultados satisfactorios debido a que el valor presente neto es mayor y que la tasa interna de retorno es mayor que tasa interna de oportunidad.

**PALABRAS CLAVE:** yacón, Fructooligosacaridos, hidrolisis, fructosa, inulina, edulcorante

## ABSTRACT

In this project the yacon is studied, which is a tuber that stores carbohydrates in the form of Fructooligosaccharides and in free sugars. The characterization of the root is carried out to determine the percentage of humidity, percentage of ashes, pH, density, amount of FOS the results obtained from contents in this project is 86.6%, 0.513%, 6.71, 1.032 g / mL, 37.9 g / mL extract respectively, these values obtained are necessary to control the production of the sweetener. Since having a reserve root this accumulates water in 70% to 93% and carbohydrates such as fructans and simple sugars between 40% and 70%.

In the experimental part of the production of the sweetener, the factor that most affects the production of fructose is selected, which in this case is the type of acid since it has a statistical significance in the response variable, obtaining the best results with sulfuric acid with a value of 0.000745 g / mL extract compared to those obtained with hydrochloric acid with a value of 0.00045 g / mL extract. That said, the yacon is totally suitable to produce sweetener since having large amounts of fructooligosaccharides (FOS) is classified as a beneficial prebiotic for human health.

When carrying out the design for the extraction of the sweetener, an escalation of the test was carried out that obtained the best results in the experimental part considering the amount of sweetener required with a value of 400 kg / month, being that 12.80 kg / h of sweetener to meet the demand established by the institution where 7.2 kg / h of yacon, 0.0425 kg / h of sulfuric acid and 0.013 kg / h of calcium hydroxide are required.

From the scaling of the production of the sweetener the study was carried out for 1 Kg of sweetener taking into account the annual demand of the product, investment, projection of raw material costs, labor, indirect costs and income projection where satisfactory results are obtained due to the fact that the net present value is greater and that the internal rate of return is greater than the internal rate of opportunity.

## INTRODUCCIÓN

La universidad militar nueva granada se encuentra ubicada en Cundinamarca-Cajicá esta universidad es reconocida por sus diferentes campos de estudio y gran prestigio a nivel nacional, el cual aprobó la iniciación del estudio de un edulcorante a base de yacon habilitando sus laboratorios y conocimientos para la investigación de este.

El propósito de este proyecto es ampliar el campo de estudio de investigación de la Universidad Militar Nueva granada con el objetivo de disminuir el exceso de sacarosa en los productos de la institución. Con la extracción de un edulcorante a base de yacón y ventas de estos productos alimenticios.

Los edulcorantes son necesarios para las industrias de alimentos y el uso de uno diferente a la sacarosa puede llegar a aumentar la comercialización de diferentes productos a un público específico, debido a que gran cantidad de personas por prescripción médica tiene prohibido el consumo de sacarosa en sus alimentos, es ahí donde entran los edulcorantes a base de yacón.

Dicho lo anterior y gracias a las investigaciones realizadas en el siguiente trabajo podemos dar a conocer al lector de las diferentes formas de obtención y los beneficios que tiene el yacón a la hora de convertirlo en un edulcorante apto para el consumo de las personas sin excepción alguna. Puesto que las personas con hipertensión o diabetes no pueden consumir sacarosa y actualmente la gran mayoría de productos y bebidas en el mercado tiene un alto grado de sacarosa el cual afecta el estilo de vida y alimentación de estas, y los productos a base de endulzante estevia cambia sabor de las comidas y bebidas, además de su alto costo en el mercado.

La función principal de la creación de un edulcorante a base de yacon es obtener un endulzante rico en fructooligosacáridos y en azúcares libres beneficioso para el ser humano, permitiendo el consumo productos endulzados a base de este no solo a personas con problemas de diabetes, hipertensión y migraña, si no que sea apto para todo público, disminuyendo las gran problemática de diabetes en la actualidad mundial tanto en la población juvenil, como en la adulta debido al uso excesivo de sacarosa en todos los productos alimenticios. la creación de este edulcorante también beneficiaria a las grandes empresas remplace la sacarosa en la mayoría de su producto por el edulcorante a base yacon con el fin de elevar su venta sin afectar el sabor del producto abriendo paso al consumidor que tiene problemas de salud que le prohíban el consumo de alimentos con cantidades excesivas de sacarosa como los son las bebidas gaseosas, dulces, alimentos pre procesados etc.



## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una propuesta para el diseño conceptual de la producción de un edulcorante a base de yacón.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diagnosticar las propiedades del yacón para la extracción del edulcorante.
- Evaluar la producción del edulcorante a través de un desarrollo experimental.
- Establecer el diseño para la extracción del edulcorante a base de yacón según los resultados del desarrollo experimental.
- Analizar los costos asociados al proceso de extracción del edulcorante a base de yacón.

## 1. GENERALIDADES

En este apartado se presenta un estudio bibliográfico de la materia prima que en este caso corresponde al Yacón (*Smallanthus sonchifolius*) donde se lleva a cabo un análisis general de su composición química su botánica como hojas, planta, raíz, flores, raíces y su taxonomía, teniendo en cuenta la producción del cultivo a nivel nacional, latino américa e internacional. Todo esto con el fin de dar un soporte bibliográfico que permita identificar las características y producción del yacón, de esta manera usarlo como base en la obtención del edulcorante donde se estudian los métodos hidrolíticos y enzimáticos considerando los resultados obtenidos por los diferentes autores, también se estudian los diversos métodos de cuantificación para determinar la cantidad de fructosa del yacón, teniendo en cuenta también la producción del edulcorante a nivel nacional e internacional tanto como su uso y el impacto que puede tener este en la población.

### 1.1 YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*)

El yacón un cultivo andino que crece a altitudes de 1000-3200 m sobre el nivel del mar.<sup>36</sup> El yacón a diferencia de otras raíces y tubérculos, no almacenan carbohidratos en forma de almidón sino en forma de fructooligosacaridos y en azúcares libres (glucosa, sacarosa y fructosa), por este motivo el yacón tiene un interés científico debido a su fuente abundante de fructano, fructooligosacáridos (FOS).<sup>37</sup> Una de las características principales del yacón, es que se puede comer crudo a pesar de ser una raíz, como el camote o la yuca, ya que tiene un sabor agradable y dulce, por esta razón los habitantes del continente andino la consideran una fruta<sup>38</sup>. Esto se debe principalmente a los fructooligosacaridos el cual es un tipo especial de azúcar beneficioso para el ser humano.

Este tubérculo posee un alto valor como alimento nutraceútico debido a su contenido de fructooligosacaridos, tradicionalmente era usado para calmar la sed en los días calurosos en el campo además de aliviar problemas gastrointestinales, hepáticos y renales<sup>39</sup>. Gracias a esto el yacón durante su historia se ha ido conociendo como un tubérculo beneficioso en el campo y ha despertado la curiosidad de los investigadores logrando encontrar diversas formas de utilizarlo como un beneficio para las personas.

---

<sup>36</sup> CAMPOS, David; BETALLELUZ PALLARDEL, Indira; CHIRINOS, Rosana; AGUILAR, Ana; NORATTO, Giuliana; PEDRESCH, Romina. Prebiotic effects of yacón (yacón Poepp. & Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity, Revista Food Chemistry, 2012, p 1592-1599.

<sup>37</sup> LÓPEZ, Diana Lizeth, valorización de la raíz del yacón, obtención de un jarabe rico en fructooligosacaridos, Revista Investigación & Desarrollo, 2008, p 11-21.

<sup>38</sup> SEMINARIO, Juan; VALDERRAMA, Miguel; MANRRIQUE, Ivan, EL yacón, fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio, cip, 2003.

<sup>39</sup> SEMINARIO, Juan; VALDERRAMA, Miguel; MANRRIQUE, Ivan, EL yacón, fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio, cip, 2003.

Las raíces reservantes del yacón acumulan principalmente agua entre un 70% a 93%, y carbohidratos como frútanos y azúcares simples. Entre el 40% y 70% del peso seco de la raíz está en forma de fructooligosacaridos de bajo grado de polimerización, azúcares especiales favorables para la salud y por último entre 15% y 40% está en forma de azúcares simples como sacarosa, fructosa y glucosa<sup>40</sup>. Por este motivo el yacón es considerado uno de los tubérculos más completos y saludables para el consumo humano, gracias a esto es una alternativa para aquellas personas con enfermedades como la diabetes y el sobrepeso. <sup>41</sup>

En la tabla 1 se observa la composición interna que tiene el yacón esto con el fin de conocer todos los valores y porcentajes internos del yacón de esta manera ampliar los conocimientos acerca de los beneficios que tiene este a las personas.<sup>42</sup>

Tabla 1. Composición Yacón

Artículo	Cenizas	Humedad	Grasas	Carbohidratos	Fibra cruda	Proteínas totales
<b>Muñoz<sup>43</sup></b>	3,40%	87,7%	0,05%	92,04%	0,4%	4,52%
<b>Fernández<sup>44</sup></b>	-	91,25%	-	86,88%	-	-
<b>López<sup>45</sup></b>	5,10%	83,56%	0,99%	71,80%	16,91%	2,59%
<b>González<sup>46</sup></b>	0,3-2,0%	93%-70%	-	-	0,3%-1,7%	0,4%-2,0%
<b>Coronado<sup>47</sup></b>	3,04%	81,8%	-	89,95%	4,08%	2,69%

Fuente: Elaboración propia

<sup>40</sup> LÓPEZ, Diana Lizeth, valorización de la raíz del yacón, obtención de un jarabe rico en fructooligosacaridos, Revista Investigación & Desarrollo, 2008, p 11-21

<sup>41</sup> CASTRO, Alejandra; VILAPLANA, Francisco; NILSSON, Lars; Characterization of a water soluble, hyperbranched arabinogalactan from yacón (*Smallanthus sonchifolius*) roots; Revista Food Chemistry; p.: 76-81

<sup>42</sup> LÓPEZ, Diana Lizeth, valorización de la raíz del yacón, obtención de un jarabe rico en fructooligosacaridos, Revista Investigación & Desarrollo, 2008, p 11-21

<sup>43</sup> MUÑOZ J., Ana María; BLANCO B., Teresa; SERVÁN T., Karin; ALVARADO-ORTÍZ U., Carlos Evaluación del contenido nutricional de yacón (*Polimnia sonchifolia*) procedente de sus principales zonas de producción nacional Horizonte Médico, vol. 6, núm. 2, diciembre, 2006, p 69-73

<sup>44</sup> OLIVEIRA, Leticia Fernández; CORREA, Jefferson; PEREIRA, Angelis; CARDOSO, Michel; LEMOS SOUZA RAMOS, Alcinéia; VILELA, Marina, Osmotic dehydration of yacón (*Smallanthus sonchifolius*): Optimization sor fructan retenían, Revista LWT - Todo Science and Technology, 2016, p 77-87.

<sup>45</sup> LÓPEZ, Diana Lizeth, valorización de la raíz del yacón, obtención de un jarabe rico en fructooligosacaridos, Revista Investigación & Desarrollo, 2008, p 11-21

<sup>46</sup> GONZÁLES MENGONI, Henry Melton; Evaluación de la harina de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) como prebiótico en dietas de pavos de engorde; Trabajo de grado médico veterinario; Lima Perú.: Universidad nacional mayor de san marco; 2009; p 94.

<sup>47</sup> CORONADO PANTA, Angel; Elaboración de la harina de yacón (*smallanthus sonchifolius*) y su influencia en el crecimiento de dos bacterias probióticas; Trabajo de grado químico farmacéutico; lima Perú.: Universidad nacional mayor de santos marcos; 2013; p 71

Estas propiedades son importantes para la caracterización de la materia prima que se explicaran en el transcurso del documento.

## 1.2 BOTANICA DEL YACÓN

Se describe la estructura externa desde su tipo de hoja, planta, raíz. Flores del yacón con el fin de diferenciar y reconocer la constitución superficial de la especie. De esta manera reconocer el tipo de especie al cual se llevará a cabo los diferentes procedimientos.

1.2.1 Hoja. la hoja del yacón es opuesta de lámina triangular como se observa en la ilustración 1 donde cada tallo de yacón puede producir entre 13 a 16 pares de hojas, pero después de terminada la floración la planta produce solo hojas pequeñas<sup>48</sup>

Ilustración 1. Disposición de las hojas en el tallo



Fuente: SEMINARIO, Juan; VALDERRAMA, Miguel; MANRRIQUE, Ivan, EL yacón, fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio, cip, 2003.

1.2.2 Planta. La planta del yacón es herbácea perenne la cual mide de 1 a 2.5 m de alto, si la planta proviene de una sola semilla, este consta de un solo tallo a veces

---

<sup>48</sup> SEMINARIO, Juan; VALDERRAMA, Miguel; MANRRIQUE, Ivan, EL yacón, fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio, cip, 2003.

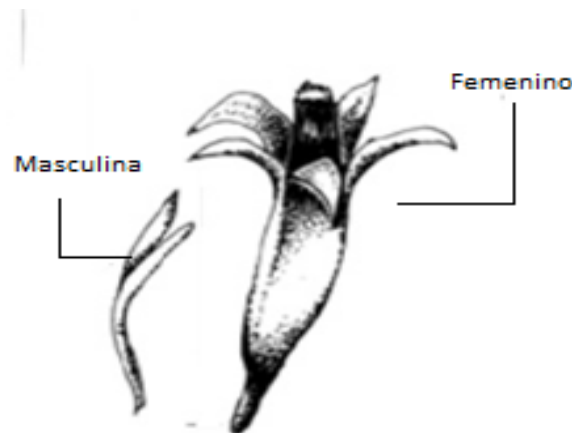
ramificado desde la base o solo con ramas pequeñas en la parte superior, pero si la planta proviene de semillas vegetativas consta de varios tallos los cuales pueden ser de color verde a purpura de forma cilíndrica.

El yacón tiene dos tipos de raíces las cuales son fibrosas y reservantes. Las raíces fibrosas son delgadas y su función es la fijación al suelo y la absorción de agua y nutrientes. Las raíces reservantes son engrosadas fusiformes u ovadas de color blanco crema o purpura<sup>49</sup>

1.2.3 Raíz. Son principalmente raíces reservantes o de forma tuberosa estos almacenan sus carbohidratos en forma de inulina que se encuentra principalmente compuesta fructooligosacarido (FOS) se pueden encontrar 2 variedades la blanca y la morada donde su peso puede fluctuar fácilmente entre los 50 y 1000 gramos pero en su mayoría lo hacen entre 300 y 600 gramos <sup>50</sup>.

1.2.4 Flores. Se pueden encontrar dos tipos de flores la femenina y masculina como se observa en la ilustración 2, donde la flor femenina presenta fusión cinco pétalos y se marchita mucho antes que las flores masculinas ya que este abre sus pétalos en serie. El yacón presenta entre 14 a 16 flores femeninas y entre 80 a 90 flores masculinas.<sup>51</sup>

Ilustración 2. Flor femenina y masculina



Fuente: SEMINARIO, VALDERRAMA, Juan, MANRRIQUE; Miguel, EL yacón, fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio, cip, 2003,67

---

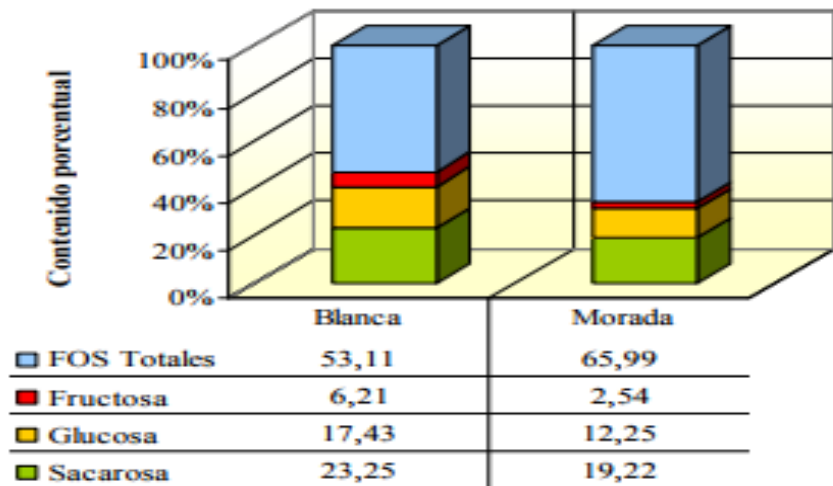
<sup>49</sup> Ibid., p. 11

<sup>50</sup> Ibid., p. 11-14

<sup>51</sup> Ibid., p. 14

1.2.5 Raíces de yacón. Se pueden encontrar dos tipos de raíces la Blanca y la morada estas 2 variedades almacenan sus carbohidratos en forma de inulina, donde se conoce el contenido de azúcares que se encuentran en forma de carbohidratos solubles como se observa en la gráfica 1 <sup>52</sup>

Gráfica 1. Comparación del contenido de azúcares entre variedades



Fuente: CAMPOS, David; BETALLELUZ PALLARDEL, Indira; CHIRINOS, Rosana; AGUILAR, Ana; NORATTO, Gualina; PEDRESCH, Romina. Prebiotic effects of yacón (yacón Poepp. & Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity, Revista Food Chemistry, 2012, p 1592-1599.

<sup>52</sup> CAMPOS, David; BETALLELUZ PALLARDEL, Indira; CHIRINOS, Rosana; AGUILAR, Ana; NORATTO, Giuliana; PEDRESCH, Romina. Prebiotic effects of yacón (yacón Peppy. & Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity, Revista Food Chemistry, 2012, p 1592-1599.

### 1.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA

Diferentes investigaciones alrededor del Yacón han expuesto la caracterización de sus propiedades, en relación al contenido de carbohidratos estiman que representa el 90% por peso seco de la raíz tuberosa, de este porcentaje una fracción estimada entre el 50 a 70% corresponde a FOS y el porcentaje restantes<sup>53</sup>

También se afirma “se encuentra una molécula de glucosa al inicio de la cadena de cada fructano”<sup>54</sup> estos últimos están provistos de FOS e inulina, además se encuentran en la naturaleza y aportan un nivel nutritivo, razón por la cual tienen gran importancia en la Industria Alimentaria, de la misma manera, el autor afirma que la inulina y FOS difieren en el número de moléculas de fructuosa, las cuales se encuentran unidas por enlaces exclusivamente  $\beta$  (2-1): la inulina de 2 a 60 moléculas y en comparación, los FOS presentan de 2 a 10 moléculas en su cadena, interpretándose los FOS como un subgrupo de la inulina.

#### 1.3.1 Taxonomía del yacón

<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Orden</b>	Asterales
<b>Familia</b>	Asteraceae
<b>Subfamilia</b>	Asteroideae
<b>Genero</b>	Smallanthus
<b>Especie</b>	S. Sonchifolius

Fuente: POLANCO PUERTA, Manuel Francisco; CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y MOLECULAR DE MATERIALES DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius* Poep. & Endl) H. Robinsón COLECTADOS EN LA ECO REGIÓN EJE CAFETERO DE COLOMBIA; Trabajo de grado Magister en Ciencias agrícolas con énfasis en Fito mejoramiento; Palmira; Facultad ciencias agropecuarias; Universidad nacional; 2011; p 9

1.3.2 Inulina. Es un polisacárido que está presente en muchos tipos de plantas que se concentra o almacena en los tejidos de planta, generalmente raíces y rizomas contiene las concentraciones más grandes. Es un ingrediente alimenticio natural obtenido de la raíz del yacón, achicoria y también está presente en otros vegetales como ajo, cebolla, alcachofa, trigo e incluso plátano, el cual ofrece beneficios

<sup>53</sup> SEMINARIO, Juan; VALDERRAMA, Miguel; MANRRIQUE, Ivan, EL yacón, fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio, cip, 2003.

<sup>54</sup> Ibid., p.3.

tecnológicos y nutricionales, y fácilmente puede ser incorporada a una gran gama de productos.<sup>55</sup>

La inulina es un prebiótico que aporta beneficios a la salud donde se reporta la disminución de riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, diabetes, cáncer de colon y enfermedades relacionadas al tracto gastrointestinal así como un aumento en la absorción de calcio y una mejor actividad inmunológica.<sup>56</sup>

Además, la inulina se considera un alimento funcional dado que sus componentes (que pueden ser o no nutritivos) tienen un efecto sobre una o varias funciones del organismo originando un efecto positivo sobre la salud y reducción en el riesgo de enfermedades<sup>57</sup>

**1.3.3 Fructooligosacáridos** Los fructooligosacáridos pertenecen al grupo de los fructanos. Estos consisten en una glucosa terminal y a una cadena lineal de fructosas de 2 a 9 unidades unidas por un enlace  $\beta$  (2-1).

Los fructooligosacáridos (FOS) son un tipo de fibra soluble abundante en vegetales como el espárrago, la cebolla o el puerro, entre otros. El organismo no es capaz de digerir estos compuestos ni de asimilarlos, aunque sí se usan como sustrato energético por las bacterias del intestino grueso, en particular por las del género *Bifidum*<sup>58</sup>.

Tiene un nivel de dulzura que puede variar entre el 30% y 100%, con respecto a la sacarosa, tiene mayor solubilidad pero no se precipitan ni cristalizan y pueden ser usados por la industria alimentaria como una alternativa de la sacarosa o como una fibra dietética saludable<sup>59</sup>

También los fructooligosacáridos (FOS) son un prebiótico eficaz, puede promover la proliferación a bacterias benéficas particularmente bifidobacterias en el intestino grueso, Además tiene las características de suprimir agentes patógenos, disminuyendo los niveles de glucosa en sangre, colesterol, fosfolípidos y triglicérido. Pueden ser consumidos por todas las personas y está especialmente recomendado

---

<sup>55</sup> ¿Qué es la inulina?; Engormix ;2007; Disponible en: (<https://www.engormix.com/agricultura/articulos/la-inulina-t27326.htm>)

<sup>56</sup> LARA CASTOR, Laura; INULINA: Polisacárido con interesantes beneficios a la salud humana y con aplicación en la industria farmacéutica; Revista infarmate; 2011; p 99-106.

<sup>57</sup> ¿Qué es la inulina? | QuimiNet.com; quiminet; 2000; Disponible en: (<https://www.quiminet.com/articulos/que-es-la-inulina-5454.htm>)

<sup>58</sup> OHYAMA, Takuji; ITO, Osamu; YASUYOSHI, Sawako; IKARASHI, Taro; MINAMISAWA, Kiwamu; KUBOTA, Masatsugu; ASAMI, Teruo; Composition of storage carbohydrate in tubers of yacón (*Polymnia sonchifolia*); Revista Soil Science and Plant Nutrition; 1990; p. 167-171.

<sup>59</sup> R. NINESS, Kathy ; Inulin and Oligofructose: What Are They? ; Revista The Journal of Nutrition ; 1999 ; p 1402-1046

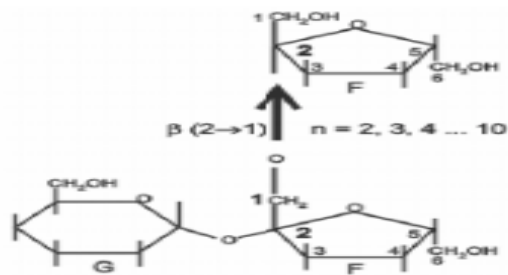


para niños y adolescentes en edad de crecimiento, infantes sin suplemento de leche y mujeres en gestación<sup>60</sup>

Los fructanos pueden ser producidos por bacterias, hongos y plantas que presentan la enzima fructosiltransferasa encargada de su síntesis (Sangeethaa et al. 2005; Yun 1996). En plantas mono y dicotiledóneas como Liliáceo, Amaryllidaceae, Gramineae y Compositae, son sintetizados como mecanismo de almacenamiento de carbohidratos y se encuentran en órganos como bulbos, raíces y tallos (Roberfroid and Delzenne 1998)<sup>61</sup>. De igual forma, los FOS están disponibles en alimentos vegetales.

Para la extracción de fructooligosacáridos en plantas y hortalizas se hace a través de un proceso enzimático o químico, de esta manera obtener la mayor cantidad de fructooligosacáridos como de fructosa logrando así un poder edulcorante mayor que el de la sacarosa se puede observar la estructura en la siguiente ilustración

Ilustración 3. Fructooligosacárido



Fuente: LÓPEZ, Diana Lizeth, valorización de la raíz del yacón, obtención de un jarabe rico en fructooligosacáridos, Revista Investigación & Desarrollo, 2008, p 11-21

<sup>60</sup> YNOUYE, F. Determinación del contenido de carbohidratos de reserva, la actividad enzimática de la polifenol oxidasa y la concentración de polifenoles en raíces reservantes de Yacón (*Smallanthus sonchifolius*). Trabajo de grado biología. Lima.: Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias Departamento de Biología, 2005. P.67.

<sup>61</sup> MALDONADO, Silvana, et al. Producción y comercialización de Yacón (*Smallanthus Sonchifolius*) en comunidades rurales del Noroeste Argentino.

## 1.4 PRODUCCIÓN DEL YACÓN

1.4.1 Nivel mundial Los países con mayor producción se ubican en Perú, Chile y Argentina como se observa en la siguiente tabla otros países como Checoslovaquia, China, Corea, estados unidos, Taiwán llevan a cabo este cultivo cabe resaltar que Japón es donde se han realizado la mayor cantidad de investigación de este.<sup>62</sup>

Tabla 2. Producción de yacón

PAIS	Superficie cosecha (ha)			Producción (t)			Rendimiento ( t/a)		
	2014	2015	Var %	2014	2015	Var %	2014	2015	Var %
Perú	3,44	3,88	12,7	24,55	28,44	15,8	7,1	7,3	2,8
Chile	2,69	2,59	-3,78	23,59	21,61	-8,38	8,8	8,3	-4,8
Argentina	2,76	2,80	1,6	22,66	23,09	1,91	8,2	8,2	0,3

Fuente: CALDERÓN DÍAZ, Camila Andrea; FANDIÑO MORANTE, Diana Marcela; CHÁVEZ PACHECO, Tatiana Melissa; El Yacón: una alternativa para el sector agrícola colombiano; Bogotá D.C.; Facultad de ciencias económicas; Universidad de la Salle; 2017; p 77

1.4.2 Latinoamérica. Yacón se cultiva y se produce en Latinoamérica desde la zona de Venezuela, Colombia, Perú en el área del alto andina de 18 departamentos confirmados y Argentina en las provincias de salta y Jujuy, Bolivia en los departamentos de Tajira, Chuquisaca, Cochabamba en Ecuador en las provincias de Carchi, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar, Chimborazo, Cañar, Azuay y Loja donde se ha desarrollado una distribución y variabilidad de este producto.<sup>63</sup>

Al ser un tubérculo poco conocido y analizado en Colombia y Venezuela no se realizan grandes cultivos de este por falta de información al consumidor siendo este un productos analizados y estudiados en los países como Japón y nueva Zelanda debido a su propiedad terapéutica.

1.4.3 Colombia. La producción de yacón en el país se encuentra en el sector hortofrutícola cuya producción no se encuentra destinada a fines comerciales provocando de esta manera una desorganización, lo que causa desinformación en los datos de la producción de yacón en Colombia, sin embargo, se encuentran los cultivos transitorios de hortalizas en el que se encuentra incluido el yacón donde

<sup>62</sup> SEMINARIO, Juan; VALDERRAMA, Miguel; MANRRIQUE, Ivan, EL yacón, fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio, cip, 2003.

<sup>63</sup> SEMINARIO, Juan; VALDERRAMA, Miguel; MANRRIQUE, Ivan, EL yacón, fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio, cip, 2003

han disminuido un 5,9% en el 2015 pasando de 8,9 millones de toneladas en 2014 a 8,6 millones en 2015 como se observa en la tabla 4.<sup>64</sup>

La producción de yacón se lleva a cabo en los departamentos de caldas, Cauca, Nariño, Huila, Risaralda, Quindío, Cundinamarca, Boyacá, Tolima, Valle del cauca<sup>65</sup> debido al poco conocimiento de esta especie los agricultores no le prestan la debida atención a este tubérculo y sus beneficios.

Tabla 3. Producción de cultivos transitorios en Colombia

Cultivos Transitorios	Producción (t)	
	Año 2014	Año 2015
<b>Total departamentos</b>	<b>5.530.972</b>	<b>5.328.719</b>
<b>Subtotal sin hortalizas</b>	<b>3.811.183</b>	<b>3.832.884</b>
<b>Maíz Amarillo</b>	<b>565.422</b>	<b>446.131</b>
<b>Maíz blanco</b>	<b>319.174</b>	<b>185.211</b>
<b>Total maíz</b>	<b>884.595</b>	<b>631.342</b>
<b>Papa</b>	<b>2.157.568</b>	<b>2.582.147</b>
<b>Yuca</b>	<b>482.595</b>	<b>393.174</b>
<b>Frijol</b>	<b>88.066</b>	<b>50.409</b>
<b>Tabaco</b>	<b>14.331</b>	<b>14.135</b>
<b>Demás cereales</b>	<b>184.028</b>	<b>161.676</b>
<b>Hortalizas</b>	<b>1.296.908</b>	<b>1.137.585</b>
<b>Arveja</b>	<b>120.362</b>	<b>100.548</b>
<b>Cebolla rama</b>	<b>376.995</b>	<b>327.290</b>
<b>Cebolla bulbo</b>	<b>211.922</b>	<b>196.920</b>
<b>Zanahoria</b>	<b>169.525</b>	<b>164.588</b>
<b>Tomate</b>	<b>413.924</b>	<b>345.291</b>
<b>Haba</b>	<b>4.180</b>	<b>2.949</b>
<b>Otras hortalizas</b>	<b>422.882</b>	<b>358.250</b>

Fuente: CALDERÓN DÍAZ, Camila Andrea; FANDIÑO MORANTE, Diana Marcela; CHÁVEZ PACHECO, Tatiana Melissa; El Yacón: una alternativa para el sector agrícola colombiano; Bogotá D.C.; Facultad de ciencias económicas; Universidad de la Salle; 2017; p 77

<sup>64</sup> CALDERÓN DÍAZ, Camila Andrea; FANDIÑO MORANTE, Diana Marcela; CHÁVEZ PACHECO, Tatiana Melissa; El Yacón: una alternativa para el sector agrícola colombiano; Bogotá D.C.; Facultad de ciencias económicas; Universidad de la Salle; 2017; p 77

<sup>65</sup> Ibid., p 37

## 1.5 PRODUCCIÓN DE EDULCORANTE

1.5.1 Nivel nacional La producción de edulcorantes en Colombia en específico fructosa en el año 2005-2013 se vendía por año 42,7 toneladas a un valor de US\$/ton 1926 dólares donde el mayor comprador de fructosa es Venezuela con el 80% de exportaciones de esta materia prima.<sup>66</sup>

En la siguiente tabla se observan las exportaciones e importaciones del edulcorante en el año 2005-2013

Tabla 4. Exportaciones e Importaciones de Fructosa

Año	Exportaciones Fructosa	Importaciones Fructosa
2.005	1,6	1.443,4
2.006	0,5	2.842,5
2.007	46,0	3.454,5
2.008	79,5	2.752,3
2.009	107,0	1.774,5
2.010	47,5	2.408,4
2.011	35,6	1.624,6
2.012	24,5	2.446,5
2.013	5,0	2.709,9

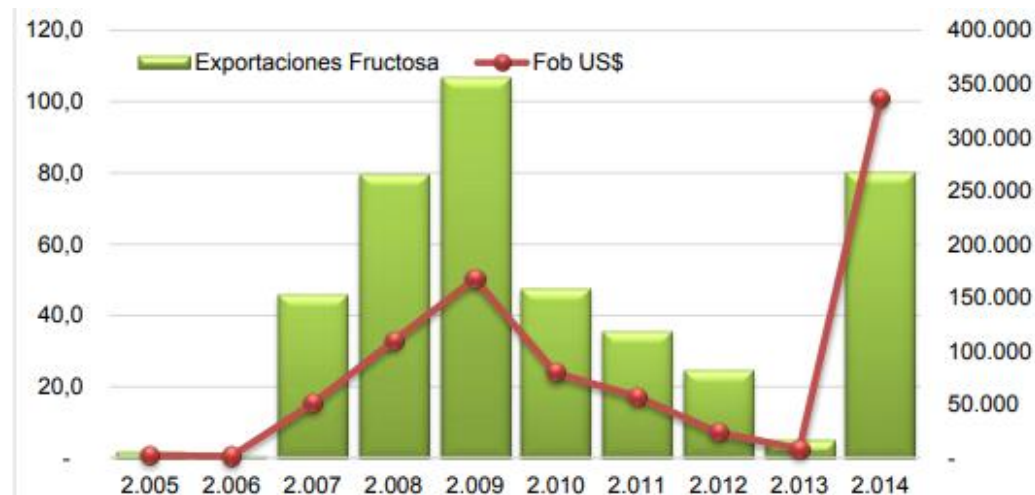
Fuente: YOUSEF LOBELO Miranda; ALVARADO CLAVIJO Marco; ANÁLISIS DE COMPETITIVIDAD Y DE MERCADO EN LA SUSTITUCIÓN PARCIAL O TOTAL DE AZÚCAR POR OTROS EDULCORANTES EN LAS EMPRESAS DEL SECTOR DE BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS EN COLOMBIA DE 2009 A 2014, universidad de la Salle, 2015, p 39-45.

En cuanto a las exportaciones de los últimos 10 años se han facturado US\$/ton 838 millones de dólares, en más de 427 toneladas<sup>67</sup>. En la gráfica 2 se observa las exportaciones en Colombia.

<sup>66</sup> YOUSEF LOBELO Miranda; ALVARADO CLAVIJO Marco; ANÁLISIS DE COMPETITIVIDAD Y DE MERCADO EN LA SUSTITUCIÓN PARCIAL O TOTAL DE AZÚCAR POR OTROS EDULCORANTES EN LAS EMPRESAS DEL SECTOR DE BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS EN COLOMBIA DE 2009 A 2014, universidad de la Salle, 2015, p 39-45

<sup>67</sup> *Ibíd.*; p.43

Grafica 2.Competitividad del mercado



Fuente: YOUSEF LOBELO Miranda; ALVARADO CLAVIJO Marco; ANÁLISIS DE COMPETITIVIDAD Y DE MERCADO EN LA SUSTITUCIÓN PARCIAL O TOTAL DE AZÚCAR POR OTROS EDULCORANTES EN LAS EMPRESAS DEL SECTOR DE BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS EN COLOMBIA DE 2009 A 2014, universidad de la Salle, 2015, p 39-45.

1.5.2 Nivel mundial. Al ser un sustituto de la sacarosa ha tomado gran importancia en la industria a nivel internacional para la elaboración de alimentos y bebidas su oferta mundial pasó de 713.9 mil toneladas en 2006/07 a 1,430.8 mil toneladas en el 2010/11, lo que representó un incremento de 19.2% en promedio anual.<sup>68</sup>En la tabla 5 se observa el balance mundial de fructosa.

Tabla 5. Balance mundial

Ciclo	Balance Mundial de la Fructosa				
	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011
<b>Producción</b>	407,1	342,5	361,7	463,1	467,2
<b>Importaciones</b>	306,9	442,6	329,3	975	983
<b>Oferta Total</b>	714	785	691	1438	1450
<b>Consumo</b>					
<b>Domestico</b>	708,3	774,6	678,5	1417,7	1430,2
<b>Exportaciones</b>	5,6	10,5	12,5	20,4	1450
<b>Demanda Total</b>	713,9	785,1	691	1438,1	2880,2

Fuente: YOUSEF LOBELO Miranda; ALVARADO CLAVIJO Marco; ANÁLISIS DE COMPETITIVIDAD Y DE MERCADO EN LA SUSTITUCIÓN PARCIAL O TOTAL DE AZÚCAR POR OTROS EDULCORANTES EN LAS EMPRESAS DEL SECTOR DE BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS EN COLOMBIA DE 2009 A 2014, universidad de la Salle, 2015, p 39-45.

<sup>68</sup> YOUSEF LOBELO Miranda; ALVARADO CLAVIJO Marco; ANÁLISIS DE COMPETITIVIDAD Y DE MERCADO EN LA SUSTITUCIÓN PARCIAL O TOTAL DE AZÚCAR POR OTROS EDULCORANTES EN LAS EMPRESAS DEL SECTOR DE BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS EN COLOMBIA DE 2009 A 2014, universidad de la Salle, 2015, p 39-45.

En el año 2012 los estados unidos exportaron alrededor de 1,91 millones de toneladas de fructosa, de las cuales 80% fueron territorios mexicano con 1,52 Por su parte Colombia ha exportado cerca de 32,5 mil toneladas del año 2000 a 2013<sup>69</sup>

La fructosa como edulcorante ha ganado espacio en el mercado mundial de una forma apresurada debido a sus grandes beneficios para la salud de continuar de esta manera la fructosa se consolidará en el mercado mundial.

## 1.6 PRETRATAMIENTO DEL YACÓN

El yacón al ser un alimento perecedero tiende a oxidarse con mayor rapidez, al medio ambiente la molécula del yacón se convierte en azúcares simples que se oxidan fácilmente, transformándose en ácidos, por lo que se dice que poseen poder edulcorante por esta razón diferentes fuentes realizan una adecuación para conservar el tubérculo como se observa en el cuadro 1

Cuadro 1. Métodos del acondicionamiento del Yacón

Métodos	Condiciones de operación para la adecuación
1	Se realiza una selección del yacón, pasa por un proceso de limpieza es refrigerado a una temperatura ( $8\pm 2^{\circ}\text{C}$ ), posteriormente las raíces son cortadas luego se adiciona una solución de disulfito de sodio durante 20 minutos. <sup>70</sup>
2	Mantener refrigerado por 7 días, es pelado y cortado en rodajas radiales de 2 mm posteriormente pasa por un proceso de secado convección se tratan osmóticamente en una solución de sucralosa. <sup>71</sup>
3	Se lava y pela el Yacón para cortar en rodajas de (1mm x1mm x1mm) y se sumergen en ácido ascórbico <sup>72</sup>
4	El Yacón es pelado y cortado en rodajas (0,020mm x 0,02mm x0,005mm) se agregan a una solución de agua destilada y fructosa <sup>73</sup>
5	Las raíces de yacón fueron lavadas y cortadas en rodajas posteriormente sometidas a un blanqueado en agua a ebullición por 5 minutos, se lleva a cabo un fraccionamiento para luego ser secadas a $100^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar una humedad 3-9% para después ser molidas <sup>74</sup>

Fuente: elaboración propia

<sup>70</sup> LEDUR ALLES, María Julia; LEDUR ALLES, María Julia; ZAPATA NOREÑA, Cacioano Pelayo; Concentration and Purification of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Root Fructooligosaccharides Using Membrane Technology; Revista Food Technology and Biotechnology; 2015; p.: 190

## 1.7 HIDRÓLISIS

Consiste en la ruptura de la estructura química en nuestro caso del extracto del yacón por defecto del agua donde esta se divide para formar otra especie química en la cual el ácido, base o enzima catalizan el rompimiento de la estructura para obtener el producto de interés.

1.7.1 Hidrólisis ácida. Lo que se busca es romper la estructura química del yacón a partir de un compuesto químico con un pH inferior a 7 llegando a los fructooligosacaridos y producir una ruptura en los de enlace  $\beta$  (2-1), en el siguiente cuadro se puede observar los diferentes ácidos:

Cuadro 2. Agentes ácidos para la hidrólisis de yacón

Condiciones de operación	Resultados
Se utiliza el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 97% pH (1 a 3), tiempo (20 a 70 min) y temperatura (60 a 98 °C).	Donde los estudios dieron óptimos a las siguientes condiciones (pH:1-T :88,4°C- t: 38,7 min) obteniendo 9,11g Fructosa/L <sup>75</sup>
Se utiliza ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) al 85% pH (1 a 3), tiempo (20 a 70 min) y temperatura (60 a 98 °C).	Donde los estudios dieron óptimos a las siguientes condiciones (pH: 2 –T:89,9°C-t:42,2 min)Obteniendo 7,84 g Fructosa/L <sup>76</sup>
Se utiliza HCl 1N a 70 °C por 30 minutos pH (1-3)	Se obtiene un 22,21% Fructosa punta de hoja; en la base de la hoja 49,85%; la cabeza 72,53% <sup>77</sup>

Fuente: Elaboración propia

<sup>70</sup> LEDUR ALLES, Maria Julia; LEDUR ALLES, María Julia; ZAPATA NOREÑA, Caciano Pelayo; Concentration and Purification of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Root Fructooligosaccharides Using Membrane Technology; Revista Food Technology and Biotechnology; 2015; p.: 190

<sup>71</sup> PERUSSELLO; MARIANI; MASSON; CASTILHOS; Determination of thermophysical properties of yacón (*Smallanthus sonchifolius*) to be used in a finite element simulation; Revista Elsevier; 2013; p.:1163-1169

<sup>72</sup> CASTRO, Alejandra; VILAPLANA, Francisco; NILSSON, Lars; Characterization of a water soluble, hyperbranched arabinogalactan from yacón (*Smallanthus sonchifolius*) roots; Revista Food Chemistry; p.: 76-81

<sup>73</sup> OLIVEIRA, Leticia; CORRÊA, Jefferson; GOMES Luiz; PEREIRA Angelis, CARDOSO Michel; RAMOS LEMOS Souza; VILELA, Marina; Osmotic dehydration of yacón (*Smallanthus sonchifolius*): Optimization for fructan retention; Revista LWT - Food Science and Technology; 2016; p.: 77-87

<sup>74</sup> INGA GUEVARA, Marianelaa; BETALLELUZ PALLARDEL, Indiraa-; KINA NOBORIKAWA, Melissa; CAMPOS GUTIERREZ, David; OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE LOS FRUCTOOLIGOSACÁRIDOS DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*);2015; p.:263-272

<sup>75</sup> CHIRINOS, Rosana; MENDOZAA, Rocío; AGUILAR, Ana; Gálveza; CAMPOS David; HIDRÓLISIS QUÍMICA Y ENZIMÁTICA DE EXTRACTO DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) PARA LA PRODUCCIÓN DE FRUCTOSA; Revista sociedad química de Perú; vol. 83, núm. 2, abril-junio, 2017, p. 200-212

<sup>76</sup> Ibid., p 5-13

<sup>77</sup> MONTAÑEZ SOTO, José; VENEGAS GONZÁLEZ, José; VIVAR, María; RAMOS, Emma; EXTRACCIÓN, CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS FRUCTANOS CONTENIDOS

concentración de ácido Fosfórico (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ), ácido clorhídrico (HCl) de (2, 4 y 6%), tiempo (30 minutos), temperatura (120°C) utilizando autoclave y relación líquido/sólido (6:1, 8:1, 10:1)	Donde se obtuvieron los resultados más óptimos con el ácido fosfórico 2%, 120°C, 30 min, 2% de relación 1/6 respectivamente obteniendo 81 g/L de fructosa <sup>78</sup>
Las condiciones óptimas del ácido (HCl y H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) y la concentración del ácido (0.3 % y 0.5 %)	Con el empleo de HCl se logró un menor porcentaje de hidrólisis que va del 36% - 62% comparado con el H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> donde se obtuvieron porcentaje de hidrólisis de 65-86%. <sup>79</sup>
Donde las condiciones de operación concentración de ácido fosfórico H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (0, 0.5 y 1%), temperatura (80, 100 y 120 °C) y tiempo de hidrólisis (30, 90 y 50 min)	Donde los resultados más óptimos de concentración máxima de fructosa (11.2 g/L) se obtiene aplicando 80°C, 1% ácido fosfórico y 90 minutos de hidrólisis. <sup>80</sup>

Fuente: elaboración propia

1.7.2 Hidrolisis Enzimática. Las enzimas necesarias que permiten romper los enlaces β (2-1), son la inulinasa y la invertasa logrando acelerar el proceso de ruptura de la estructura consiguiendo de esta manera que el sustrato se transforme en el producto deseado.

Al llevar a cabo este método se puede hidrolizar de una manera más natural que con el uso de químicos como se muestra en el cuadro 3.

---

EN LA CABEZA Y EN LAS HOJAS DEL Agave tequilana Weber AZUL; Revista Bioagro, vol. 23, núm. 3, septiembre-diciembre, 2011, pp. 199-206

<sup>78</sup> Martínez López J. N., Rodríguez Castillejos G. Ca, Téllez Luis S. Jb, Palos Pizarro Isidro, Efrén Nieto Mario, Cuarenta Obrajero Josefina; APROVECHAMIENTO DE LA PIÑA DE AGAVE PARA LA PRODUCCIÓN DE LICORES RICOS EN AZÚCARES FERMENTABLES; Revistas Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos; Vol. 1, No. 2; (2016)-, p.: 231-235

<sup>79</sup> GONZÁLEZ-PONCE, María del Refugio\*†, BERNAL-ARROYO, Beatriz, GONZÁLEZGONZÁLEZ, Claudia Ernestina y SEGOVIANO-GARFÍAS, Nezahualcoyolt; Evaluación de ácidos como catalizadores en la hidrólisis de inulina de Agave Tequiaba Weber var. Azul; Revista Ciencias Naturales y Agropecuarias, septiembre 2016, Vol.3.

<sup>80</sup> Hidrólisis ácida de la inulina de Agave americana para la obtención de mostos fermentables ricos en fructosa; researchgate; Disponible en: ([https://www.researchgate.net/publication/316281531\\_Hidrolisis\\_acida\\_de\\_la\\_inulina\\_de\\_Agave\\_a\\_mericana\\_para\\_la\\_obtencion\\_de\\_mostos\\_fermentables\\_ricos\\_en\\_fructosa](https://www.researchgate.net/publication/316281531_Hidrolisis_acida_de_la_inulina_de_Agave_a_mericana_para_la_obtencion_de_mostos_fermentables_ricos_en_fructosa))



Cuadro 3. Agentes enzimáticos para la hidrólisis de yacón

Condiciones	Resultados
Se utiliza el inulinasa $\beta$ -D-2,1- fructano fructohidrolasa con un tiempo de operación de 5 a 120 min manteniendo un pH constante de 5 y temperatura de 50°C	La condiciones más optimas obtenidas son a una concentración de encima 11,7U/g FOS en un tiempo de 134 minutos obteniendo 6,16 g fructosa/L <sup>81</sup>
Se utiliza la enzima invertás $\beta$ -Dfructohidrolasa- D fructofuranosidasa con un tiempo de operación de 5 a 120 min manteniendo un pH constante de 5 y temperatura de 50°C	Las condiciones más optimas de operación se obtuvieron a una concentración de enzima 6,74x10 <sup>-1</sup> U/g FOS en un tiempo de 127,5 min obteniendo 7,50 g fructosa/L <sup>82</sup>
Para determinar la presencia de FOS se toman 5 ml de la muestra diluida y se agrega 1 mg de invertasa; se incuba durante 90 min a 55 °C	Se da la conclusión que hay un incremento de absorbancia concuerda con la hipótesis de la presencia de FOS e inulinas en los residuos provenientes del desfibrado de fique. Los FOS <sup>83</sup>

Fuente: Elaboración propia

## 1.8 MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN

Al realizar la hidrólisis a partir de métodos enzimáticos o ácidos se necesita determinar la cantidad de azúcares presentes en la muestra que se establecen a través de los diferentes procedimientos mostrados en el cuadro 4 y 5:

<sup>81</sup> CHIRINOSA, Rosana; MENDOZAA, Rocío; AGUILAR, Ana; Gálveza; CAMPOS David; HIDRÓLISIS QUÍMICA Y ENZIMÁTICA DE EXTRACTO DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) PARA LA PRODUCCIÓN DE FRUCTOSA; Revista sociedad química de Perú; vol. 83, núm. 2, abril-junio, 2017, p. 200-212

<sup>82</sup> Ibid., p 5-13

<sup>83</sup> APRAEZ, Claudia Sofía Guevara; CASTILLO, Elkin Javier Vallejo; Identificación de fructooligosacáridos e inulinas en residuos de hojas de fique - *Furcraea macrophylla* Baker; Acta Agronómica;2015; p.: 297-301

Cuadro 4. Métodos de cuantificación de azúcares

Método	Procedimiento
<b>Determinación de azúcares mediante UPLC</b>	La fase móvil estuvo compuesta por acetona: agua (77:23, v/v) con 0,05% trietilamina (p/v). Previo a la inyección, todas las muestras fueron filtradas con un filtro de 0,22 µm el tiempo de corrida fue de 10 min a 85°C, el flujo fue de 0,15 ml/min <sup>84</sup>
<b>Determinación a partir HPLC de intercambio catiónico</b>	Se desarrolló un método isocrático de HPLC para el análisis de fructooligosacáridos en mezclas con sacarosa, glucosa y fructosa. Se utilizó agua destilada doble filtrada a través de un filtro de membrana de 0,2 µm como fase móvil a la velocidad de flujo de 0,3 ml min <sup>-1</sup> . la temperatura de la columna analítica se estableció en el rango de 40 a 80 °c. el detector RI se hizo funcionar a 32 °c <sup>85</sup>
<b>Columna cromatografía</b>	El diámetro de partícula y la capacidad de intercambio iónico fueron 320 m 1.63 equiv. L-1, respectivamente. El contenido de agua de la resina se determinó secando partículas húmedas a 80 °C hasta que se obtuvo un peso constante alcanzado. Luego se añadió a la columna. <sup>86</sup>

Fuente: Elaboración propia

<sup>84</sup> CHIRINOSA, Rosana; MENDOZAA, Rocío; AGUILAR, Ana; Gálvez; CAMPOS David; HIDRÓLISIS QUÍMICA Y ENZIMÁTICA DE EXTRACTO DE YACÓN (*Smilax sp.*) PARA LA PRODUCCIÓN DE FRUCTOSA; Revista sociedad química de Perú; vol. 83, núm. 2, abril-junio, 2017, p. 200-212

<sup>85</sup> ANTOŠOVÁ, Monika; POLAKOVIČ, Milan; Separation of fructooligosaccharides on a cation-exchange HPLC column in silver form with refractometric detection; Revista Biotechnology Techniques; 1999; p. 889-892

<sup>86</sup> VANĀOVÁ, Katarína; POLAKOVIČ, Milan; Optimization of single-column chromatographic separation of fructooligosaccharides; Revista Process Biochemistry; p. 1325-1329.

Cuadro 5.(Continuación de los métodos de cuantificación)

Método	Procedimiento
<b>Determinación por espectrofotometría</b>	Se utilizó un espectrofotómetro de luz UV, para la determinación de glucosa se llevó a cabo el método de trinder 1969 y para los azucares reductores el método de Miller 1959 y a través de una curva de calibración de glucosa, fructosa se puede hallar la concentración de fructosa, fructooligosacaridos en la muestra <sup>87</sup>
<b>Derivatización con PMP y separación en HPLC de fase inversa</b>	Se disolvieron en 25 µl de una solución de PMP 0,5 M en metanol donde la capa acusa final se evaporó a sequedad y luego se re disolvió en 1 ml de agua se trasladó a la HPLC y se llevó a cabo en una columna C18 de fase inversa, la detección se realizó a 245 nm <sup>88</sup>

Fuente: Elaboración propia

## 1.9 USOS DEL YACÓN

El yacón anteriormente se consumía en fresco y se consideraba un rejuvenecedor en la piel esto se debe a las creencias heredadas por los campesinos y agricultores<sup>89</sup>, sin embargo, al estudiar los beneficios promisorios se ha industrializado en diferentes países con mayor prevalencia en Perú donde se ha elaborado mayor cantidad de productos a base de yacón.

En algunos estudios se ha enfocado el análisis del efecto de la fructosa como los jarabes que tienen un alto contenido de fructooligosacaridos (FOS) con la finalidad de evaluar los efectos beneficiosos en la salud humana demostrando que el yacón es una fuente importante de FOS donde el consumo a largo plazo mejora la calidad de vida de aquellas personas con sobrepeso y diabéticas.<sup>90</sup>

<sup>87</sup> GONZALES HERNADEZ, Luis Humberto; Obtención de los nutraceuticos presentes en la piña del Agave tequilero mediante dilución diferencial; Trabajo de grado maestro de las ciencias en producción agrícola sustentable; Jilipan; Instituto politécnico nacional; 2013; p:85

<sup>88</sup> Stepan, H; Staudacher, E.; Optimization of monosaccharide determination using anthranilic acid and 1-phenyl-3-methyl-5-pyrazolone for gastropod analysis; Revista Analytical Biochemistry ;2011; p.: 24-29

<sup>89</sup> OHYAMA, T, Composition of storage carbohydrate in tubers of Yacón (Polynyas sonchifolia). Soil Science and Plant Nutrition, Lima: Perú, 2003. p. 27

<sup>90</sup> T. K, Lim. Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants.9 ed. New york.:Springer,2015,1047 p.

Finalmente, en base al capítulo anterior los datos obtenidos son necesarios para realizar la parte experimental del edulcorante ya que a partir de este podemos determinar la materia seca, materia inorgánica, pH y densidad puesto que permite mantener el control del proceso.

## 2. CARACTERIZACIÓN DEL YACÓN

En esta sección se dirige el análisis a los diferentes métodos aplicados para la caracterización de la materia prima siendo esta el yacón (*Smallanthus sonchifolius*) llevando un control de calidad a través de las normas técnicas colombianas (NTC) y la Asociativo of Official Analítico Chemists (AOAC) correspondiente a cada método; Para el propósito de la caracterización de la materia prima esta proviene de 2 centrales de abastecimiento de Bogotá D.C, se determinaron los diferentes criterios y protocolos a cada una de la pruebas como sus respectivas condiciones de operación para llevarlas a cabo, se realizará una comparación de los resultados obtenidos con los diferentes autores con respecto a su caracterización teniendo de esta manera un control para llevar a cabo la producción del edulcorante.

### 2.1 MUESTREO GENERAL DEL YACÓN

En el presente capítulo se muestra el paso inicial para la producción de yacón como edulcorante, iniciando por la caracterización del mismo, para ello fue necesario escoger una muestra representativa de acuerdo con la NTC 756 “Frutas y hortalizas frescas”<sup>91</sup>, El yacón se obtuvo de dos principales centrales de abastecimiento de Bogotá, D.C., Corabastos y Paliquea en donde se escogieron diferentes unidades de manera aleatoria .

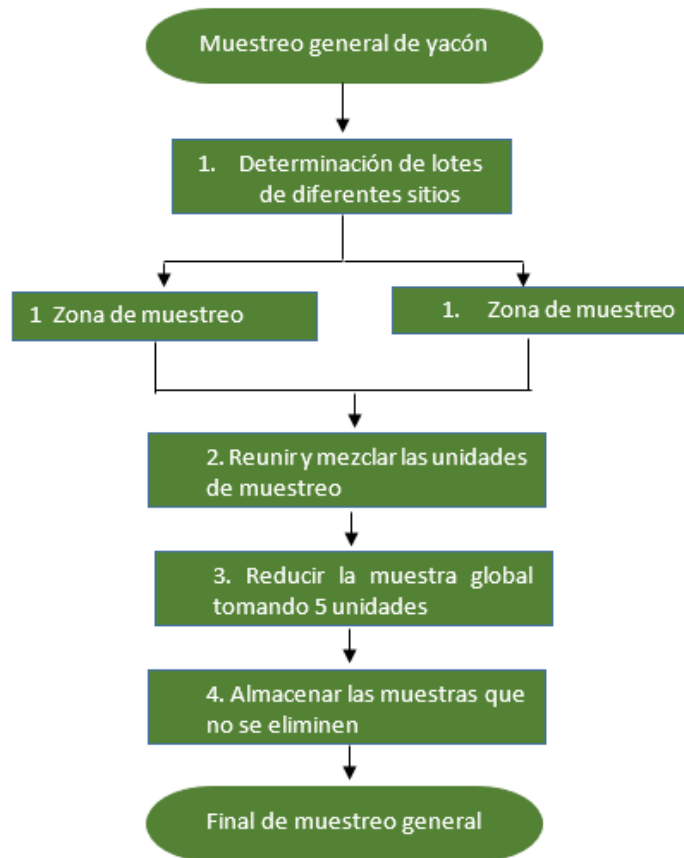
En el diagrama 1 se observa el procedimiento para llevar a cabo la recolección de las muestras con su control de calidad y el rotulado que deben llevar estas. Una vez obtenida la muestra representativa de 5 unidades en cada Plaza de mercado para un total de 10 se seleccionan 5 unidades como muestra global donde el peso de la muestra es de 1,2 Lb , se realizar el rotulado de muestras al momento de realizar compra de este, como se especifica en norma técnica colombiana NTC 756 “frutas y hortalizas frescas”<sup>92</sup> el cual se encuentra en el anexo B.

---

<sup>91</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC); frutas y hortalizas frescas; NTC 756; Bogotá D.C;1977; p 7

<sup>92</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC); frutas y hortalizas frescas; NTC 756; Bogotá D.C;1977; p 7

Diagrama 1. Muestreo general del yacón



Fuente: Elaboración propia

El rotulado de cada toma de muestra que incluye lo siguiente información:

- Designación del producto y la especie
- Fecha y lugar del despacho del producto
- Nombre y dirección del depósito del lote
- Día y hora en que se tomó la muestra
- Temperatura ambiente
- Tamaño del lote y peso del empaque
- Uniformidad del lote

Una vez realizado la recolección de la muestra como establece la NTC 756 se procedió con el respectivo análisis de humedad, cenizas, densidad y pH utilizando los diferentes equipos que se observan en el anexo A.

## 2.2 PRETRATAMIENTO DEL YACÓN

El objetivo de pre-tratar el yacón es evitar su rápida oxidación al medio ambiente ya que la molécula de yacón se convierte en azúcares simples dado que poseen un poder reductor<sup>93</sup>, se requiere una muestra que pueda ser almacenada por un periodo de tiempo sin alterar gravemente sus propiedades para llevar a cabo la producción del edulcorante, considerando que el efecto de la temperatura llega a afectar el contenido de fructooligosacáridos en consecuencia se debe mantener refrigerado.

En este proyecto se realizó un tratamiento para conservarlo con base en el artículo de Inga Guevara<sup>94</sup>, ya que es uno de los métodos menos invasivos con la materia prima como se observa en el cuadro 1, el cual plantea un calentamiento lento en agua de las porciones finamente cortadas del yacón hasta 70°C aproximadamente por 6 min como se planteaba en el artículo ya antes mencionado, luego de reducir el tamaño y ser llevado a un blanqueamiento el yacón es trasladado a un horno a 100°C durante 8 horas para ser llevada al desecador durante 30 minutos posteriormente se realiza el cálculo de humedad hasta alcanzar 3-9% para luego ser pulverizado. Se puede encontrar el procedimiento y sus respectivos cálculos en el ANEXO C.

## 2.3 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL YACÓN

Luego de realizar el pretratamiento del yacón se lleva a cabo la determinación de humedad del yacón previamente tratado y el yacón fresco con base en la "Official Methods of Analysis. A.O.A.C. 15th Edición 1990"<sup>95</sup>. Para la determinación del porcentaje de humedad se realizan 3 ensayos con el fin de aumentar la precisión de los resultados, este desarrollo se lleva a cabo bajo los parámetros establecidos por la norma. La preparación de los instrumentos, su respectivo procedimiento y cálculos se encuentra en el ANEXO D.

Los resultados obtenidos se observan en la tabla 6.

---

<sup>93</sup> PROYECTO BIOSFERA, Biosfera, 2000, disponible en: (<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/biomol/contenidos6.htm>)

<sup>94</sup> GUEVARA Marianela, BETALLUZ Indira, KINA NOBORIKAWA, Melissa; CAMPOS GUTIÉRREZ David OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE LOS FRUCTOOLIGOSACÁRIDOS DE YACÓN (*Smallantus sonchifolius*); junio 2015; p.263-22

<sup>95</sup> Official Methods of Analysis, determinaciones de humedad; A.O.A.C. 15th Edition 1990.

Tabla 6.Resultados de la determinación de humedad

<b>Ensayos</b>	<b>% Humedad yacón fresco</b>	<b>% Humedad yacón pretratado</b>
<b>1</b>	86,494	7,606
<b>2</b>	85,551	6,041
<b>3</b>	87,762	7,949

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6 se observa una gran diferencia del porcentaje de humedad del yacón fresco y pre tratado esto se debe al procedimiento realizado al yacón para evitar su pardeamiento eliminado gran porcentaje del agua contenida en la raíz. La implementación de este análisis es relevante a la hora de producir el edulcorante puesto que permite determinar la materia seca, siendo este un valor de gran importancia económica, teniendo en cuenta que un elevado contenido de humedad influye en la multiplicación de los microorganismos alterando la calidad del producto.

Considerando los resultados se realiza un análisis estadístico como se observa en la tabla 7.

Tabla 7.Análisis estadístico porcentaje de humedad

	<b>Promedio</b>	<b>Desviación</b>	<b>Error</b>
<b>% Humedad yacón fresco</b>	86,602	1,109	0,6402
<b>% Humedad yacón pretratado</b>	7,198	1,017	0,5871

Fuente: Elaboración propia

Donde los resultados indica un error admisible para poder llegar a un porcentaje de humedad promedio de 86,602%. y 7,198%. Al compáralo con lo obtenido con otros autores se relaciona el porcentaje de humedad con valores de 87,7%<sup>96</sup>; 83,56<sup>97</sup>;81,8<sup>98</sup>;6,8<sup>99</sup>.

<sup>96</sup> MUÑOZ J., Ana María; BLANCO B., Teresa; SERVÁN T., Karin; ALVARADO-ORTÍZ U., Carlos Evaluación del contenido nutricional de yacón (*Polimnia sonchifolia*) procedente de sus principales zonas de producción nacional Horizonte Médico, vol. 6, núm. 2, diciembre, 2006, p 69-73

<sup>97</sup> LÓPEZ, Diana Lizeth, valorización de la raíz del yacón, obtención de un jarabe rico en fructooligosacaridos, Revista Investigación & Desarrollo, 2008, p 11-21

<sup>98</sup> CORONADO PANTA, Angel; Elaboración de la harina de yacón (*smallanthus sonchifolius*) y su influencia en el crecimiento de dos bacterias probióticas; Trabajo de grado químico farmacéutico; lima Perú.: Universidad nacional mayor de san marco; 2013; p 71

<sup>99</sup> GUEVARA Marianela, BETALLUZ Indira, KINA NOBORIKAWA, Melissa; CAMPOS GUTIÉRREZ David OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE LOS FRUCTOOLIGOSACÁRIDOS DE YACÓN (*Smallantus sonchifolius*); junio 2015; p.263-22



Se determina los intervalos del yacón fresco y pretratado los cuales son [84,4-88,8] y [5,20-9,19] en el que su intervalo de confianza es de [85,35-87,85] y [6,05-8,35] respectivamente, este permite estimar la media poblacional.

## 2.4 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CENIZAS

El segundo análisis realizado fue la determinación de cenizas, para cuantificar los sólidos totales del yacón fresco y pretratado, el procedimiento y cálculos se puede observar en el ANEXO E, el cual está basado en la “Official Methods of Analysis. A.O.A.C. 15th Edition 1990”<sup>100</sup> dando los siguientes resultados:

Tabla 8. Porcentaje de cenizas

<b>Ensayos</b>	<b>% Cenizas totales yacón fresco</b>	<b>% Cenizas yacón pretratado</b>
<b>1</b>	0,6209	3,2732
<b>2</b>	0,4354	3,4952
<b>3</b>	0,4833	3,3345

Fuente: Elaboración propia

Al analizar los resultados de la tabla 9 se aprecia una gran diferencia en el porcentaje de cenizas totales dado que en la norma aplicada se debe considerar el contenido de humedad, puesto que el yacón fresco contiene un porcentaje alto de este a comparación con el yacón pretratado, por esta razón se observa esta discrepancia a pesar de que se toma la misma cantidad en gramos. Este estudio permite evaluar la cantidad de sustancia inorgánica en la raíz y determinar la calidad del mismo, siendo un factor de interés en la industria alimentaria.

Considerando los resultados obtenidos se lleva a cabo un análisis estadístico como se observa en la siguiente tabla 9:

Tabla 9. Análisis estadístico porcentaje de cenizas

	<b>Promedio</b>	<b>Desviación</b>	<b>Error</b>
<b>% Cenizas totales yacón fresco</b>	0,5132	0,096	0,055
<b>% Cenizas totales yacón pretratado</b>	3,367	0,115	0,066

Fuente: Elaboración propia

<sup>100</sup> Official Methods of Analysis, determinación de cenizas; A.O.A.C. 15th Edition 1990, p. 564

Los resultados obtenidos nos permiten indicar un promedio de cenizas de 0,5132 y 3,367 donde estos resultado son comparables con los presentados por diversos autores, donde esto valores son 3,04%<sup>101</sup>;3,40%<sup>102</sup>;0,3-2%<sup>103</sup>.

Se establece los diferentes intervalos del yacón fresco y pretratado los cuales son [0,33-0,70] y [3,14-3,59] con sus respectivos intervalos de confianza [0,41-0,62] y [3,24-3,50] dando así un valor estimado de la media poblacional.

## 2.5 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL YACÓN

El tercer análisis se determina la densidad de la muestra, fue basado en la norma técnica colombiana NTC 926 “Almidón de maíz y alimentos”<sup>104</sup>, se puede observar el procedimiento en el ANEXO F. Aquí se realizó el análisis físico. Se determinó esta propiedad a través de la diferencia de volumen con agua destilada en la probeta dando los siguientes resultados que se observan en la tabla 10:

Tabla 10.Densidad del Yacón

Ensayos	Densidad yacón fresco (g/mL)	Densidad yacón pretratado (g/mL)
1	1,0159	1,0081
2	1,0031	1,0096
3	1,0213	1,0032
4	1,0125	1,0095

Fuente: Elaboración propia

Este procedimiento a sí mismo como los anteriores y próximos a ejecutar son trascendentes para la realización de proyecto, efectuando diversos análisis de la variación de las propiedades de la materia prima aumentando la calidad del edulcorante.

Como se observa, la diferencia entre las dos muestras analizadas al medio ambiente no es significativa, dado a que la densidad es una propiedad intensiva de la materia que depende de la temperatura y presión. Considerando que la muestra es sólida la densidad es aproximadamente constante.

<sup>101</sup> CORONADO. Op.cit., p13

<sup>102</sup> MUÑOZ J., Ana María; BLANCO B., Teresa; SERVÁN T., Karin; ALVARADO-ORTÍZ U., Carlos Evaluación del contenido nutricional de yacón (*Polimnia sonchifolia*) procedente de sus principales zonas de producción nacional Horizonte Médico, vol. 6, núm. 2, diciembre, 2006, p 69-73

<sup>103</sup> GONZÁLES MENGONI, Henry Milton; Evaluación de la harina de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) como prebiótico en dietas de pavos de engorde; Trabajo de grado médico veterinario; Lima Perú.: Universidad nacional mayor de santos marcos; 2009; p 94.

<sup>104</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC); “Almidón de maíz y alimentos; NTC 926; Bogotá D.C;1986; p 28

A partir de los resultados obtenidos se realiza un análisis estadístico como se aprecia en la tabla 11

Tabla 11. Análisis estadístico Densidad

	Promedio	Desviación	Error
<b>Densidad yacón fresco</b>	1,0076	0,0030	0,015
<b>Densidad yacón pretratado</b>	1,0132	0,0076	0,004

Fuente: Elaboración propia

Considerando los resultados obtenidos, estos nos permiten indicar un promedio de 1,0076 (g/mL) y 1,0132 (g/mL) donde este valor es comparable con la bibliografía donde su valor es 1,32 (g/mL)<sup>105</sup>.

Se determinan los intervalos de el análisis estadístico del yacón fresco y pretratado así mismo como sus intervalos de confianza los cuales son [0,998-1,208], [1,0017-1,01348] y [1,006-1,021], [0,978-1,037] respectivamente.

## 2.6 DETERMINACIÓN DE PH EN EL YACÓN

Finalmente, al realizar los ensayos de pH, los cuales se encuentran en el anexo G, mediante el potenciómetro se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 12. pH del Yacón

Ensayos	pH yacón fresco	pH yacón pretratado
<b>1</b>	6,75	6,05
<b>2</b>	6,68	6,09
<b>3</b>	6,69	6,10
<b>4</b>	6,73	6,05

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, el yacón tiene un pH ligeramente ácido, esto debido a su característica como tubérculo, sin embargo, como se observa el valor es muy cercano a 7 el valor neutro por lo que no influye directamente en la asimilación del tubérculo en el cuerpo humano. A su vez este valor se debe tener en cuenta, para la formulación del edulcorante, para lograr una estabilización del producto. El porcentaje obtenido es similar al encontrado en la literatura y el valor es de 6,04<sup>106</sup>

<sup>105</sup> QUALITYFOOD, 2014, disponible en: (<http://www.qualityfoodperu.com/wp-content/uploads/2014/09/FT-QF-YA13-MIEL-DE-YACON-PREMIUM-35-DE-FOS.pdf>)

<sup>106</sup> CORONADO PANTA, Angel; Elaboración de la harina de yacón (*smallanthus sonchifolius*) y su influencia en el crecimiento de dos bacterias probióticas; Trabajo de grado químico farmacéutico; lima Perú.: Universidad nacional mayor de santos marcos; 2013; p 71

Al examinar los resultados se realiza el análisis estadístico como se observa en la siguiente tabla 13

Tabla 13. Estadística de pH

	Promedio	Desviación	Error
<b>pH yacón fresco</b>	6,0725	0,0262	0,0131
<b>pH yacón pretratado</b>	6,7125	0,0334	0,0167

Fuente: Elaboración propia

Se especifican los intervalos de el análisis estadístico del yacón fresco y pretratado así mismo como sus intervalos de confianza los cuales son [6,647-6,778], [6,021-6,123] y [6,679-6,745], [6,679-6,745] respectivamente.

## 2.7 DETERMINACIÓN DE FOS EN EL YACÓN

Para la determinación de FOS es necesario realizar el análisis de azúcares reductores directos (ARD) y posteriormente realizar la hidrólisis con invertasa para obtener nuevamente los (ARD)<sub>1</sub> llevando a cabo sus respectivos cálculos, esto se realizó a partir del método de Miller<sup>107</sup> como se observa en el ANEXO I en el cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 14. Resultados fructooligosacaridos (FOS)

Ensayos	FOS yacón fresco (g/mL extracto)	FOS yacón pretratado (g/mL extracto)
<b>1</b>	40,49	38,94
<b>2</b>	39,70	36,78
<b>3</b>	40,56	37,79

Fuente: Elaboración propia

Al analizar los resultados se aprecia una diferencia en el porcentaje de fructooligosacaridos dado que el porcentaje de humedad y el tiempo de almacenamiento afecta la estructura estimulando la liberación de azúcares simples por este motivo al implementar el pretratamiento disminuye el contenido de fructooligosacaridos en consecuencia se debe tener presente las condiciones de almacenamiento donde la temperatura de refrigeración debe ser de 8°C para la conservación FOS<sup>108</sup>. Este estudio está destinado al análisis de fructooligosacaridos

<sup>107</sup> Miller G. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Anal Chem. 1959: p.426-428

<sup>108</sup> BEJARANO ZAMUDIO, Daniel; Efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento sobre la concentración de fructooligosacáridos en yacón fresco (*smallanthus sonchifolius*); Trabajo de grado Ingeniería agroindustrial; lima Perú.: Universidad nacional de Trujillo; 2015; p 75

presentes en la raíz para así efectuar la hidrólisis y liberar sus azúcares determinado si el yacón es representativo para llevar a cabo la producción del edulcorante.

A partir de los resultados se lleva a cabo un análisis estadístico como se observa en la tabla 15

Tabla 15. Análisis estadísticos FOS

	Promedio	Desviación	Error
<b>FOS yacón fresco</b>	40,25	0,48	0,34
<b>FOS yacón pretratado</b>	37,9	1,08	0,76

Fuente: Elaboración propia

Al realizar el análisis estadístico del yacón fresco y pretratado se obtiene un intervalo de [39,31-41,19] y [35,78-40,02] con un intervalo de confianza igual a [39,58-40,92] y [36,41-39,39] respectivamente, el cual nos permite valorar la media poblacional.

Considerando el promedio obtenido en los dos casos es comparable con los resultados de diferentes investigaciones bibliográficas donde su valor FOS es igual a 36,7<sup>109</sup>; 55,3<sup>110</sup> estos resultados de fructooligosacaridos dependen del tiempo de almacenamiento y de cosecha del mismo por tanto estos pueden llegar a variar.

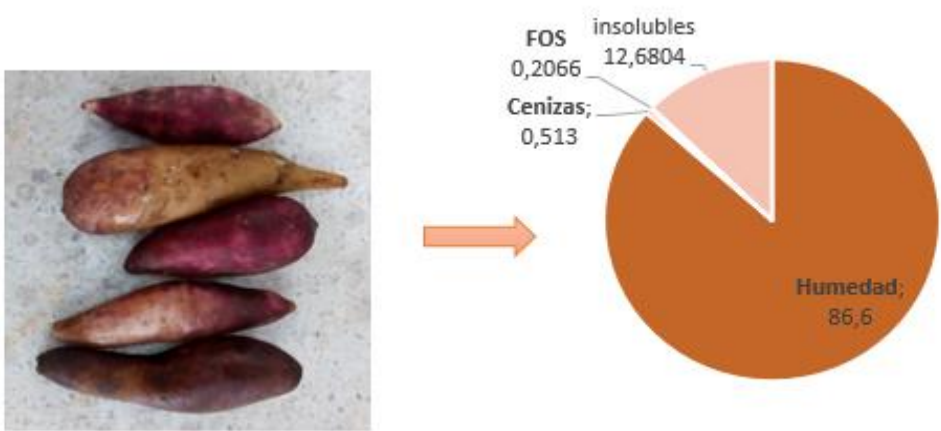
## 2.8 RESUMEN DE RESULTADOS

En este apartado se observa una síntesis de la caracterización del yacón fresco y pretratado con respecto a los análisis previamente realizados.

<sup>109</sup> GUEVARA PÉREZ, Américo; CANCINO CHÁVEZ, Keidy; LLONTOP, Gabriela; Efecto del sistema de esterilización orgánica (OSS) en las propiedades nutricionales y funcionales del yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.); Revista de la Sociedad Química del Perú; 07/2017; Tomo 83; p. 308-318

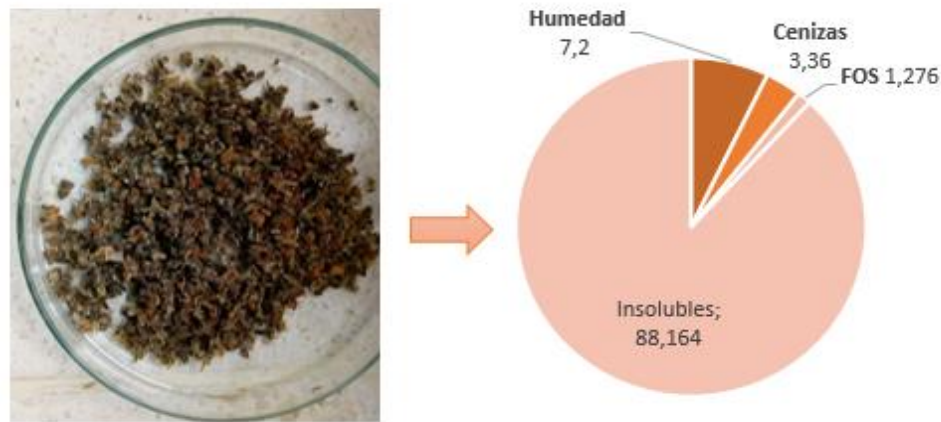
<sup>110</sup> Lobo A., Colli C., Alvares E., Filisetti, T. Effects of fructans-containing yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp&Endl.) flour on caecum mucosal morphometry, calcium and magnesium balance, and bone calcium retention in growing rats. *British Journal of Nutrition*, 2007; 97: 776–785

Grafica 3. Caracterización yacón fresca



Fuente: Elaboración propia

Grafica 4. Caracterización del yacón pretratado.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 16.Resultados de la determinación de pH y densidad

Densidad yacón fresco $\rho$	pH- del yacón fresco	Densidad yacón Pretratado $\rho$	pH-del yacón Pretratado
1,0076	6,7125	1,01323	6,0725

Fuente Elaboración propia

Finalmente, uno de los propósitos del uso de yacón como fuente principal para la obtención del edulcorante es que esta posee una gran cantidad de inulina en comparación con el esparrago, banano y centeno<sup>111</sup> que pueden ser hidrolizados para obtener azúcares simples principalmente fructosa, además de ser un tubérculo muy económico en comparación con otros alimentos.

Este capítulo es clave porque se consideran las propiedades analizadas como un factor importante para llevar un control a la hora de elaborar el edulcorante; no obstante un gran número de propiedades no se estudiaron debido a que no son influyentes para el análisis de este, teniendo en cuenta la observación de las variables de concentración de fructooligosacaridos que es un componente principal del yacón y la concentraciones de los agentes hidrolizantes usados en este proyecto.

<sup>111</sup> MADRIGAL, Lorena; La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales; vol. 57, num. 4, Caracas, diciembre 2007, p 387-396

### 3. PRODUCCIÓN DE UN EDULCORANTE A BASE DE YACÓN

En este capítulo se muestra la etapa experimental para la producción de edulcorante a base de yacón, basándonos en un diseño de experimentos  $2^3$  que se explicará en el apartado 3.1, aquí se muestran los criterios de selección de los parámetros de operación, los factores, niveles y los diversos aspectos para su desarrollo a partir de los resultados obtenidos en la etapa anterior. Este método radica en seleccionar la formulación más adecuada para la ejecución y la obtención del edulcorante considerando las propiedades que se evaluaron en la caracterización.

#### 3.1 DEFINICIÓN DE LOS DIFERENTES PARÁMETROS PARA EL DESARROLLO DEL EDULCORANTE

Para la ejecución del diseño experimental se hace uso de los niveles fijos y un conjunto de variables, llevando a cabo la parte experimental con sus respectivas combinaciones con el fin de reducir el error. Teniendo en cuenta lo anterior se plantea un diseño de experimentos  $2^k * j$  que permite determinar si los factores a evaluar actúan de manera independiente o interaccionan entre sí, de esta manera obtener la combinación más acertada para producción del edulcorante, en este caso se realizará un diseño  $2^3 * 3$ , son 2 factores (Alto y bajo), con 3 niveles (tipo de ácido, concentraciones y temperaturas) y 3 réplicas.

Para la selección de estos niveles se realizó una investigación bibliográfica donde se obtuvieron los mejores resultados con el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 97% pH 2, tiempo (39 min) y temperatura ( $88,4^\circ C$ )<sup>112</sup> y con ácido clorhídrico (HCl) pH 3, tiempo (30 min) y temperatura ( $70^\circ C$ )<sup>113</sup> obteniendo valores de fructosa de 9,11g Fructosa/L y 72,53% respectivamente, considerando lo anterior se ejecutó una pre-experimentación con los valores expuestos por los diferentes autores; para determinar si la cantidad es aceptable para la producción del edulcorante el procedimiento y cálculos llevados a cabo se encuentra en ANEXO P, se realiza una curva de calibración como se muestra en la gráfica 5, obteniéndose los siguientes resultados de furfurales.

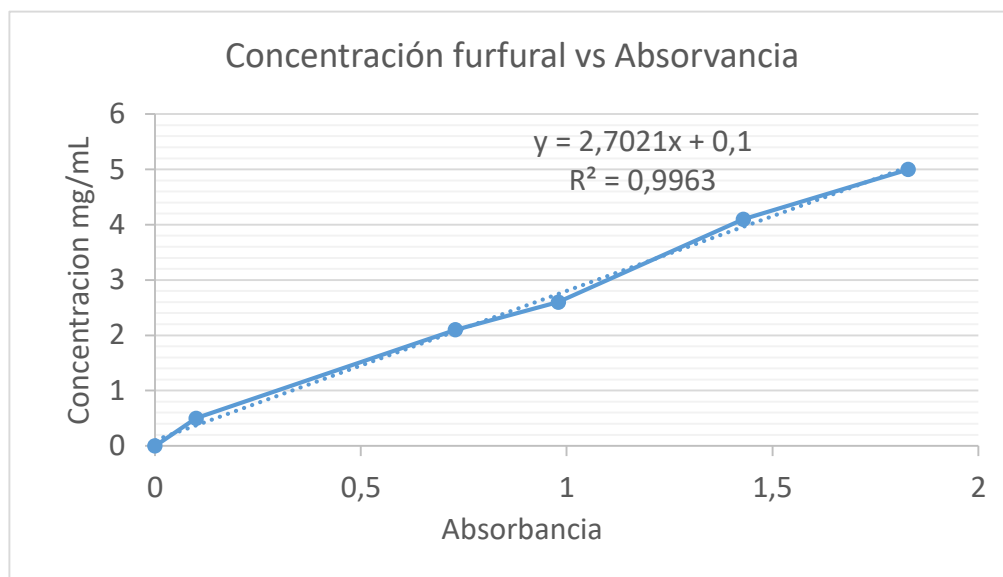
---

<sup>112</sup> CHIRINOS, Rosana; MENDOZAA, Rocío; AGUILAR, Ana; Gálveza; CAMPOS David; HIDRÓLISIS QUÍMICA Y ENZIMÁTICA DE EXTRACTO DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) PARA LA PRODUCCIÓN DE FRUCTOSA; Revista sociedad química de Perú; vol. 83, núm. 2, abril-junio, 2017, p. 200-212

<sup>113</sup> MONTAÑEZ SOTO, José; VENEGAS GONZÁLEZ, José; VIVAR, María; RAMOS, Emma; EXTRACCIÓN, CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS FRUCTANOS CONTENIDOS EN LA CABEZA Y EN LAS HOJAS DEL Agave tequilana Weber AZUL; Revista Bioagro, vol. 23, núm. 3, septiembre-diciembre, 2011, pp. 199-206



Grafica 5. Concentración Furfural vs Absorbancia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Concentración de furfurales a 97%

Ensayos 97%	X ( g/mL extracto)
1	4,512
2	4,897
3	4,746

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Concentración de furfurales a 37%

Ensayos 37%	X ( g/mL extracto)
1	1,312
2	1,384
3	1,353

Fuente: Elaboración propia

A partir de la tabla 17 y 18 se puede observar que el contenido de furfurales es superior al nivel máximo, el cual es de  $[0 - 4]g^{114}$  por lo tanto se decide disminuir la concentración de los ácidos tomando como valor superior de 37% e inferior 27%, esto debido a que para el ácido clorhídrico la mayor pureza a la que se encuentra es de 37% y para que el diseño experimental sea coherente, ambos ácidos se trabajaron a este porcentaje de pureza el cual es el máximo, además se tomó un valor de 10% por debajo para hallar el valor mínimo.

Se decide tomar el tiempo superior de 45 minutos y el inferior de 25 minutos con respecto a estos 2 tipos de ácidos basándonos en los tiempos que generaron mejores resultados en la investigación bibliográfica los cuales fueron de 30min<sup>115</sup> y 39 min<sup>116</sup> tomando el promedio de este y así asignado el 10% para el valor máximo y mínimo. Teniendo en cuenta lo anterior se lleva a cabo el diseño de experimentos como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19. Diseño experimental Factores y Niveles

NIVELES	DESCRIPCIÓN	NIVEL
A	Tipos de ácidos	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
		HCl
B	Concentración	37%
		27%
C	Tiempo	45 min
		25 min

Fuente: Elaboración propia

<sup>114</sup> Metrólogos Asociados, Pruebas Colorimétricas para Asegurar la Calidad de alimentos y Tequila, 2011-enero en línea ([http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-11-01-Colorimetria\\_Tequila.pdf](http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-11-01-Colorimetria_Tequila.pdf))

<sup>115</sup> MONTAÑEZ SOTO, José; VENEGAS GONZÁLEZ, José; VIVAR, María; RAMOS, Emma; EXTRACCIÓN, CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS FRUCTANOS CONTENIDOS EN LA CABEZA Y EN LAS HOJAS DEL Agave tequilana Weber AZUL; Revista Bioagro, vol. 23, núm. 3, septiembre-diciembre, 2011, pp. 199-206

<sup>116</sup> CHIRINOS, Rosana; MENDOZAA, Rocío; AGUILAR, Ana; Gálveza; CAMPOS David; HIDRÓLISIS QUÍMICA Y ENZIMÁTICA DE EXTRACTO DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) PARA LA PRODUCCIÓN DE FRUCTOSA; Revista sociedad química de Perú; vol. 83, núm. 2, abril-junio, 2017, p. 200-212

Para llevar a cabo la experimentación se toma como materia prima el yacón previamente tratado puesto que se requiere evitar su oxidación para posteriormente ser almacenado, luego esta materia prima es llevada a las condiciones preestablecidas por el diseño de experimentos donde se ejecutarán 3 réplicas correspondientes a cada ensayo, teniendo en cuenta lo anterior se obtiene un total de 8 ensayos experimentales llevando a cabo 3 réplicas para la “obtención del edulcorante” Los cálculos respectivos se encuentran en el ANEXO H. A continuación, se muestran los parámetros utilizados en el diseño experimental:

Cuadro 6. Parámetros para el diseño experimental

Variables dependientes	extracto de yacón relación (1:1) Temperatura 87°C
Variables independientes o factores	Ácidos a evaluar: HCl y H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Concentración de los ácidos [37%-27%] Variación tiempo [25-45] min
Niveles	2 (Alto-Bajo)
Factores ( <i>k</i> )	3 (Ácido, concentración y tiempo)
Réplicas	3
Tratamientos	2 <sup>3</sup> = 8
Total de ensayos ( <i>n</i> )	24
Hipótesis nula (H <sub>0</sub> )	El factor NO afecta la variable de respuesta
Hipótesis alterna (H <sub>i</sub> )	El factor SI afecta la variable de respuesta
Variable de respuesta	Cantidad de Fructosa

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior presenta cuales son las variables necesarias para desarrollar un diseño de experimentos, cada una de éstas se obtiene del diseño planteado para el método de Contrastes el cual se encuentra en el libro de Diseño y análisis de experimentos por Douglas C. Montgomery, en donde establece las hipótesis que se quieren comprobar, cuales son las variables tanto dependientes como independientes, y los factores y niveles.

Teniendo en cuenta lo anterior se inicia con el planteamiento del método de contrastes el cual es ideal para comparar las diferentes variables y sus combinaciones que pueden afectar el proceso a evaluar, para ello se inicia con la cantidad de ensayos requeridos  $2^3 = 8$  ilustrando en la tabla cada una de las combinaciones posibles de los tres niveles, combinando su valor alto y bajo, además se completa con tres columnas que plantea el método de contrastes para este diseño<sup>117</sup>

Tabla 20. Diseño de experimento contrastes

	Agente Hidrolizante	Concentración (% p/p)	Tiempo (min)	A	B	C
1	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	37	25	-1	-1	-1
2	HCl	37	25	1	-1	-1
3	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	27	25	-1	1	-1
4	HCl	27	25	1	1	-1
5	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	37	45	-1	-1	1
6	HCl	37	45	1	-1	1
7	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	27	45	-1	1	1
8	HCl	27	45	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

Para hallar los contrastes, se realiza una nueva tabla donde se muestre la multiplicación de cada uno de los datos con cada uno positivo o negativo que corresponda a su ubicación logrando las 7 interacciones (A, B, C, AB, AC, BC, ABC) entre los 8 tratamientos con el fin de obtener una suma de los contrastes por cada interacción como se muestra en la tabla 21.

Es necesario hacer una suma de cuadrados, la cual se realizó con la siguiente operación:

$$SC = \frac{CONTRASTES^2}{n * 2^3}$$

Para los efectos estimados:

$$EE = \frac{CONTRASTES}{n * 2^3}$$

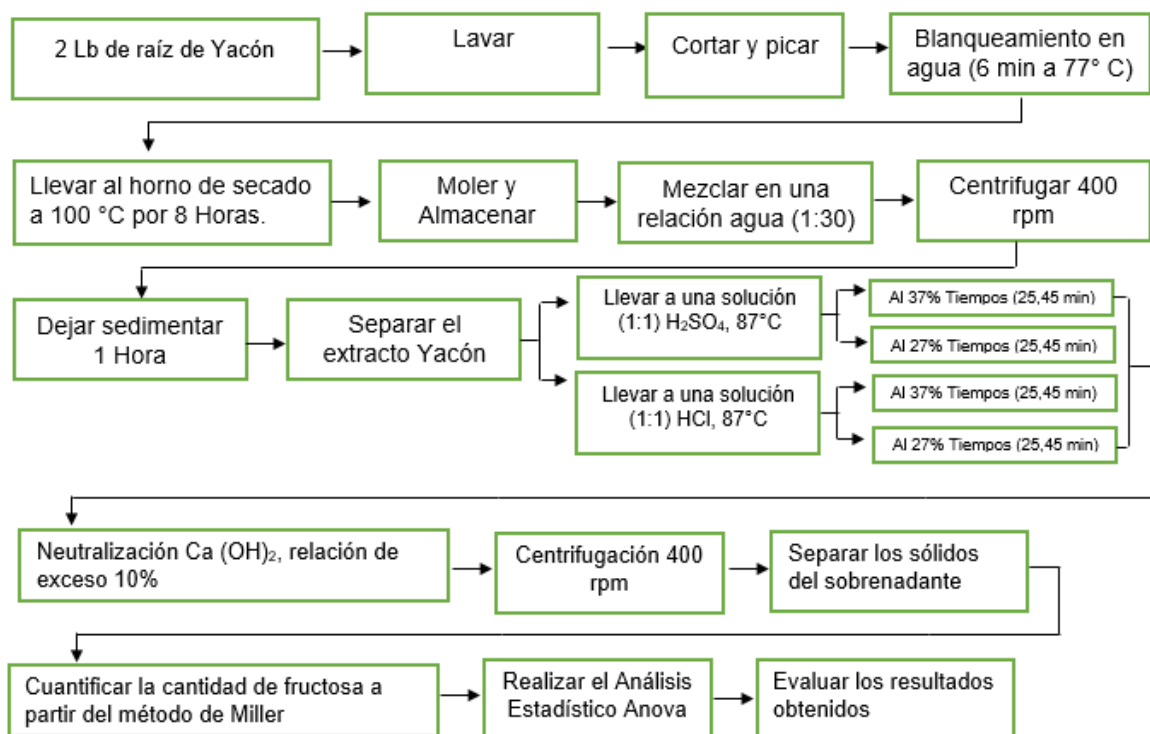
Al obtener estos datos, se procede con el Análisis de varianza ANOVA en el cual se ubican la suma de cuadrados, los grados de libertad (#niveles-1), cuadrados medios (suma de cuadrados/Grados de libertad), el valor F (cuadrado medio/ error) y por último la Probabilidad o valor P el cual se calcula tanto en Excel, con la fórmula de distribución F, como en el programa de análisis estadístico MiniTab

<sup>117</sup> MONTGOMERY, Douglas. Diseño y análisis de experimentos. 2ed. Arizona. Limusa Wiley, 2004. 692 p.

### 3.2 OBTENCIÓN DEL EDULCORANTE

En esta sección se explica el procedimiento que se llevó a cabo para la producción del edulcorante a base de yacón a partir de la hidrólisis ácida con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y clorhídrico (HCl) esto con el fin de romper el enlace  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 2) de la inulina y liberar los azúcares simples donde el procedimiento experimental se muestra en el siguiente diagrama.

**Diagrama 1.** Diagrama de bloques “Experimentación a base de Yacón para la obtención del edulcorante”

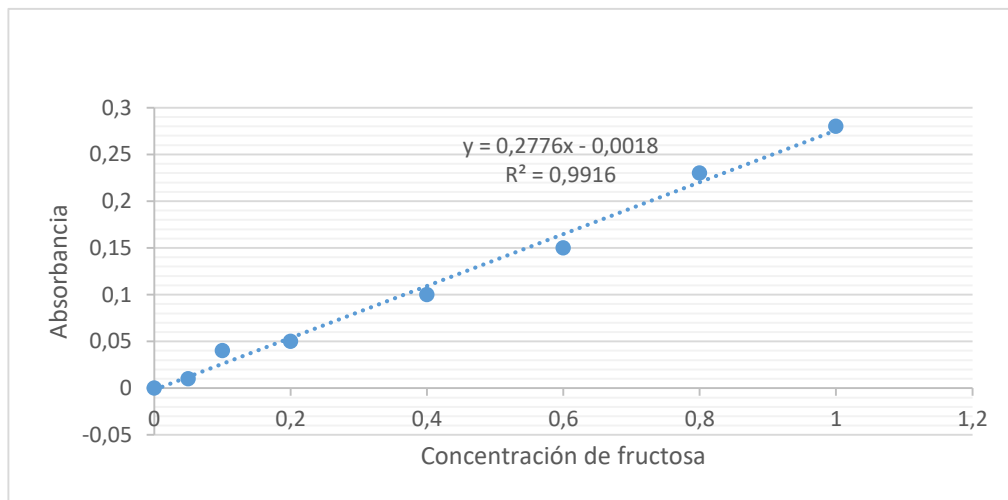


Fuente: Elaboración propia

En el diagrama anterior se observa el procedimiento ejecutado del diseño de experimentos con el fin de determinar si los factores son independientes o interaccionan entre sí teniendo como variable de respuesta la cantidad de fructosa puesto que es el azúcar simple de mayor cantidad en la raíz siendo este un edulcorante alternativo de la sacarosa, para llevar a cabo el procedimiento se utiliza el extracto del yacón y como agentes hidrólizantes el ácido sulfúrico y clorhídrico al 37% y 27% con tiempos de reacción de 25 minutos y 45 minutos a una temperatura constante de 87°C tomando una relación (1:1) de extracto de yacón con respecto al ácido, posteriormente se neutraliza con hidróxido de calcio ( $Ca(OH)_2$ ) con una relación de exceso del 10% después es llevado a un evaporador donde el sulfato de calcio ( $CaSO_4$ ) al ser un sólido se separa del sobrenadante, se procede a realizar la cuantificación de fructosa presente en los diferentes ensayos y replicas a partir

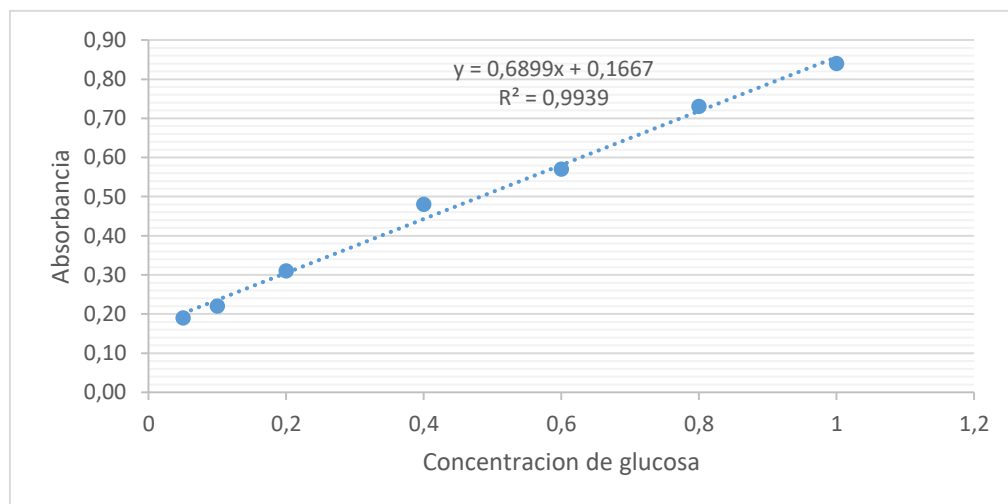
del método de Miller<sup>118</sup>, este consta en determinar sus azúcares Azúcares reductores totales (ART) y glucosa total (G<sub>T</sub>). El primer paso para la cuantificación es realizar las curvas de calibración de fructosa y glucosa donde los procedimientos se encuentran en el ANEXO J y ANEXO L respectivamente, obteniendo las gráficas 6 y 7.

Grafica 6. Absorbancia vs concentración de fructosa



Fuente: Elaboración propia

Grafica 7. Absorbancia vs concentración de glucosa



Fuente: Elaboración propia

<sup>118</sup> Miller G. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Anal Chem. 1959: p.426-428

Para la obtención de los azúcares reductores totales (ART) se debe tomar extracto de yacón con el indicador 3,5-dinitrosalicílico (DNS) para posteriormente leer su absorbancia en un espectrofotómetro a 540nm y obtener su concentración a partir de la ecuación de la gráfica 6 el procedimiento se encuentra especificado en el ANEXO K, los resultados se muestran en la tabla 21

Tabla 21. Resultados de los azúcares reductores totales (ART) en (g/mL extracto)

REPLICAS		
I	II	III
0,0115	0,0119	0,0108
0,0086	0,0083	0,0086
0,0085	0,0084	0,0086
0,0076	0,0079	0,0076
0,0087	0,0084	0,0084
0,0080	0,0084	0,0083
0,0086	0,0088	0,0086
0,0079	0,0083	0,0079

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados obtenidos de azúcares reductores totales (ART) es necesario obtener la glucosa total ( $G_t$ ) de la muestra puesto que las ecuaciones establecidas de método de Miller indican que para obtener la fructosa total se debe realizar lo siguiente ( $F_t$ ) = ART- $G_t$ . Teniendo en cuenta lo anterior se debe tomar extracto de yacón con el indicador 4-aminofenol para posteriormente leer su absorbancia en un espectrofotómetro a 540 nm y obtener su concentración a partir de la ecuación de la gráfica 7 el procedimiento se encuentra especificado en el ANEXO M, los resultados obtenidos se encuentran en la tabla 22

Tabla 22. Resultados de glucosa total ( $G_t$ ) en (g/mL extracto)

REPLICAS		
I	II	III
0,0030	0,0033	0,0025
0,0029	0,0023	0,0028
0,0020	0,0022	0,0023
0,0036	0,0039	0,0035
0,0016	0,0012	0,0009
0,0035	0,0041	0,0038
0,0007	0,0012	0,0009
0,0028	0,0032	0,0030

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados obtenidos de glucosa total y azúcares reductores totales se obtiene la fructosa total de los diferentes ensayos, observándose los resultados en la tabla 22. Al ejecutar la parte experimental se puede considerar tratamientos posteriores como concentrar el edulcorante a partir de un evaporador.

### 3.3 RESULTADOS DISEÑO EXPERIMENTAL

Mediante la realización de todos los tratamientos se obtuvieron los datos de la cantidad de fructosa, teniendo en cuenta que se evaluaron 3 factores (el ácido, la concentración y el tiempo) cada uno de estos con un nivel superior e inferior, además realizaron 3 réplicas de cada combinación.

En la siguiente tabla se observará los resultados de la evaluación de cada una de las combinaciones y las tres réplicas que se realizaron, la columna siguiente muestra la sumatoria por fila de las tres réplicas:

Tabla 23. Resultados de cada una de las réplicas de la experimentación (g/ml de extracto)

	REPLICAS			
I	II	III	SUMA DE REPLICAS	
0,0085	0,0086	0,0083	0,0254	
0,0057	0,006	0,0059	0,0176	
0,0071	0,0073	0,0075	0,0219	
0,0045	0,0043	0,0045	0,0133	
0,0079	0,0076	0,0077	0,0232	
0,0052	0,0051	0,0049	0,0152	
0,0065	0,0063	0,0062	0,019	
0,0039	0,004	0,0042	0,0121	

Fuente: Elaboración propia, basada en análisis del método 2<sup>k</sup> 119

De la tabla anterior se puede observar que la sumatoria más alta se obtuvo en la primera experimentación con un 0,0254 g/ml de extracto en promedio para las tres réplicas. Con cada uno de estos valores y teniendo en cuenta la ubicación de cada uno de los números (+1 y -1) en cada una de las columnas A, B y C de la tabla 19 se realiza la siguiente tabla, con las 7 combinaciones (columnas) que establece el método de contrastes al multiplicar el  $\pm 1$  según corresponda con cada sumatoria de las réplicas:

<sup>119</sup> MONTGOMERY, Douglas. Diseño y análisis de experimentos. 2ed. Arizona. Limusa Wiley, 2004. 692 p.



Tabla 24. Contrastes del diseño experimental

<b>CONTRASTES</b>							
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>AB</b>	<b>AC</b>	<b>BC</b>	<b>ABC</b>
	-0,0254	-0,0254	-0,0254	0,0254	0,0254	0,0254	-0,0254
	0,0176	-0,0176	-0,0176	-0,0176	-0,0176	0,0176	0,0176
	-0,0219	0,0219	-0,0219	-0,0219	0,0219	-0,022	0,0219
	0,0133	0,0133	-0,0133	0,0133	-0,0133	-0,013	-0,0133
	-0,0232	-0,0232	0,0232	0,0232	-0,0232	-0,023	0,0232
	0,0152	-0,0152	0,0152	-0,0152	0,0152	-0,015	-0,0152
	-0,019	0,019	0,019	-0,019	-0,019	0,019	-0,019
	0,0121	0,0121	0,0121	0,0121	0,0121	0,0121	0,0121
<b>CONTRASTES</b>	-0,0313	-0,0151	-0,0087	0,0003	0,0015	0,0005	0,0019
<b>SUMA DE CUADRADOS</b>	4,08E-05	9,5E-06	3,2E-06	3,75E-09	9,4E-08	1E-08	1,5E-07
<b>EFFECTOS ESTIMADOS</b>	-0,00261	-0,00126	-0,00073	2,5E-05	0,00013	4E-05	0,00016

Fuente: Elaboración propia, basada en análisis del método de Contrastes<sup>120</sup>

En la tabla anterior, la fila de contrastes es la suma de cada columna en donde la primera combinación A presenta el valor con mayor diferencia respecto al valor de cero. Con los valores de los contrastes se halla la suma de cuadrados para cada combinación de acuerdo con la fórmula antes planteada encontrando que los valores AB, AC, BC, y ABC presentan los valores más pequeños, por último y de acuerdo con la fórmula ya presentada para los efectos estimados se determina que el valor negativo más grande es el de -0,00261. Para finalmente realizar el análisis ANOVA de este experimento se realiza la siguiente tabla la cual resume los resultados antes obtenidos y establece las nuevas variables a analizar en este diseño:

<sup>120</sup> MONTGOMERY, Douglas. Diseño y análisis de experimentos. 2ed. Arizona. Limusa Wiley, 2004. 692 p.

Tabla 25. Análisis de varianza ANOVA

<b>Análisis de Varianza ANOVA</b>					
<b>ORIGEN DE LAS VARIACIONES</b>	<b>SUMA DE CUADRADOS</b>	<b>GRADOS DE LIBERTAD</b>	<b>CUADRADOS MEDIOS</b>	<b>F</b>	<b>PROBABILIDAD valor P</b>
<b>A</b>	4,08204E-05	1	4,08204E-05	1689,121	<b>1,1853E-17</b>
<b>B</b>	9,50042E-06	1	9,50042E-06	393,121	1,0938E-12
<b>C</b>	3,15375E-06	1	3,15375E-06	130,500	4,1837E-09
<b>AB</b>	3,75E-09	1	3,75E-09	0,155	0,69884083
<b>AC</b>	9,375E-08	1	9,375E-08	3,879	0,06644973
<b>BC</b>	1,04167E-08	1	1,04167E-08	0,431	0,52081331
<b>ABC</b>	1,50417E-07	1	1,50417E-07	6,224	0,02392206
<b>Error</b>	3,86667E-07	16	2,41667E-08		
<b>TOTAL</b>	<b>5,41196E-05</b>	<b>23</b>			

Fuente: Elaboración propia

Las nuevas variables que establece este análisis de varianza establece un valor de cuadrados medios el cual resulta de la división de cada suma de C. entre cada grado de libertad, además propone el hallazgo de la variable F la cual proviene de la división de cada cuadrado medio sobre el error de dicha columna, finalmente se determina el valor de P, el cual se obtiene mediante la fórmula “DISTR.F.CD” en Excel que utiliza los valores de grados de libertad y los valores de F.

De acuerdo con todo lo anterior, se compara el valor P obtenido en la última columna con el nivel de significancia  $\alpha=0.05$ , dando como resultado lo siguiente:

Tabla 26. Condiciones para aceptar la hipótesis

$P < \alpha$	<b>Se rechaza la hipótesis nula (<math>H_0</math>) y se acepta la hipótesis alterna (<math>H_i</math>)</b>
$P > \alpha$	Se Acepta la hipótesis nula ( $H_0$ )
Hipótesis nula ( $H_0$ )	El factor NO afecta la variable de respuesta
Hipótesis alterna ( $H_i$ )	El factor SI afecta la variable de respuesta

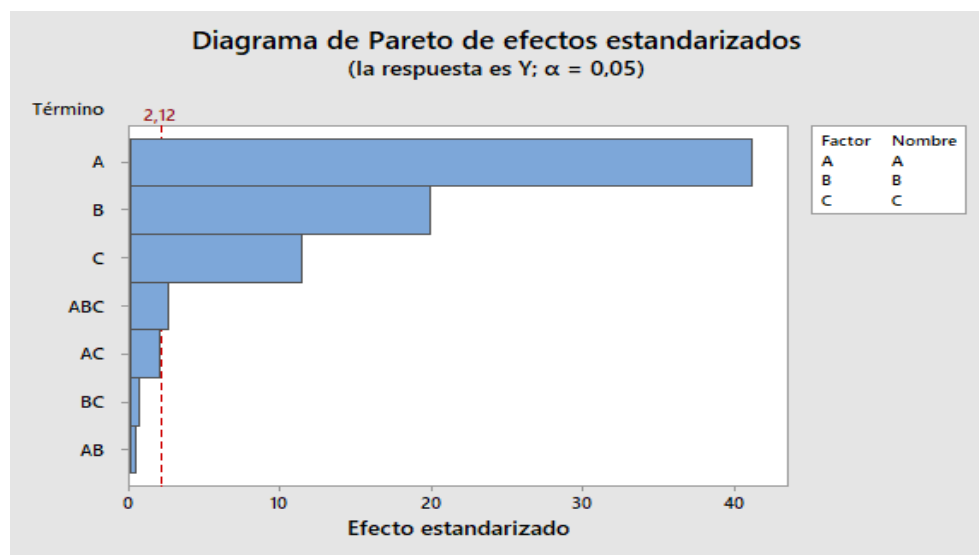
Fuente: Elaboración propia, basada en análisis del método de Contrastes<sup>121</sup>

<sup>121</sup> MONTGOMERY, Douglas. Diseño y análisis de experimentos. 2ed. Arizona. Limusa Wiley, 2004. 692 p.

Es decir, que para los valores de la interacción AB, AC y BC se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ), la cual dice que la combinación de estos factores NO afecta la variable de respuesta debido a que los valores de P en estos son mayores que  $\alpha=0.05$ , por tanto, al combinar el ácido con la concentración o el tiempo, no son de gran importancia para aumentar la obtención de fructosa.

Para determinar cuál de las interacciones que obtuvieron un valor de P menor al nivel de significancia  $\alpha$  se utilizó la herramienta de Minitab en la cual los resultados obtenidos fueron muy similares al de Excel como se observa con mayor detalle en el ANEXO L:

Grafica 8. Diseño experimental Minitab



Fuente: Elaboración propia, Minitab

El programa miniTab realiza un diagrama en donde compara la interacción de cada una de las combinaciones realizadas, al comparar los valores de P con el valor de significancia, con ello se establece un valor de 2.12 el cual es el valor crítico en donde los valores superiores a este si pueden afectar el proceso que se está evaluando, la obtención de fructosa a partir del yacón. En la gráfica 6, el resultado del diagrama Pareto del programa MiniTab se puede observar que el nivel de A, es decir, el tipo de ácido utilizado, es el que tiene un mayor efecto en la variable de respuesta (cantidad de fructosa) pues su valor es muy superior al punto crítico (2.12).

De acuerdo con lo anterior, si el nivel A (tipo de ácido) es el que más afecta la producción de fructosa, se realiza un análisis del promedio de cada una de las tres réplicas este nivel A y así determinar cuál de los dos ácidos (sulfúrico o clorhídrico) presentó una mayor producción de fructosa, por lo tanto, el ácido que más influye

en la reacción de hidrólisis es el Ácido Sulfúrico con un promedio de 0.00745 g fructosa/mL extracto frente a un 0.00485 g fructosa/mL extracto.

En este capítulo se procede a cuantificar la fructosa de los diferentes ensayos, teniendo en cuenta lo anterior se opta por aquel que tenga la mayor cantidad de fructosa considerando que la fructosa tiene un poder edulcorante 1,7 veces mayor que el de la sacarosa<sup>122</sup> este es muy utilizado a nivel industrial especialmente en el sector de alimentos cuando se requiere un endulzado intenso o eliminar o disminuir otro tipo de edulcorantes .

Finalmente, en base a lo presentado en este capítulo y con los resultados obtenidos se concluye que el Ácido Sulfúrico es la sustancia que puede producir mayor cantidad de fructosa. La concentración y tiempo que se determina es de 37% y 45 min respectivamente, se toman estos datos con base a la tabla 23 donde el mejor resultado promedio es (0,00745 g/ ml de extracto) de las réplicas que trabajan con el ácido sulfúrico en que este valor es menor al obtenido por la bibliografía que es de 9,11 g/L<sup>123</sup> puesto que la concentración del ácido sulfúrico tomado es superior, una vez determinados estos valores se diseña el proceso de obtención y los equipos para la producción de este edulcorante el cual se verá en el capítulo 4.

---

<sup>122</sup> SAGRARIO Martín, AZÚCARES Y EDULCORANTES EN LA DIETA, revista Elsevier, Madrid, vol. 20, num2, febrero 2006, p.9-83

<sup>123</sup> CHIRINOS, Rosana; MENDOZAA, Rocío; AGUILAR, Ana; Gálveza; CAMPOS David; HIDRÓLISIS QUÍMICA Y ENZIMÁTICA DE EXTRACTO DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) PARA LA PRODUCCIÓN DE FRUCTOSA; Revista sociedad química de Perú; vol. 83, núm. 2, abril-junio, 2017, p. 200-212

## 4. DISEÑO DE EXTRACCIÓN DEL EDULCORANTE A BASE DE YACÓN

En el presente capítulo se lleva a cabo un escalamiento de los resultados obtenidos en la parte experimental de la producción del edulcorante, teniendo en cuenta que la universidad militar nueva granada requiere una producción de edulcorante  $400 \frac{kg}{mes}$  para abastecer las diferentes cafeterías del campus de Cajicá-Cundinamarca, al ser esta una capacidad de producción de  $4800 \frac{kg}{año}$  y no superar la producción de  $1000000 \frac{kg}{año}$  se tomara como un proceso con operación intermitente.

Para efectuar la producción del edulcorante se debe tener presente la materia prima a utilizar y la descripción del proceso, diagrama de procesos, diseño proceso como se observa en los diagramas 3, 4 y 5 respectivamente puesto que a partir de estos y las condiciones se obtiene el balance general como se muestra en la tabla 27.

### 4.1 MATERIA PRIMA

- Raíces de yacón.

Es un tubérculo que se puede encuentra en las principales plazas de Bogotá D.C como son palo quemado y corabastos donde se requiere 57,2 Kg de yacón diarios para conseguir la demanda mensual

- Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

Considerando la producción del edulcorante se requiere que el ácido tenga una concentración del 37%. Teniendo en cuenta que es un líquido incoloro, viscoso y corrosivo.

- Hidróxido de calcio [Ca(OH)<sub>2</sub>]

Para llevar a cabo la neutralización del ácido se utilizó una concentración de 38% con una relación de exceso del 10%, teniendo en cuenta que es liquido incoloro, inodoro, no corrosivo.

- Agua del acueducto

Para efectuar la elaboración del edulcorante se utiliza el Agua proveniente del acueducto a temperatura y presión de Bogotá D.C. considerando que es un líquido inodoro, no corrosivo y no inflamable

Diagrama 2. Diagrama general del proceso

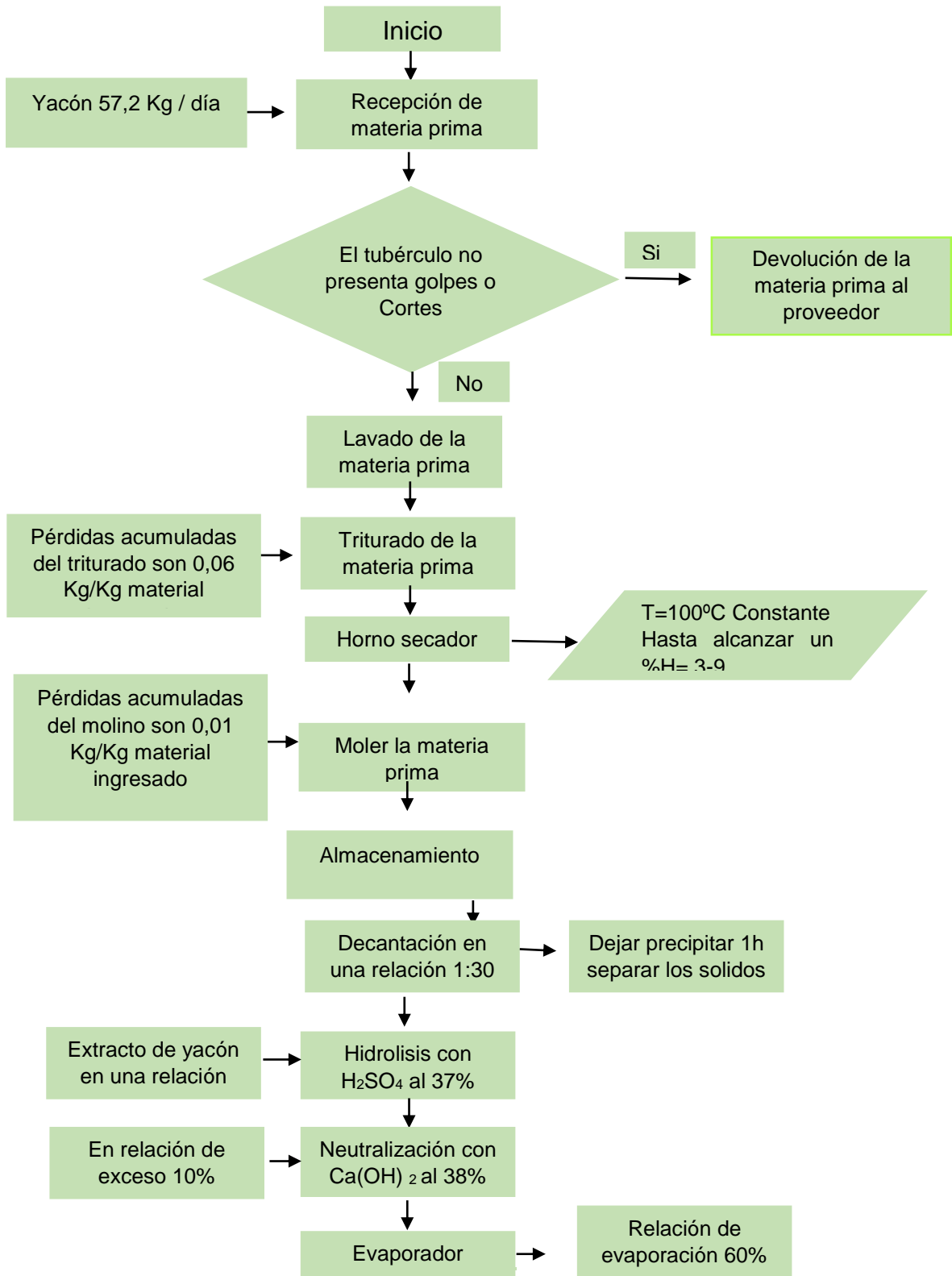
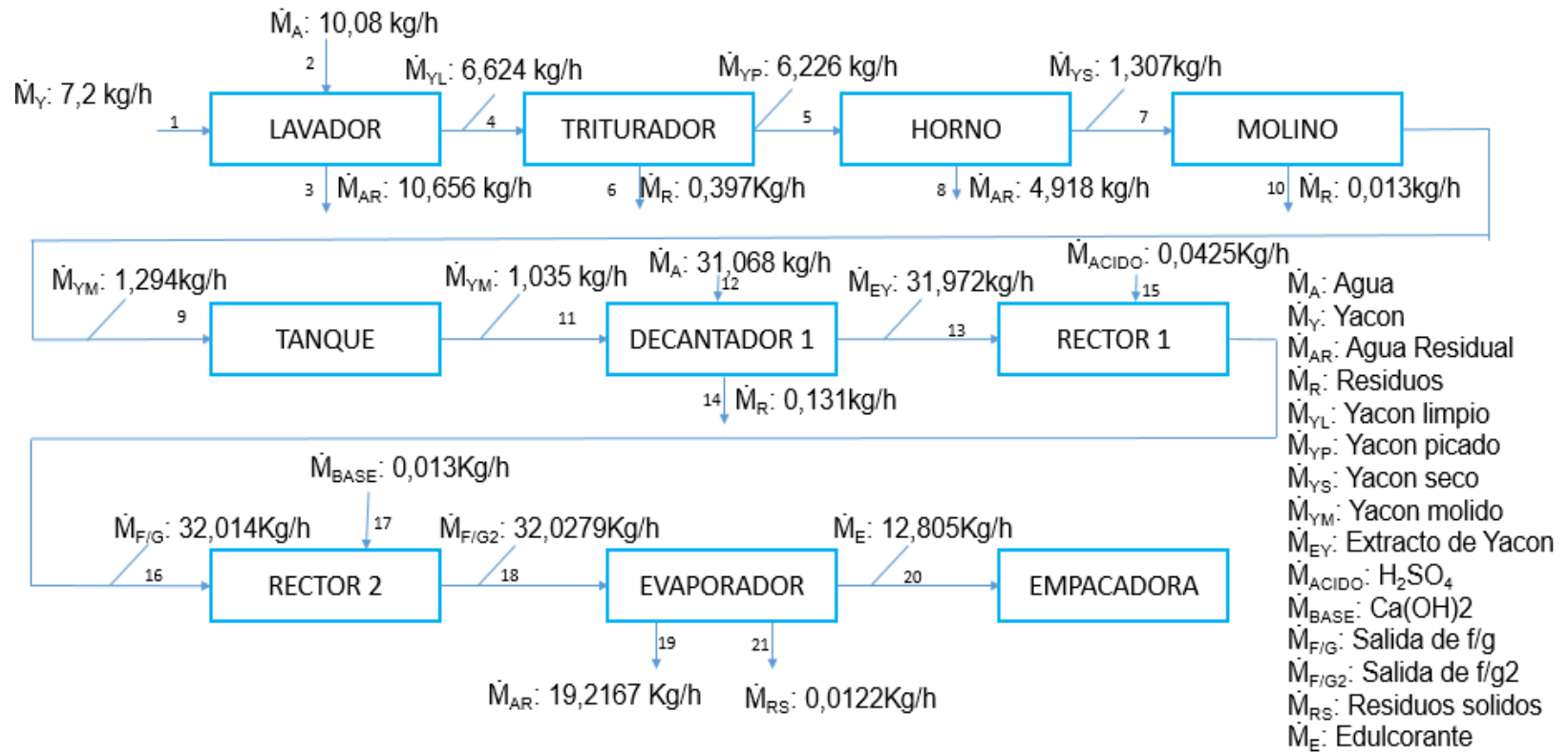
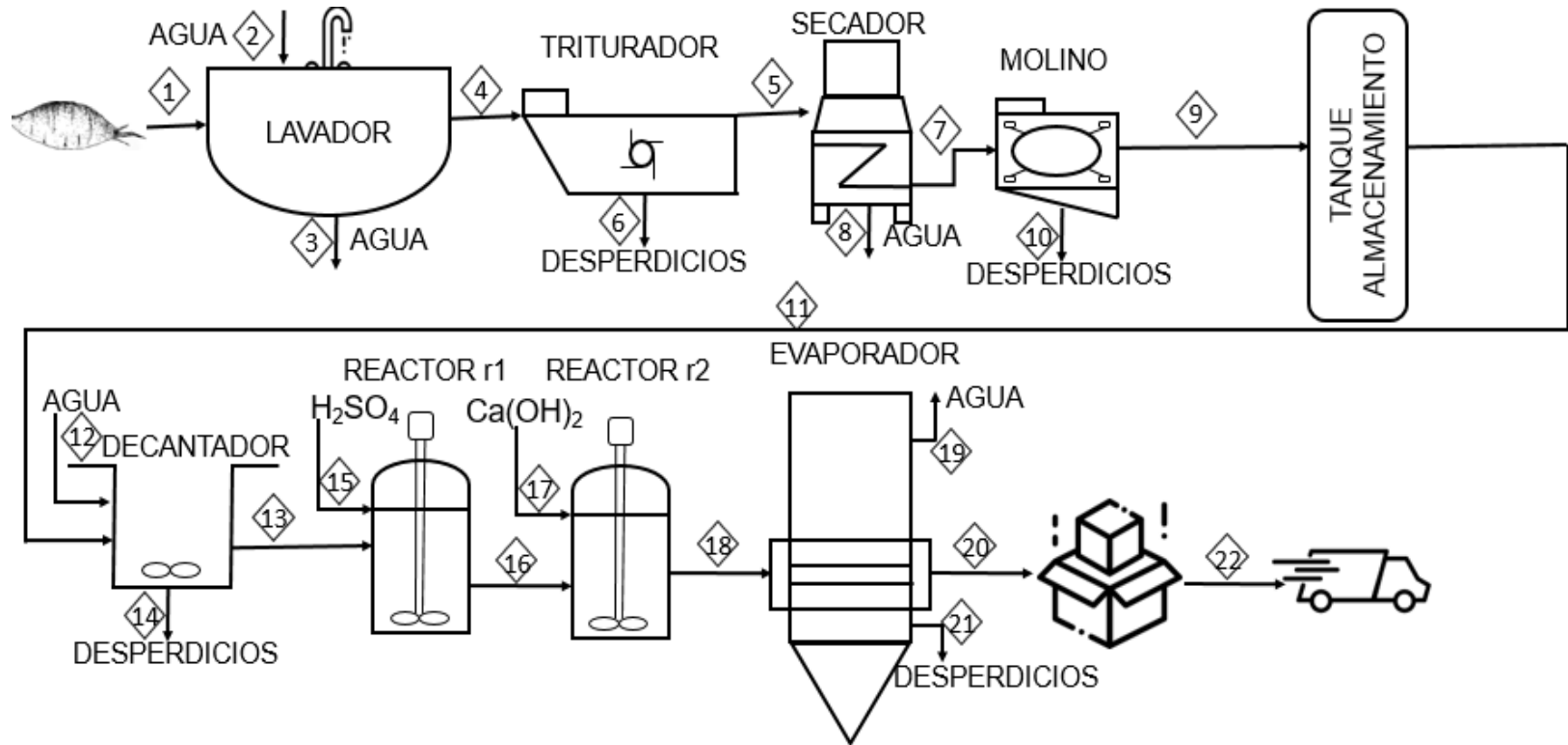


Diagrama 3. Diagrama de bloques para la obtención de edulcorante



Fuente: Elaboración propia

Diagrama 4. Diagrama de procesos.



Fuente: Elaboración propia



## Listado de corrientes

<b>N°</b>	<b>CORRIENTES</b>
<b>1</b>	YACON FRESCO
<b>2</b>	AGUA
<b>3</b>	AGUA CON RESIDUOS
<b>4</b>	YACON LIMPIO
<b>5</b>	YACON TRITURADO
<b>6</b>	RESIDUOS DEL YACON
<b>7</b>	YACON SECO
<b>8</b>	AGUA EVAPORADA
<b>9</b>	YACON MOLIDO
<b>10</b>	RESIDUOS QUE QUEDAN EN LA MAQUINA
<b>11</b>	YACON MOLIDO
<b>12</b>	AGUA
<b>13</b>	EXTRACTO DE YACON
<b>14</b>	RESIDUOS DE YACON
<b>15</b>	ACIDO SULFURICO $H_2SO_4$
<b>16</b>	FRUCTOSA, FOS, GLUCOSA Y ACIDO SULFURICO
<b>17</b>	HIDROCIDO DE CALCIO $Ca(OH)_2$
<b>18</b>	FRUCTOSA, GLUCOSA, SULFATO DE CALCIO $CaSO_4$ , HIDROCIDO DE CALCIO $Ca(OH)_2$
<b>19</b>	AGUA EVAPORADA
<b>20</b>	EDULCORANTE
<b>21</b>	RESIDUOS SOLIDOS DE SULFATO DE CALCIO $CaSO_4$

Fuente: Elaboración propia

## 4.2 BALANCE DE MATERIA GENERAL

Tabla 27. Balance de Materia General

UNIDAD 1 LAVADOR			UNIDAD 2 TRITURADOR			UNIDAD 3 SECADOR		
CORRIENTE	Balanc		CORRIENTE	Balanc		CORRIENTE	Balanc	
	e			e			e	
1	7,2	kg/h	4	6,624	kg/h	5	6,227	kg/h
2	10,1	kg/h	5	6,227	kg/h	7	1,308	kg/h
3	10,7	kg/h	6	0,397	kg/h	8	4,919	kg/h
4	6,6	kg/h						
UNIDAD 4 MOLINO			UNIDAD 5 TANQUE			UNIDAD 6 DECANTADOR		
CORRIENTE	Balanc		CORRIENTE			CORRIENTE	Balanc	
	e						e	
7	1,308	kg/h	9	1,295	kg/h	11	1,036	kg/h
9	1,295	kg/h	11	1,036	kg/h	12	31,068	kg/h
10	0,013	kg/h	Almacenamiento	0,259	kg/h	13	31,972	kg/h
						14	0,131	kg/h
UNIDAD 7 REACTOR 1			UNIDAD 8 REACTOR 2			UNIDAD 9 EVAPORADOR		
CORRIENTE	Balanc		CORRIENTE	Balanc		CORRIENTE	Balanc	
	e			e			e	
13	31,972	kg/h	16	32,015	kg/h	18	32,028	kg/h
15	0,043	kg/h	17	0,013	kg/h	19	19,217	kg/h
16	32,015	kg/h	18	32,028	kg/h	20	12,799	kg/h
Corriente	15		Corriente	17		21	0,012	kg/h

<b>FOS</b>	0,0001	kg/kgmezcl 3 a	Ca(OH)2	0,001	kg/h	Corriente	20
<b>fructosa/glucosa</b>	0,0003	kg/kgmezcl 7 a	CaSO4	0,022	kg/h	Ca(OH)2	0,001 Molar
						CaSO4	0,012 Molar
						Saturacion sulfato	0,005 Molar

Fuente: Elaboración propia

### 4.3 BALANCE DE MATERIA SECCIONADO

Para llevar a cabo la producción del edulcorante a base de yacón se debe realizar el balance de materia para producir la cantidad requerida de edulcorante por la universidad militar nueva granada que son  $400 \frac{\text{Kg Edulcorante}}{\text{mes}}$ , donde las heurísticas de diseño indican que al tener una capacidad de producción menor  $10000000 \frac{\text{Kg Edulcorante}}{\text{año}}$  se recomienda llevar a cabo un proceso con operación intermitente<sup>124</sup> en consecuencia se realizara para 4 días al mes. Se efectuará el balance de materia por equipo por cual se debe considerar ecuación general y las condiciones del proceso como se muestra en el cuadro 7y 8.

**Ecuación general:**  $Entra + (Genera - Consume) = Sale + Acumula$

Cuadro 7. Condiciones del proceso

<b>Experimental</b>	Contenido de suciedad yacón	0,1	kg/kg material de ingreso
<b>Experimental</b>	Retención de agua en el Lavado	0,02	kg/kg material de ingreso
<b>Catalogo</b>	consumo agua del equipo	1,4	kg/kg material de ingreso
<b>Experimental</b>	pérdidas acumuladas de la trituración	0,06	kg/kg material de ingreso
<b>Experimental</b>	Humedad del yacón	0,86	kg H <sub>2</sub> O/kg yacon
<b>Experimental</b>	Contenido de FOS en el yacón	0,002066	kg/kg material de ingreso
<b>Experimental</b>	Contenido de insoluble	0,126804	kg/kg material de ingreso
<b>Experimental</b>	Humedad de yacón a la salida	0,07	kg H <sub>2</sub> O/kg yacon
<b>Experimental</b>	perdidas acumuladas del Molino	0,01	kg/kg material de ingreso
<b>Bibliografia</b>	relacion agua/yacon	1:30	kg H <sub>2</sub> O/kg yacon Ingresado
<b>Experimental</b>	contenido bagazo insoluble	0,126804	kg/kg material de ingreso

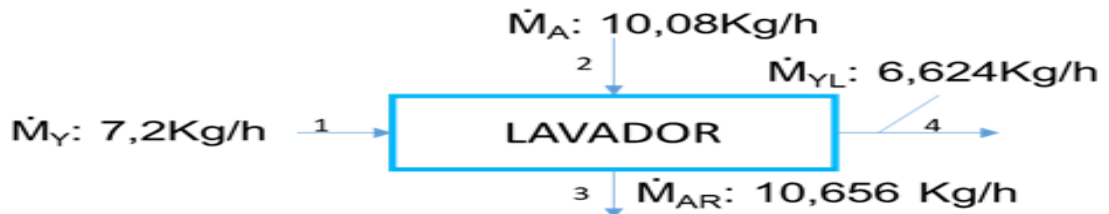
<sup>124</sup> ARCE, Enrique. Introducción al Diseño Básico de los Procesos Químicos. México D.f.30 julio 2011.p 1-188

**Cuadro 1.** Continuación de las condiciones del proceso

<b>Bibliografía</b>	Rendimiento de reacción	71,80%	Conversión
<b>Dato</b>	peso molecular FOS	162,1406	kg/Kmol
<b>Dato</b>	peso molecular fructosa	180,15588	kg/Kmol
<b>Dato</b>	peso molecular agua	18,01528	kg/Kmol
<b>Dato</b>	peso molecular acido	98,0790	kg/Kmol
<b>Dato</b>	densidad liquido	998	kg/L
<b>Dato</b>	concentración acido	37%	
<b>Dato</b>	pH de la mezcla	2	
<b>Dato</b>	Kps CaSO <sub>4</sub>	3,00E-05	
<b>Dato</b>	Relacion exceso base	10%	
<b>Dato</b>	peso molecular hidroxido Calcio	74,09268	kg/Kmol
<b>Dato</b>	peso molecular sulfato de calcio	136,1406	kg/Kmol
<b>Dato</b>	Relacion Evaporación	60%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 4. Balance del lavador



Fuente: Elaboración Propia

Para llevar a cabo el lavado del material se debe considerar el consumo de agua del equipo teniendo en cuenta el valor del catálogo de 1,4 kg/kg de material ingresado además de los datos experimentales del contenido de suciedad y la retención del agua del lavado de 0,1 kg/kg material ingreso y 0,02 kg/kg material ingreso respectivamente, teniendo en cuenta que la entrada es de 7,2 Kg/h de materia prima con el fin de eliminar impurezas antes de entrar a la trituradora, efectuando los siguientes cálculos para el balance

### Lavador:

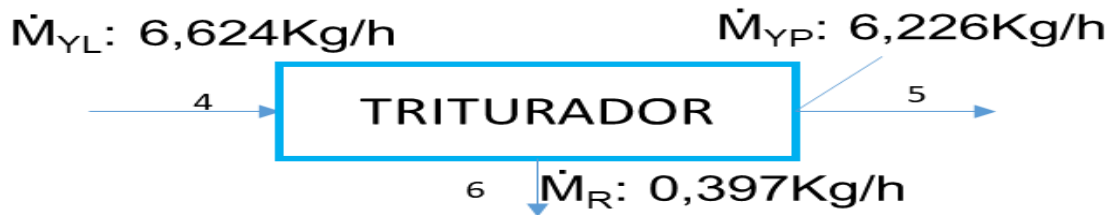
$$\dot{M}_{2A}: 1,4 \frac{kg}{kg \text{ material ingresado}} * 7,2 \frac{kg}{h} = 10,08 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{M}_{3YL}: 7,2 \frac{kg}{h} - \left( 7,2 \frac{kg}{h} * 0,1 \frac{kg}{kg \text{ material ingresado}} \right) + \left( 7,2 \frac{kg}{h} * 0,02 \frac{kg}{kg \text{ material ingresado}} \right)$$

$$\dot{M}_{3YL}: 6,624 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{M}_{AR}: \left( 7,2 \frac{kg}{h} + 10,08 \frac{kg}{h} - 6,624 \frac{kg}{h} \right) = 10,656 \frac{kg}{h}$$

### Ilustración 5. Balance Trituradora



Fuente: Elaboración Propia

A partir del lavado de la materia prima ingresan  $6,624 \frac{kg}{h}$  considerando las pérdidas acumuladas en el triturador de  $0,06 \frac{kg}{kg \text{ material ingresado}}$  en que se llevan a cabo los siguientes cálculos.

### Triturador:

$$\dot{M}_{6AR}: 6,624 \frac{kg}{h} * 0,06 \frac{kg}{kg \text{ material ingresado}} = 0,397 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{M}_{5YP}: 6,624 \frac{kg}{h} - 0,397 \frac{kg}{h} = 6,226 \frac{kg}{h}$$

Ilustración 6. Balance del secador



Fuente: Elaboración Propia

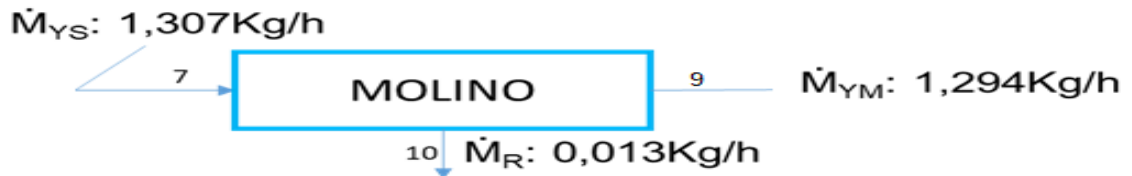
A continuación se lleva a cabo el secado de la materia prima para conservarla y evitar su rápida oxidación considerando una entrada de materia prima de  $6,226 \frac{kg}{h}$ , teniendo en cuenta los datos experimentales de humedad que son  $0,86 \frac{kgH_2O}{kg \text{ yacón}}$  y  $0,07 \frac{kgH_2O}{kg \text{ yacón}}$ , en el cual se realizan los respectivos cálculos para su balance de materia como se muestra a continuación.

**Secador:**

$$\dot{M}_{8AR}: \left( 6,226 \frac{kg}{h} * 0,86 \frac{kgH_2O}{kg \text{ yacón}} \right) - \left( 6,226 \frac{kg}{h} * 0,07 \frac{kgH_2O}{kg \text{ yacón}} \right) = 4,918 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{M}_{YS}: 6,226 \frac{kg}{h} - 4,918 \frac{kg}{h} = 1,307 \frac{kg}{h}$$

Ilustración 7. Balance del molino



Fuente: Elaboración Propia

El siguiente proceso se lleva a cabo después del secador de la materia prima para que su almacenamiento sea más manejable considerando las pérdidas acumuladas del molino  $0,01 \frac{kg}{kg \text{ material ingresado}}$ , se efectúan los siguientes cálculos para sus respectivo balance

**Molino:**

$$\dot{M}_{10R}: 1,307 \frac{kg}{h} * 0,01 \frac{kg}{kg \text{ material ingresado}} = 0,013 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{M}_{YM}: 1,307 \frac{kg}{h} - 0,013 \frac{kg}{h} = 1,294 \frac{kg}{h}$$

Ilustración 8..Balance Tanque de Almacenamiento



Fuente: Elaboración Propia

Considerando el proceso anterior se lleva a un tanque de almacenamiento donde 20% de la materia prima es guardado, en el cual entra una cantidad de  $1,294 \frac{kg}{h}$  donde se efectúan los siguientes cálculos para el balance.

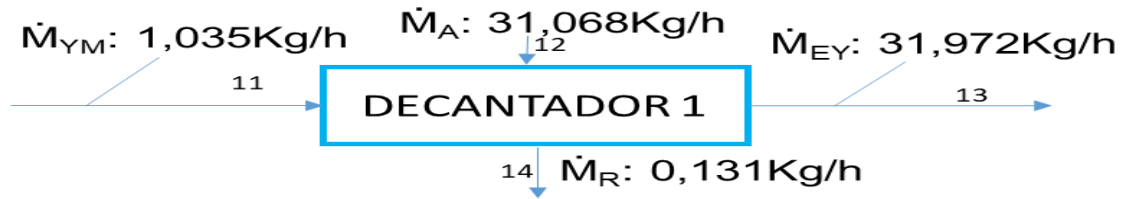
**Tanque**

$$\dot{M}_{YM}: (1,294 \frac{kg}{h} * 0,8) = 1,035 \frac{kg}{h}$$

$$\text{Tanque Almacenamiento} = ( 1,294 \frac{kg}{h} - 1,035 \frac{kg}{h} ) = 0,2589 \frac{kg}{h}$$



Ilustración 9. Balance Decantador



Fuente: Elaboración Propia

A partir del decantador obtenemos el extracto del yacón para su previa hidrólisis donde se tiene una relación de agua / yacón [ 1:30] que es tomado a partir de la investigación de Chirinos<sup>125</sup> donde se deja sedimentar por 1h para después remover los residuos, también se debe tener presente el contenido de insolubles que se calculó en la parte experimental que es de  $0,1268 \frac{kg}{kg \text{ material ingresado}}$ . Teniendo en cuenta lo anterior se llevan a cabo los respectivos cálculos.

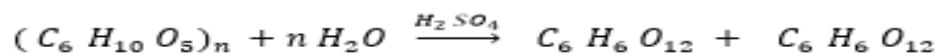
### Decantador

$$\dot{M}_A: (1,035 \frac{kg}{h} * 30) = 31,068 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{M}_R: ( 1,035 \frac{kg}{h} * 0,1268 \frac{kg}{kg \text{ material ingresado}} ) = 0,131 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{M}_{EY}: ( 1,035 \frac{kg}{h} + 31,068 \frac{kg}{h} - 0,131 \frac{kg}{h} ) = 31,972 \frac{kg}{h}$$

Ilustración 10. Balance Reactor



Fuente: Elaboración Propia

<sup>125</sup> CHIRINOS, Rosana; MENDOZAA, Rocío; AGUILAR, Ana; Gálveza; CAMPOS David; HIDRÓLISIS QUÍMICA Y ENZIMÁTICA DE EXTRACTO DE YACÓN (Smallanthus sonchifolius) PARA LA PRODUCCIÓN DE FRUCTOSA; Revista sociedad química de Perú; vol. 83, núm. 2, abril-junio, 2017, p. 200-212

El reactor es un tipo batch donde se lleva a cabo la reacción de hidrólisis con el ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) como catalizador de la reacción donde se tendrá en cuenta una conversión de 71,80% esto establecido a partir de la investigación Bibliográfica Domínguez<sup>126</sup> considerando que el ácido es diprotico con una disociación completa tomando un pH de la mezcla de 2. Considerando lo anterior se lleva a cabo los cálculos del balance del reactor.

### Reactor I

$$\dot{M}_{\text{ACIDO}}: \frac{31,972 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{\left( \frac{(0,37 * 998 \frac{\text{kg}}{\text{L}})}{\left( (98,0790 \frac{\text{kg}}{\text{Kmol}}) * \left( \frac{10^2}{2} \right) \right)} \right)^{-1}} = 0,0425 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{M}_{\text{F/G}}: ( 31,068 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 0,058 \frac{\text{kg}}{\text{h}} ) = 32,014 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

### Corriente 15

$$\text{FOS} = \frac{(1-71,8\%)*0,002066 \frac{\text{kg}}{\text{kg material ingresado}} * 7,2 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{32,030 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} =$$

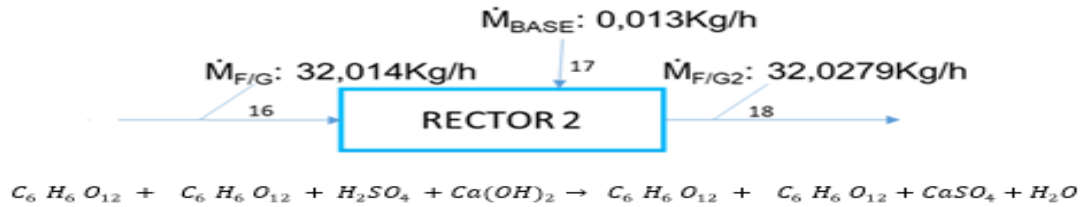
$$0,0001310 \frac{\text{kg}}{\text{kg Mezcla}}$$

$$\text{Fructosa/Glucosa} = \frac{0,002066 \frac{\text{kg}}{\text{kg material ingresado}} * 71,8\% * 180,1558 \frac{\text{kg}}{\text{Kmol}}}{162,14 \frac{\text{kg}}{\text{Kmol}} * 32,030 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} =$$

$$0,0003707 \frac{\text{kg}}{\text{kg Mezcla}}$$

<sup>126</sup> DOMINGEZ, María Magdalena. ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR SIN PRETRATAMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES. Revista iberoamericana de polímeros, vol12, Mayo 2011.p 153-159

## Ilustración 11. Balance Reactor II



Fuente: Elaboración Propia

En el reactor 2 siendo tipo batch ya que el proceso es intermitente, llevando a cabo la reacción de neutralización a partir de hidróxido de calcio  $Ca(OH)_2$  en que la heurística de diseño indica que se debe usar un exceso del reactante para consumir el reactante toxico o peligroso por consiguiente se toma un 10% del exceso de la base. Se llevan a cabo los siguientes cálculos

### Reactor II

$$\dot{M}_{BASE} = \frac{0,058 \frac{kg}{h} * 37\% * 74,09268 \frac{kg}{Kmol} * (1 + 3,00e^{-0,5})}{98,0790 \frac{kg}{Kmol}} = 0,01307 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{M}_{F/G2} = \left( 32,030 \frac{kg}{h} + 0,01307 \frac{kg}{h} \right) = 32,0279 \frac{kg}{h}$$

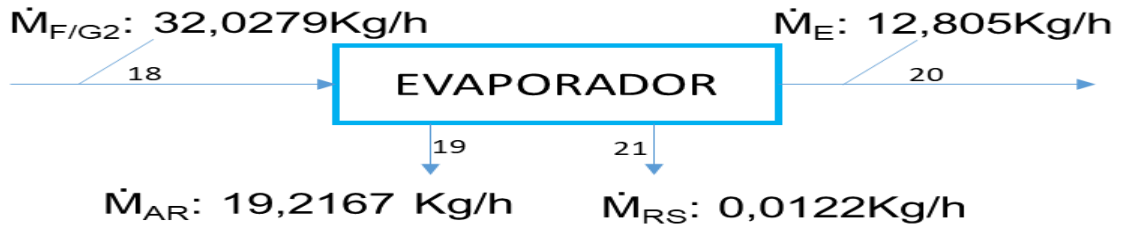
### Corriente 17:

$$Ca(OH)_2 = \left( \frac{0,01307 \frac{kg}{h}}{74,09268 \frac{kg}{Kmol}} \right) - \left( \frac{0,058 \frac{kg}{h} * 37\%}{98,0790 \frac{kg}{Kmol}} \right) * 74,09268 \frac{kg}{Kmol}$$

$$Ca(OH)_2 = 0,001188 \frac{kg}{h}$$

$$CaSO_4 = \frac{0,058 \frac{kg}{h} * 37\%}{98,0790 \frac{kg}{Kmol}} * 136,1406 \frac{kg}{Kmol} = 0,02185 \frac{kg}{h}$$

Ilustración 12. Balance Evaporador



Fuente: Elaboración Propia

A partir de lo obtenido en el reactor 2 se lleva a un evaporador para concentrar el edulcorante considerando una relación de evaporación 60% considerando la saturación del sulfato de calcio. Teniendo en cuenta lo anterior se realizan los diferentes cálculos de balance de materia.

**Evaporador**

$$\dot{M}_{AR\ 19}: ( 32,043 \frac{kg}{h} * 60\%) = 19,2262 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{M}_{RS\ 21}: \begin{cases} 0,01249M < 0,00548M \rightarrow X = 0 \\ 0,01249M > 0,00548M \rightarrow X = Fa \end{cases}$$

$$Fa = ( 0,01249M - 0,00548M ) * ( 32,028 \frac{kg}{h} - 19,217 \frac{kg}{h} ) * ( \frac{136,1406 \frac{kg}{Kmol}}{998 \frac{kg}{L}} ) = 0,01226 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{M}_{E\ 20}: ( 32,043 \frac{kg}{h} + 19,2262 \frac{kg}{h} + 0,01227 \frac{kg}{h} ) = 12,805 \frac{kg}{h}$$

**Corriente 20**

$$Ca(OH)_2 = \frac{\frac{0,0019 \frac{kg}{h}}{74,09268 \frac{kg}{Kmol}}}{\frac{12,799 \frac{kg}{h}}{998 \frac{kg}{Kmol}}} = 0,00125 \text{ molar}$$

$$\text{CaSO}_4 = \frac{\frac{0,02184 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{131,1406 \frac{\text{kg}}{\text{Kmol}}}}{\frac{32,08 \frac{\text{kg}}{\text{h}} - 19,217 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{998 \frac{\text{kg}}{\text{Kmol}}}} = 0,01249 \text{ molar}$$

$$\text{Saturación de sulfato} = \sqrt{3,00e^{-0,5}} = 0,00548$$

#### 4.4 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS

Las especificaciones de los diferentes equipos empleados en el proceso productivo para la obtención del edulcorante son los siguientes:

4.1.1 Horno deshidratado. se elige este tipo de Horno ya que la capacidad necesaria es de 50 kg al día a una temperatura constante de 100°C y este equipo cumple con los requerimientos establecidos.

- Sistema de circulación de aire de 360 grados.
- Incluye 24 bastidores extraíbles.
- Hasta 50 Kg de producto deshidratado por horneada.
- Pesa 112 libras.
- 110 voltios.
- Hasta 24 horas de trabajo continuo

4.1.2 Trituradora. se selecciona esta trituradora Se selecciona esta trituradora por el corte que realiza al tubérculo siendo un tamaño ideal para secar la materia prima además de que cumple con la capacidad requerida por hora que es de 6,624 kg/h.

- Medida de cuchilla: 12x12 cm
- Corte de 7 X 7 mm
- Cuchilla cambiabile manualmente
- Pintura electrostática que brinda resistencia a la abrasión.
- Máquina para picar 8 kg.
- Orificios en sus bases para ajustar a la mesa para dar mayor seguridad y rapidez

4.1.3 Tanque de Almacenamiento, se escoge un tanque con una capacidad de 10 kg puesto que se almacenan 8.3 kg al mes como se muestra en el balance de materia

- Capacidad: 10 kg
- Marca: CNZH
- Certificación: ISO9001
- Nombre del producto: Semillas de tanque

4.1.4 Reactor (I y II) Batch. Se selecciona reactor tipo batch ya que el proceso se efectúa de manera intermitente por esta razón no es necesario emplear un reactor para un proceso continuo donde se requieren capacidades de 31,972 kg/h para la reacción de hidrolisis y 32,014 kg/h para la reacción de neutralización.

- Tipo: Batch
- Marca: MINGYI.
- Voltaje: 110 V/50Hz.
- Energía (W): 120W1/3.
- Dimensión (L\*W\*H): 560\*560\*2450mm.
- Peso: 82 kg.
- Certificación: CE ISO.
- Presión constante capacidad de la tolva: 2000 ml.
- Rango de temperatura del Reactor: -80-250C.
- Velocidad de agitación: 0-450 rpm.
- Altura de descarga: 450mm.
- Hervidor botella tapa numero: 6.
- Vacío: 0.098Mpa.
- Diámetro del eje: 12mm.
- Tamaño del embalaje: 1720\*680\*850m

4.1.5 Evaporador, se selecciona este equipo del catálogo ya que es necesario concentrar 32,0279 kg/h para lograr alcanzar la demanda requerida por la universidad, este equipo tiene una capacidad de 50 kg.

- Proceso: Giratorio.
- Marca: ZZKD.
- Voltaje: 110 V/50Hz.
- Peso: 50 Kg.
- Certificación: CE ISO.
- Tipo de producto: Evaporador rotatorio químico de laboratorio de 50 l a precio de fábrica.
- Material: DE ACERO INOXIDABLE.
- Control de velocidad: Frecuencia de control de velocidad.
- Grado de vacío: 0.098 Mpa.
- Material de vidrio: GG17 Material de vidrio.
- Sellado: PTFE de sellado al vacío.
- Velocidad de rotación: 0-120 rpm.

4.1.6 Decantador, a partir de lo requerido por el Balance de materia se elige del catálogo un equipo con una capacidad de 50kg ya que se requiere para una cantidad de 32,103 kg/h

- Totalmente fabricado en Acero Inox AISI 304 estándar alimenticio
- Decantación por gravedad
- Fondo cónico con salida en medio en curva con Grifos de Corte Rápido en Inox AISI 304
- Diámetro: 360 mm
- Altura de la base del tambor al piso: 320 mm
- Grifo de corte rápido preajustado de fábrica
- Código: SDCR-50

- Capacidad: 50 kg

4.1.7 Molino, se escoge del catálogo un molino que tenga la capacidad de moler 1,034 kg/h siendo la mínima capacidad de 3 kg.

- Cuerpo Estañado.
- Con Tolva Y Disco Moledor.
- Manivela Con Mango De Madera.
- Especial Para Granos Y Cereales Crudos O Cocidos.
- Molienda Ajustable.
- Mariposa Reforzada
- Máquina para moler de 3 kg

Finalmente, en base al capítulo se llevó a cabo un escalamiento del ensayo que mejor resultados obtuvo en la parte experimental considerando la cantidad de edulcorante requerida con un valor de 400 kg/mes siendo este un proceso que se lleva de manera intermitente ya que no se produce más de 1000000 kg/mes para tomarlo como un proceso continuo en consecuencia la elaboración del edulcorante se llevara a cabo 4 días al mes por ser más eficiente y económicamente viable en que se produce 12,80 kg/h de edulcorante requiriendo 7,2 kg/h de yacón, 0,0425 kg/h de ácido sulfúrico y 0,013 kg/h hidróxido de calcio para cumplir con la demanda establecida de producto. Teniendo en cuenta lo anterior son seleccionados los diferentes equipos con las capacidades establecidas en el balance de materia para hacer más efectivo el proceso de producción.

Considerando lo evaluado en este capítulo y teniendo presente lo necesario para la elaboración del edulcorante se efectuará su respectiva evaluación financiera considerando los diferentes costos de producción como los ingresos generados por el producto.



## 5. EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA IMPLEMENTACIÓN CONCEPTUAL DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE UN EDULCORANTE A BASE DE YACÓN

En este capítulo se analizará el costo de la implementación de la propuesta teniendo en cuenta el costo de la inversión inicial a partir de los equipos necesarios establecidos en el capítulo 4 y la depreciación de estos.

Tabla 28. De inversión de equipos

<b>Inversión</b>	<b>Total</b>
<b>Horno deshidratador</b>	\$ 4,000,0000
<b>Molino industrial</b>	\$ 70,000
<b>trituradora manual</b>	\$ 100,000
<b>Decantador</b>	\$ 1,500,00
<b>Tanque de almacenamiento</b>	\$ 300,000
<b>Reactor tipo batch</b>	\$ 12,200.000
<b>Evaporador</b>	\$ 8,100,000
<b>Adecuación</b>	\$ 1,500,000
<b>Inversión Total</b>	<b>\$ 28,000,000</b>

Fuente: Elaboración propia

El análisis financiero correlaciona los ingresos y egresos para la implementación del proyecto donde se encuentra involucrados los costos de inversión de materia prima, equipos y maquinaria, precio de venta, demanda permitiendo así estimar la viabilidad con respecto a los ingresos que la universidad obtendrá en los próximos 6 años. El cálculo llevado a cabo se encuentra en el ANEXO O.

### 5.1 INVERSIÓN

Para implementar la inversión se debe tener presente los activos fijos puesto que son necesarios para establecer el proyecto, teniendo en cuenta que el espacio necesario para abarcar el plan ya se encuentra predispuesto por la Universidad Militar Nueva Granada, adicionalmente los equipos necesarios para poner en funcionamiento este proyecto son un horno deshidratador, molino, tanque de almacenamiento, tanque de agitación, rectores tipo batch, centrifuga y evaporador. Los precios obtenidos se tomaron de la página web Equipos y laboratorios de Colombia los cuales cuentan con certificación ISO 9001 y equipos industriales S.A.S<sup>127</sup>, se muestra en el ANEXO Q.

<sup>127</sup> Equipos y laboratorios de Colombia, enero 2011 en línea: (<https://www.equiposylaboratorio.com/sitio/>)

La inversión que se debe llevar a cabo para la implementación del proyecto en el campus de la Universidad Militar Nueva Granada 28,000,000 \$ estos costos los podemos observar en la tabla 30. Para evitar costos de intereses se recomienda a la Universidad Militar Nueva Granada comprarlos de contado.

## 5.2 INCREMENTO IPC

Se deben tener en cuenta las variaciones que se presentan en los años ya que la proyección establecida es de 6 años (2019-2024) por este motivo se utilizara el índice del consumidor debido a que no se encontraron datos reportados al realizar el análisis financiero puesto que este varía según la economía del país por lo cual se tomara un (IPC) de 3,46% para cada año logrando así estimar la inflación del producto, precio de venta, gastos públicos a través del tiempo.

Se tendrá presente el incremento 15% que fue establecida por la universidad, siendo destinada a la implementación del proyecto estimando así la demanda durante los próximos 6 años, Teniendo en cuenta el impuesto de renta que debe declarar la universidad militar que es de un 25%. Como se muestra en la tabla 30.

Tabla 29.Incremento IPC

<b>Indicador/ años</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>
<b>Renta</b>	25%	25%	25%	25%	25%	25%
<b>Incremento</b>	15%	15%	15%	15%	15%	15%
<b>IPC</b>	3,46%	3,46%	3,46%	3,46%	3,46%	3,46%

Fuente: Elaboración propia

## 5.3 INGRESOS

Se tiene presente el precio de venta del producto y la demanda como los costó de producción logrando así determinar los ingresos del proyecto.

5.3.1 Precio de venta. La Universidad Militar Nueva Granada implementará el edulcorante para abastecer las cafeterías del campus de Cundinamarca-Cajicá puesto que 1 Kg de Edulcorante tendrá un valor de 18,835 \$ por cada Kilogramo, este valor se toma del promedio cotizado en las diferentes empresas como son Cimpa s.a.s con un costo 18,314\$, Diety con un valor de 18,993\$, Sucroal S.A con un valor de 19,200\$. Teniendo en cuenta la variación IPC se obtiene el precio del edulcorante en el paso del tiempo como se muestra en la tabla 30 considerando el siguiente calculo:

**Precio de venta del producto** = (Precio del edulcorante X IPC) + Precio del edulcorante

**Precio de venta del producto 2019**= (18,835 \$ X 3,46%) + 18,835 \$= 19,487 \$

Tabla 30.Precio edulcorante

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
<b>Edulcorante (kg)</b>	18,835\$	19,487\$	20,161\$	20,859\$	21,580\$	22,327\$	23,120\$

Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Demanda, este indicador tiene en cuenta la producción de edulcorante elaborado en un año y el incremento del mismo, considerando el siguiente cálculo para determinar la demanda del producto, donde los resultados obtenidos se muestra en la tabla 32.

**Demanda producto** = (Demanda inicial del año X Incremento) + Demanda inicial del año

**Demanda producto 2019**= (4800 Kg/ año X 15%) + 4800 Kg/ año = 5520

Tabla 31.Indicador demanda

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
<b>Edulcorante(kg)</b>	4,800	5,520	6,303	7,248	8,335	9,585	11022

Fuente: Elaboración propia

5.3.3 Proyección de Ingresos. Los ingresos que se obtendrán cada año se analizan a través de la demanda y el precio de venta obtenidos en los ítems anteriores como se muestra en el siguiente calculo obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 33.

**Proyección de ingresos**= Precio de venta producto X demanda

**Proyección de ingresos 2018** = 18,835\$ X 4800 = 90,408,000\$

Tabla 32. Proyección de ingresos

<b>Años</b>	<b>Edulcorante</b>
<b>2018</b>	\$ 90,408,000
<b>2019</b>	\$ 107,568,240
<b>2020</b>	\$ 127, 074,783
<b>2021</b>	\$ 151,186,032
<b>2022</b>	\$ 179,869,300
<b>2023</b>	\$ 214,004,295
<b>2024</b>	\$ 254,828,640

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4 COSTOS DE PRODUCCIÓN

Son los costos necesarios para realizar el producto como es la mano de obra, materia prima, costos indirectos como son servicios públicos, en la siguiente tabla se encuentra los costos para producir 1 kg de edulcorante comercial.

Tabla 33. Costos de producción

<b>Insumo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor \$</b>	<b>Total</b>
<b>Yacón (g)</b>	450	6,614	\$ 2976,3
<b>Agua (g)</b>	3093,19	0,016	\$ 49,49
<b>Ácido sulfúrico (g)</b>	3,322	38,45	\$ 127,83
<b>Hidróxido de calcio (g)</b>	1,021	690	\$ 704,49
<b>Total</b>			\$ 3858,11

Fuente: Elaboración propia

El costo de producción de 1 kg de edulcorante tiene un costo de 3858,11 \$ teniendo una ganancia de 14977\$ aproximadamente por la aplicación del proyecto además del cuidado en la salud de los estudiantes de la universidad.

5.4.1 Costos de materiales usados. se estiman los costos de producción de una unidad de 1kg de edulcorante en el paso del tiempo considerando el siguiente calculo, donde el resultado obtenido se muestra en la tabla 34

**Costo de Producción por año = (Costo de materia prima X incremento) + Costo de la materia prima**

**Costo de producción 2019 = (3858,11X15%) + 3858,11 = 4436,8**

Tabla 34.Costos de los materiales

	2019	2020	2021	2022	2023	2024
<b>Edulcorante</b> (kg)	\$ 4436,8	\$ 5102,35	\$ 5867,70	\$ 6747.86	\$ 7760,03	\$ 8924,04

Fuente: Elaboración propia

5.4.2 Proyección de costos de materia prima Los costos de materia prima que se obtendrán cada año se analizan a través de la demanda y los costos de producción obtenidos en los ítems anteriores como se muestra en el siguiente calculo, donde el resultado obtenido se muestra en la tabla 35

**Proyección de cosos de materia prima = Costos de materia prima X demanda**

**Proyección de cosos de materia prima 2019= 4436,8\$ X 5520 = 24,491,136\$**

Tabla 35.Proyección de costos Materia prima

Años	Edulcorante
2019	\$ 24,491,136
2020	\$ 32,160,112
2021	\$ 42,529,089
2022	\$ 56,243,413
2023	\$ 74,379,887
2024	\$ 98,360,769

Fuente: Elaboración propia

5.4.3 Costos de mano de Obra. Para la producción del edulcorante se contará con 2 empleados cada uno de ellos contará con un salario mínimo diario legal vigente con todas las prestaciones de ley ya que se llevará a cabo su labor por 4 días al mes. Teniendo en cuenta lo anterior se tomará como base un salario mínimo mensual vigente como se observa en la tabla 35

Tabla 36. Costos mano de obra

Salario Mínimo	781,242
Salud	8,50%
pensiones	12%
Auxilio de transporte	\$ 88.211
Riesgos profesionales	4.350%
% aportes parafiscales	9%
cesantías	8.33%
Prima de servicios	8.33%
Vacaciones	4.17%
Intereses cesantías	1%

Fuente: Banco de la República, 2018, Colombia, disponible en: (<http://www.banrep.gov.co/es/node/33530>)

En la tabla 37 se muestra el costo de mano de obra para 2 empleados por 4 días mensuales considerando las prestaciones sociales.

Tabla 37. Costo de mano de obra para la producción del edulcorante.

Producción	2019	2020	2021	2022	2023	2024
<b>Sueldo y prestaciones sociales</b>	\$ 3,861,024	\$ 3,861,024	\$ 3,861,024	\$ 3,861,024	\$ 3,861,024	\$ 3,861,024

Fuente: Elaboración propia

5.4.4 Costos Indirectos. En la tabla 39 se muestra aquellos costos que no se encuentran relacionados con la fabricación del edulcorante y su distribución directamente pero que sin estos no se podrían llevar a cabo la elaboración del producto como son los servicios públicos representados en agua, luz, gas.

Tabla 38.Costos indirectos

<b>Años</b>	<b>Servicios Públicos</b>	<b>Total</b>
<b>2018</b>	\$ 1,200,000	\$14,400,000
<b>2019</b>	\$ 1,241,980	\$14,980,760
<b>2020</b>	\$ 1,284,952	\$15,419,424
<b>2021</b>	\$ 1,329,411	\$15,952,932
<b>2022</b>	\$ 1,374,408	\$16,492,896
<b>2023</b>	\$ 1,421,962	\$17,063,544
<b>2024</b>	\$ 1,468,162	\$17,617,944

Fuente: Elaboración propia

### **5.5 FLUJO DE CAJA**

Previamente se definen los ingresos y egresos que puede presentar la universidad militar nueva granada al implementar el proyecto. Se realizarán las pérdidas y ganancias con su respectivo flujo de caja, se observan los costos de producción y los ingresos obtenidos por las ventas, asimismo se aprecia un impuesto del 25% que se le impone a la universidad.

Tabla 39. Flujo de caja

<b>Años</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
			<b>Ingresos</b>				
<b>Venta Edulcorante</b>		\$	\$	\$	\$	\$	\$
		107.568.240	127.074.783	151.186.032	179.869.300	214.004.295	254.828.640
<b>Ingresos totales</b>		\$	\$	\$	\$	\$	\$
		107.568.240	127.074.783	151.186.032	179.869.300	214.004.295	254.828.640
			<b>Egresos</b>				
<b>Materieles</b>		-\$	-\$	-\$ 42.529.089	-\$	-\$	-\$
		24.491.136	32.160.112		56.243.413	74.379.887	98.360.769
<b>Mano de obra</b>		-\$ 3.861.024	-\$ 3.861.024	-\$ 3.861.024	-\$ 3.861.024	-\$ 3.861.024	-\$
							3.861.024
<b>Costos indirectos</b>		-\$	-\$	-\$ 15.953.932	-\$	-\$	-\$
		14.980.760	15.419.424		16.492.896	17.063.544	17.617.944
<b>Egresos totales</b>		-\$	-\$	-\$ 62.344.045	-\$	-\$	-\$
		43.332.920	51.440.560		76.597.333	95.304.455	119.839.737
<b>UAI</b>		\$	\$	\$ 88.841.987	\$	\$	\$
		64.235.320	75.634.223		103.271.967	118.699.840	134.988.903
<b>Impuesto Renta</b>		-\$	-\$	-\$ 22.210.497	-\$	-\$	-\$
		16.058.830	18.908.556		25.817.992	29.674.960	33.747.226
<b>UDI</b>		\$	\$	\$ 66.631.490	\$	\$	\$
		48.176.490	56.725.667		77.453.975	89.024.880	101.241.677
<b>Inversion</b>	-\$ 28.000.000						
<b>Flujo neto de caja</b>	-\$ 28.000.000	\$	\$	\$ 66.631.490	\$	\$	\$
		48.176.490	56.725.667		77.453.975	89.024.880	101.241.677
<b>VPN</b>		\$					
	202.532.062,92						
<b>TIR</b>	189%						
<b>TIO</b>	15%						

Fuente: Elaboración propia



## 5.6 EVALUACIÓN FINANCIERA

Establecida la tasa interna de oportunidad (TIO) por la universidad militar nueva granada que tiene estipulada el 15% anual para la implementación del proyecto. Se analizará la tasa interna de retorno (TIR) y el valor presente neto (VPN).

**5.6.1 Valor presente Neto (VPN):** Si el valor presente neto es mayor que cero se dice que el proyecto es viable para realizar para este cálculo se tiene en cuenta el valor (TIO).

**5.6.2 Tasa interna retorno (TIR):** Este indica la rentabilidad del proyecto se obtiene igualando a cero el valor presente neto (VPN), si el valor de la TIR es mayor que la TIO se puede decir que el proyecto es económica viable.

Tabla 40. Costos indirectos

INDICADOR	VALOR
VPN	\$ 202.532.062
TIR	189%
TIO	15%

Fuente Elaboración propia

Se llevó a cabo una inversión de 33 millones en activos fijos, considerando también los servicios públicos, Costos de mano de obra, costos de materia prima para una proyección de ingresos de 6 años, Finalmente, en base a lo presentado en este capítulo se puede estimar que los indicadores de la tasa interna de retorno (TIR) y valor presente neto (VPN) describen un proyecto viable para su aplicación puesto que el valor presente neto es mayor a la tasa interna de retorno lo que quiere decir que se maximizara la inversión durante los próximos 6 años, al analizar la tasa interna de retorno se obtiene un rendimiento superior a la exigida por la inversión lo cual traerá beneficios a la universidad nueva granada.

Finalmente, al llevar a cabo la experimentación y al escalar el proyecto a la cantidad requerida y evaluar los costos financieros se puede decir que el proyecto es viable y aporta beneficios económicos a la Universidad Militar.

## 6. CONCLUSIONES

- Inicialmente los datos que se obtuvieron en la caracterización del yacón como el porcentaje de humedad, porcentaje de cenizas, pH, densidad, cantidad de FOS y acondicionamiento son requeridos para llevar un control a la hora de producir el edulcorante dado que el porcentaje de humedad nos permite determinar la materia seca presente en la raíz en que los resultados obtenidos son semejantes a los mencionados por diferentes autores como Muñoz, López y Coronado donde sus resultados son 87,7%; 83,56%; 81,8% respectivamente y el obtenido en el proyecto es de 86,6% ; al evaluar el porcentaje de cenizas se tiene un valor de 0,513% siendo este el porcentaje de sustancia inorgánica presente en la raíz que es comparable con el valor reportado por Gonzales de 0,3-2%, otro factor importante a considerar es el porcentaje de FOS contenido en la raíz puesto que este oligosacárido contiene gran porcentaje de fructosa, obteniéndose un 37,9 g/ mL extracto que se equipara al valor obtenido por Guevara, otros elementos a considerar son la densidad y pH con valores de 1,032 g/mL y 6,71.
- Al realizar la parte experimental de la producción del edulcorante se determina que el factor que más afecta en la producción de fructosa es el tipo de ácido ya que tiene una significancia estadística en nuestra variable de respuesta, obteniendo los mejores resultados con el ácido sulfúrico con un valor de 0,000745 g/ mL extracto a comparación con los obtenidos con el ácido clorhídrico con un valor de 0,00045 g/mL extracto, se debe resaltar que el ácido sulfúrico se encuentra a una concentración del 37% y que la hidrólisis se efectuó durante 45 min; siendo estos resultados necesarios para llevar a cabo el escalamiento de la elaboración del edulcorante.
- Al efectuar el diseño para la extracción del edulcorante se llevó a cabo un escalamiento del ensayo que mejor resultados obtuvo en la parte experimental considerando la cantidad de edulcorante requerida con un valor de 400 kg/mes siendo este un proceso que se lleva de manera intermitente ya que no se produce más de 1000000 kg/mes para tomarlo como un proceso continuo en consecuencia la elaboración del edulcorante se llevara a cabo 4 días al mes por ser más eficiente y económicamente viable en que se produce 12,80 kg/h de edulcorante requiriendo 7,2 kg/h de yacón para cumplir con la demanda establecida de producto

- Al efectuar el análisis del diseño de extracción del edulcorante se llevó a cabo el estudio para 1 Kg de edulcorante teniendo en cuenta la demanda anual del producto, inversión, proyección de costos de la materia prima, mano de obra, costos indirectos y proyección de ingresos, de esta manera se realiza el estudio financiero del proyecto en el que los indicadores como la tasa interna de retorno (TIR) y el valor presente neto (VPN) nos estiman si el proyecto es económica viable teniendo en cuenta el valor de la tasa de oportunidad (TIO), Obteniendo resultados satisfactorios debido a que el valor presente neto es mayor a cero lo que quiere decir que maximiza la inversión y que la tasa interna de retorno es mayor que tasa interna de oportunidad logrando obtener un buen rendimiento al exigido por la inversión, considerando lo anterior se puede decir que es un proyecto factible para llevar a cabo.

## 7. RECOMENDACIONES

- Según los antecedentes Bibliográficos se especifica que la hidrólisis se puede efectuar con ácidos fuertes que nos permita romper los enlaces  $\beta$  (1→2) como son Ácido fosfórico, ácido nítrico.
- Aprovechar la cadena de proteínas presentes con un método conservación más efectivo que puede demostrar un cambio significativo en el poder edulcorante ya que este presenta una gran cantidad de fructooligosacaridos siendo así una fuente alternativa de endulzante.
- Seleccionar una variedad de yacón Blanco o Morado y llevar acabo la hidrólisis y cuantificar la extracción del edulcorante puesto que en este proyecto se escogió de ambas variedades sin tener en cuenta una en específico.
- A partir de lo indicado en los antecedentes bibliográficos se especifica que la hidrólisis se puede realizar a partir de métodos enzimáticos permitiendo romper el enlace  $\beta$  (1→2) como es la inulinasa e invertasa.
- Se pueden encontrar diferentes formas de preservar el Yacón como son a partir de una disolución de disulfito de sodio, solución de sucralosa y sumergir en ácido ascórbico esto se realiza con el fin de evitar su rápida oxidación.
- La cuantificación de fructosa se puede evaluar a partir de diferentes procedimientos como son UPLC, HPLC, columna cromatografía y derivatización con PMP y HPLC de fase inversa
- El alcance comercial del Edulcorante obtenido a partir del hidrólisis no solo se puede establecer en las instalaciones de la Universidad Militar Nueva granada sino también se puede comercializar a un público más amplio aumentando sus ganancias.

## BIBLIOGRAFIA

¿Qué es la inulina? | QuimiNet.com; quiminet; 2000; Disponible en: (<https://www.quiminet.com/articulos/que-es-la-inulina-5454.htm>)

¿Qué es la inulina?; Engormix ;2007; Disponible en: (<https://www.engormix.com/agricultura/articulos/la-inulina-t27326.htm>)

BEJARANO ZAMUDIO, Daniel; Efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento sobre la concentración de fructooligosacáridos en yacón fresco (*smallanthus sonchifolius*); Trabajo de grado Ingeniería agroindustrial; lima Perú.: Universidad nacional de Trujillo; 2015; p 75

CALDERÓN DÍAZ, Camila Andrea; FANDIÑO MORANTE, Diana Marcela; CHÁVEZ PACHECO, Tatiana Melissa; El Yacón: una alternativa para el sector agrícola colombiano; Bogotá D.C.; Facultad de ciencias económicas; Universidad de la Salle; 2017; p 77

CAMPOS, David; BETALLELUZ PALLARDEL, Indira; CHIRINOS, Rosana; AGUILAR, Ana; NORATTO, Giuliana; PEDRESCH, Romina. Prebiotic effects of yacón (*Yacón Poepp. & Endl*), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity, *Revista Food Chemistry*, 2012, p 1592-1599.

CASTRO, Alejandra; VILAPLANA, Francisco; NILSSON, Lars; Characterization of a water soluble, hyperbranched arabinogalactan from yacón (*Smallanthus sonchifolius*) roots; *Revista Food Chemistry*; p.: 76-81

CHIRINOS, Rosana; MENDOZA, Rocío; AGUILAR, Ana; Gálveza; CAMPOS David; HIDRÓLISIS QUÍMICA Y ENZIMÁTICA DE EXTRACTO DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) PARA LA PRODUCCIÓN DE FRUCTOSA; *Revista sociedad química de Perú*; vol. 83, núm. 2, abril-junio, 2017, p. 200-212

CORONADO PANTA, Angel; Elaboración de la harina de yacón (*smallanthus sonchifolius*) y su influencia en el crecimiento de dos bacterias probióticas; Trabajo de grado químico farmacéutico; lima Perú.: Universidad nacional mayor de santos marcos; 2013; p 71

DERIVATIZACION - ¿Qué es derivatización?, *boletinagrario.com*, disponible en: (<https://boletinagrario.com/ap-6,derivatizacion,2088.html>)

Edulcorantes y sustitutos del azúcar, *medlineplus*,2016, disponible en: (<https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/007492.htm>)

Galacto-oligosacáridos, más que una fibra, énfasis, disponible en: (<http://www.logisticasud.enfasis.com/articulos/63203-galacto-oligosacaridos-mas-que-una-fibra>)

GONZÁLES MENGONI, Henry Milton; Evaluación de la harina de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) como prebiótico en dietas de pavos de engorde; Trabajo de grado médico veterinario; Lima Perú.: Universidad nacional mayor de santos marcos; 2009; p 94.

GUTIÉRREZ, Laura y VACA, Sandra Mayerly. EVALUACIÓN DEL USO DE RECUBRIMIENTOS LIPÍDICOS, POLIMÉRICOS Y REFRIGERACIÓN PARA PROLONGAR LA VIDA ÚTIL DEL YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*). Trabajo de grado ingenieras de alimentos. Bogotá D.C.: Universidad de la Salle. Facultad de ingeniería, Departamento de alimentos, 2011.133 p.

Hidrólisis ácida de la inulina de Agave americana para la obtención de mostos fermentables ricos en fructosa; researchgate; Disponible en: ([https://www.researchgate.net/publication/316281531\\_Hidrolisis\\_acida\\_de\\_la\\_inulina\\_de\\_Agave\\_americana\\_para\\_la\\_obtencion\\_de\\_mostos\\_fermentables\\_ricos\\_en\\_fructosa](https://www.researchgate.net/publication/316281531_Hidrolisis_acida_de_la_inulina_de_Agave_americana_para_la_obtencion_de_mostos_fermentables_ricos_en_fructosa))

INGA GUEVARA, Marianelaa; BETALLELUZ PALLARDEL, Indiraa-; KINA NOBORIKAWA, Melissaa; CAMPOS GUTIERREZ, David; OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE LOS FRUCTOOLIGOSACÁRIDOS DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*);2015; p.:263-272

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos NTC-1486-6166 Bogotá D.C.: El instituto,2018,ISBN 9789588585673

\_\_\_\_\_; frutas y hortalizas frescas; NTC 756; Bogota D.C;1977; p 7

\_\_\_\_\_; "Almidón de maíz y alimentos; NTC 926; Bogotá D.C;1986; p 28

\_\_\_\_\_; Almidón maíz-alimentos; NTC 4592; Bogotá D.C; 1999, p 6.

LARA CASTOR, Laura; INULINA: Polisacárido con interesantes beneficios a la salud humana y con aplicación en la industria farmacéutica; Revista infarmate; 2011; p 99-106.

LEDUR ALLES, María Julia; LEDUR ALLES, María Julia; ZAPATA NOREÑA, Cacio Pelayo; Concentration and Purification of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Root Fructooligosaccharides Using Membrane Technology; Revista Food Technology and Biotechnology; 2015; p.: 190

LÓPEZ, Diana Lizeth, valorización de la raíz del yacón, obtención de un jarabe rico en fructooligosacaridos, Revista Investigación & Desarrollo, 2008, p 11-21.

MALDONADO, Silvana, et al. Producción y comercialización de Yacón (*Smallanthus Sonchifolius*) en comunidades rurales del Noroeste Argentino

Martínez López J. N., Rodríguez Castillejos G. Ca, Téllez Luis S. Jb, Palos Pizarro Isidro, Efrén Nieto Mario, Cuarenta Obrajero Josefina; APROVECHAMIENTO DE LA PIÑA DE AGAVE PARA LA PRODUCCIÓN DE LICORES RICOS EN AZÚCARES FERMENTABLES; Revistas Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos; Vol. 1, No. 2; (2016)-, p.: 231-235

MENDOZA, Roció Milagros. HIDRÓLISIS QUÍMICA Y ENZIMÁTICA DE UN EXTRACTO DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) PARA LA OBTENCIÓN DE FRUCTOSA. Trabajo de grado ingenieras de alimento. Lima-Perú.: universidad nacional agraria la molina. Facultad de industrias alimetarias2017.100 p.

MONTAÑEZ SOTO, José; VENEGAS GONZÁLEZ, José; VIVAR, María; RAMOS, Emma; EXTRACCIÓN, CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS FRUCTANOS CONTENIDOS EN LA CABEZA Y EN LAS HOJAS DEL Agave tequilana Weber AZUL; Revista Bioagro, vol. 23, núm. 3, septiembre-diciembre, 2011, pp. 199-206

MUÑOZ J., Ana María; BLANCO B., Teresa; SERVÁN T., Karin; ALVARADO-ORTÍZ U., Carlos Evaluación del contenido nutricional de yacón (*Polimnia sonchifolia*) procedente de sus principales zonas de producción nacional Horizonte Médico, vol. 6, núm. 2, diciembre, 2006, p 69-73

Official Methods of Analysis, determinación de cenizas; A.O.A.C. 15th Edition 1990

Official Methods of Analysis, determinación de humedad; A.O.A.C. 15th Edition 1990.

OHYAMA, T, Composition of storage carbohydrate in tubers of Yacón (*Polymnia sonchifolia*). Soil Science and Plant Nutrition, Lima: Perú, 2003. p. 27

OHYAMA, Takuji; ITO, Osamu; YASUYOSHI, Sawako; IKARASHI, Taro; MINAMISAWA, Kiwamu; KUBOTA, Masatsugu; ASAMI, Teruo; Composition of storage carbohydrate in tubers of yacón (*Polymnia sonchifolia*); Revista Soil Science and Plant Nutrition; 1990; p. 167-171.

OLIVEIRA, Leticia Fernandes; CORREA, Jefferson; PEREIRA, Angelis; CARDOSO, Michel; LEMOS SOUZA RAMOS, Alcinéia; VILELA, Marina, Osmotic dehydration of yacón (*Smallanthus sonchifolius*): Optimization for fructan retention, Revista LWT - Food Science and Technology,2016, p 77-87.

OLIVEIRA, Leticia; CORRÊA, Jefferson; GOMES Luiz; PEREIRA Angelis, CARDOSO Michel; RAMOS LEMOS Souza; VILELA, Marina; Osmotic dehydration of yacón (*Smallanthus sonchifolius*): Optimization for fructan retention; Revista LWT - Food Science and Technology; 2016; p.: 77-87

PERUSSELLO; MARIANI; MASSON; CASTILHOS; Determination of thermophysical properties of yacón (*Smallanthus sonchifolius*) to be used in a finite element simulation; Revista Elsevier; 2013; p.:1163-1169

PROYECTO BIOSFERA, Biosfera, 2000, disponible en: (<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/biomol/contenidos6.htm>)

PROYECTO BIOSFERA, Biosfera, 2000, disponible en: (<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/biomol/contenidos6.htm>)

R. NINESS, Kathy; Inulin and Oligofructose: What Are They? Revista The Journal of Nutrition; 1999; p 1402-1046

ROD NAVE Carl, sugars ,2001 disponible en: (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Organic/sugar.html>)

SEMINARIO, Juan; VALDERRAMA, Miguel; MANRRIQUE, Ivan, EL yacón, fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio, cip, 2003.

Sociedad Española De Nutraceutica Médica, sociedad española natraceutica medica, disponible en: (<http://www.nutraceuticamedica.org/definicion.htm>)

VAŇKOVÁ, Katarína; POLAKOVIČ, Milan; Optimization of single-column chromatographic separation of fructooligosaccharides; Revista Process Biochemistry; p. 1325-1329.

YNOUYE, F. Determinación del contenido de carbohidratos de reserva, la actividad enzimática de la polifenol oxidasa y la concentración de polifenoles en raíces reservantes de Yacón (*Smallanthus sonchifolius*). Trabajo de grado biología. Lima.: Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias Departamento de Biología, 2005. P.67.

YOUSEF LOBELO Miranda; ALVARADO CLAVIJO Marco; ANÁLISIS DE COMPETITIVIDAD Y DE MERCADO EN LA SUSTITUCIÓN PARCIAL O TOTAL DE AZÚCAR POR OTROS EDULCORANTES EN LAS EMPRESAS DEL SECTOR DE BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS EN COLOMBIA DE 2009 A 2014, universidad de la Salle, 2015, p 39-45







## **ANEXOS**

## ANEXO A

### EQUIPOS Y MATERIALES

Equipo	Descripción	Foto del equipo
Balanza analítica	Capacidad máxima de 220g/82g, legibilidad 0,001g, marca: RADWAG modelo: AS220X2	
pH-metro	pH mV-Cond TDS-DO PL-700AL marca: Kazarcel	
Estufa	Capacidad máxima 300°C Marca: Heidolph	
Mufla	Capacidad máxima 700°C Marca: WiseTherm	
Desecador	Marca: Tecnal	

Equipo	Descripción	Foto del equipo
Capsulas	Material de porcelana	
Probeta	Capacidad máxima de 100mL Marca: Brixco	
Horno	Capacidad máxima 700°C Marca: WiseTherm	
Cromatógrafo 570 nm	Marca: mindray	

## ANEXO B.

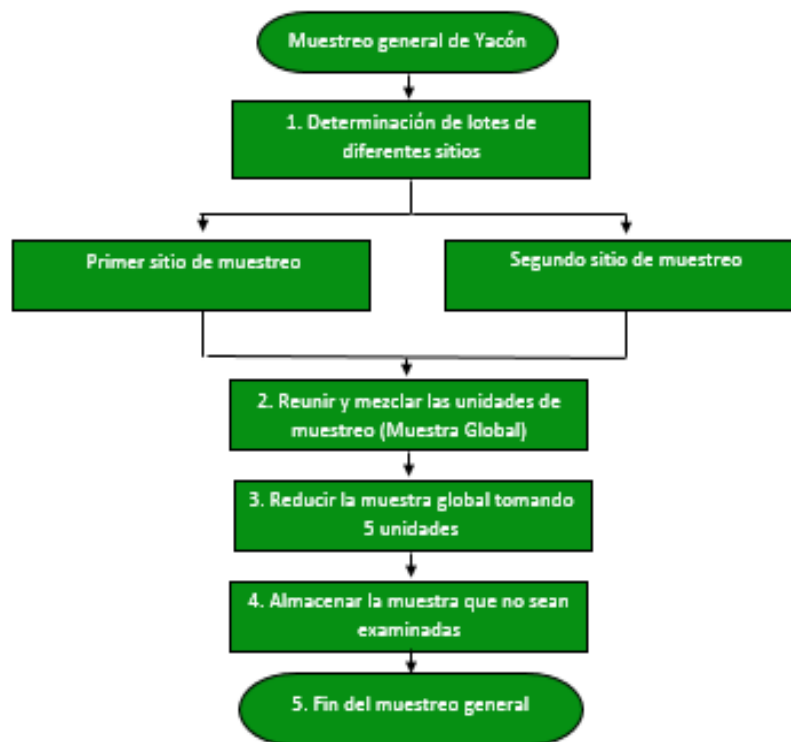
### PROTOCOLOS PARA EL MUESTREO GENERAL DEL YACÓN - (*SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS*)

#### -Preparación del muestreo general de yacón

Establecer un método para obtener la muestra global y reducida del yacón a partir de la norma técnica colombiana NTC 756 “frutas y hortalizas frescas”<sup>128</sup> donde establece el siguiente procedimiento:

- tomar la muestra en dos sitios diferentes y dividir en lotes uniformes.
- Reunir las unidades de muestreo (Muestra global)
- Tomar 5 unidades de la muestra global
- Almacenar las muestras que no sean examinadas.
- Fin del muestreo

Diagrama 2. Muestreo general del yacón



<sup>128</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC); frutas y hortalizas frescas; NTC 756; Bogotá D.C.;1977; p 7

Se levanta un acta para cada toma de muestra que incluye lo siguiente información:

- Designación del producto y la especie
- Fecha y lugar del despacho del producto
- Nombre y dirección del depósito del lote
- Día y hora en que se tomó la muestra
- Temperatura ambiente
- Tamaño del lote y peso del empaque
- Uniformidad del lote

Se levantó las respectivas actas de muestreo en los sitios de palo-quemado y corabastos por ser unas de las plazas más grandes de Colombia -Bogotá D.C.

### **ACTA DE CORABASTOS**

- Yacón (*smallanthus sonchifolius*), Especie: *S. sonchifolius*
- Fecha: 1/04/2018, Lugar del despacho: Boyacá
- Nombre: Corabastos, Dirección: Av. Carrera 80 # 2-51
- Fecha muestreo: 2/04/2018, Hora: 10:00 am
- Temperatura ambiente: 16°C
- Uniformidad: Mediana
- Tamaño del Lote: 2 bulto,
- Peso del empaque: 1 Lb
- Nombre de la persona que muestreo: Verónica Marcela Barreto Vargas

### **ACTA DE PALOQUEMADO**

- Yacón (*smallanthus sonchifolius*), Especie: *S. sonchifolius*
- Fecha: 30/03/2018, Lugar de despacho: Ibagué
- Nombre: Palo-quemado, Dirección: Cll.19#25-04
- Fecha:2/04/2018 Hora: 11:10 am
- Temperatura ambiente: 16°C
- Uniformidad: Baja
- Tamaño del lote: 40 Lb
- Peso del empaque: 1,5 Lb
- Nombre de la persona que muestreo: Verónica Marcela Barreto Vargas

## ANEXO C.

### PROTOCOLO PRETRATAMIENTO DEL YACÓN

Analizar las propiedades del Yacón al realizar un acondicionamiento para evitar su deterioro a partir del Artículo Inga Guevara “optimización del proceso de extracción de los fructooligosacáridos de yacón (*smallantus sonchifolius*)”<sup>129</sup> donde es necesario el uso de los diferentes materiales y equipos y su respectiva adecuación como se muestra a continuación:

- Vaso de precipitado
- Estufa
- Horno a 100°C
- Agua destilada
- Muestra a utilizar

Adecuación de los instrumentos para el acondicionamiento del Yacón (*smallanthus sonchifolius*)

**Diagrama 3.** Adecuación de los instrumentos para el acondicionamiento del yacón

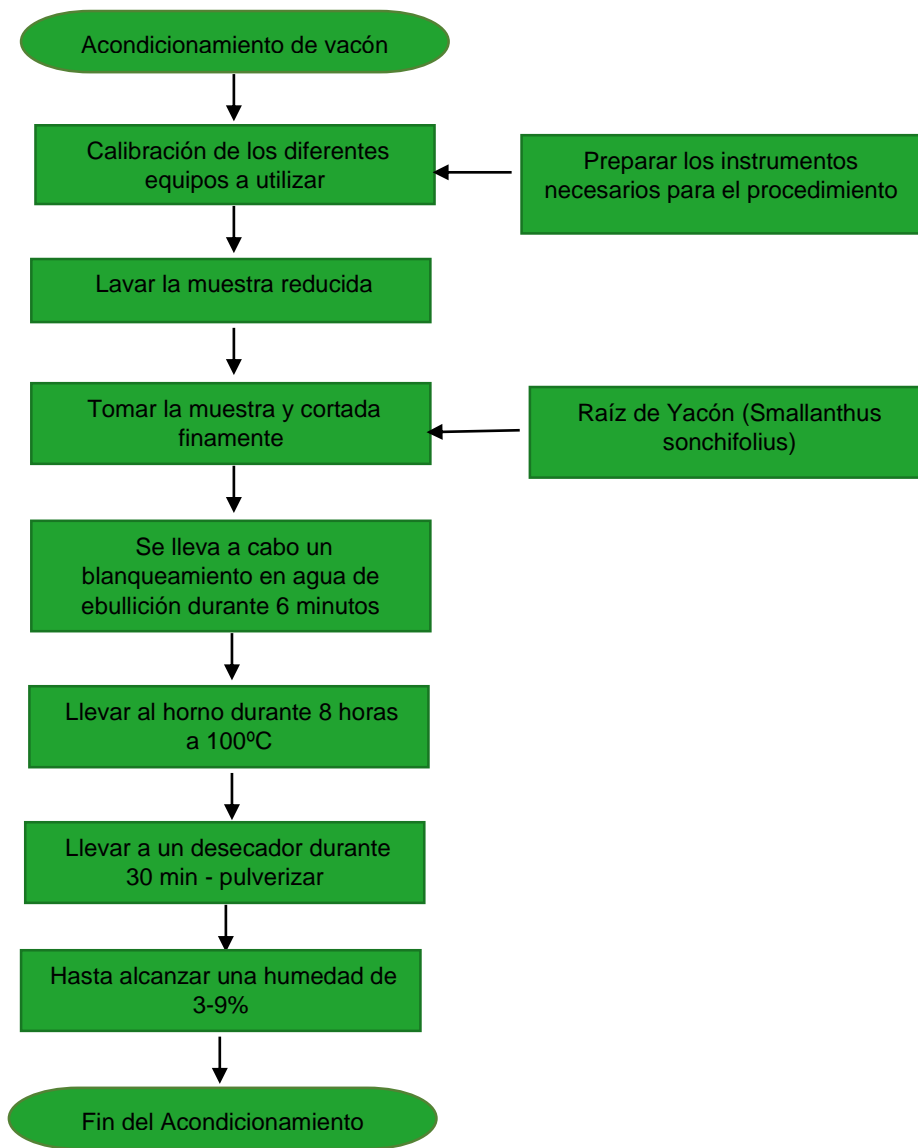


<sup>129</sup> GUEVARA Marianela, BETALLUZ Indira, KINA NOBORIKAWA, Melissa; CAMPOS GUTIÉRREZ David OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE LOS FRUCTOOLIGOSACÁRIDOS DE YACÓN (*Smallantus sonchifolius*); Junio 2015; p.263-22

Al adecuar los equipos se realiza el siguiente procedimiento para acondicionar el yacón:

- Calibración de los equipos a utilizar en la practica
- Lavar la muestra
- Realizar un corte en rodajas
- Se lleva a un blanqueamiento en agua de ebullición durante 6 minutos
- Se realiza un fraccionamiento de las tajadas
- Llevar al Horno durante 10 hora a 100°C
- Realizar 2 repeticiones

**Diagrama 4.** Pretratamiento del yacón



Yacón sin acondicionar

<b>Ensayos</b>	<b>4. Peso Yacón (g)</b>	<b>6. Peso del yacón seco (g)</b>
1	313,5302	25,7333
2	240,2335	14,1743

**Ensayo 1**

$$\%H = \frac{25,7333g}{313,5302g} \times 100 \rightarrow \%H = 8,2075\%$$

**Ensayo 2**

$$\%H = \frac{14,1743g}{240,2335g} \times 100 \rightarrow \%H = 5,9002\%$$

Tabla de Resultados de % Humedad

<b>Ensayos</b>	<b>% Humedad Yacón pretratado</b>
1	8,2075
2	5,9002



## ANEXO D.

### PROTOCOLO PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL YACÓN

Evaluar la propiedad de Humedad a nivel laboratorio a través de la norma la “Official Methods of Analysis. A.O.A.C. 15th Edition 1990”<sup>130</sup> donde es necesario el uso de los diferentes materiales y equipos y su respectiva adecuación como se muestra a continuación:

- Balanza analítica, sensibilidad 0.1 mg
- Capsula de porcelana
- Desecador con deshidratante adecuado
- Horno de capacidad máxima 700°C
- Muestra a Utilizar

Adecuación de los instrumentos para la determinación del Porcentaje de Humedad del muestreo de Yacón (*smallanthus sonchifolius*).

**Diagrama 5.** Adecuación de los instrumentos para el análisis de humedad

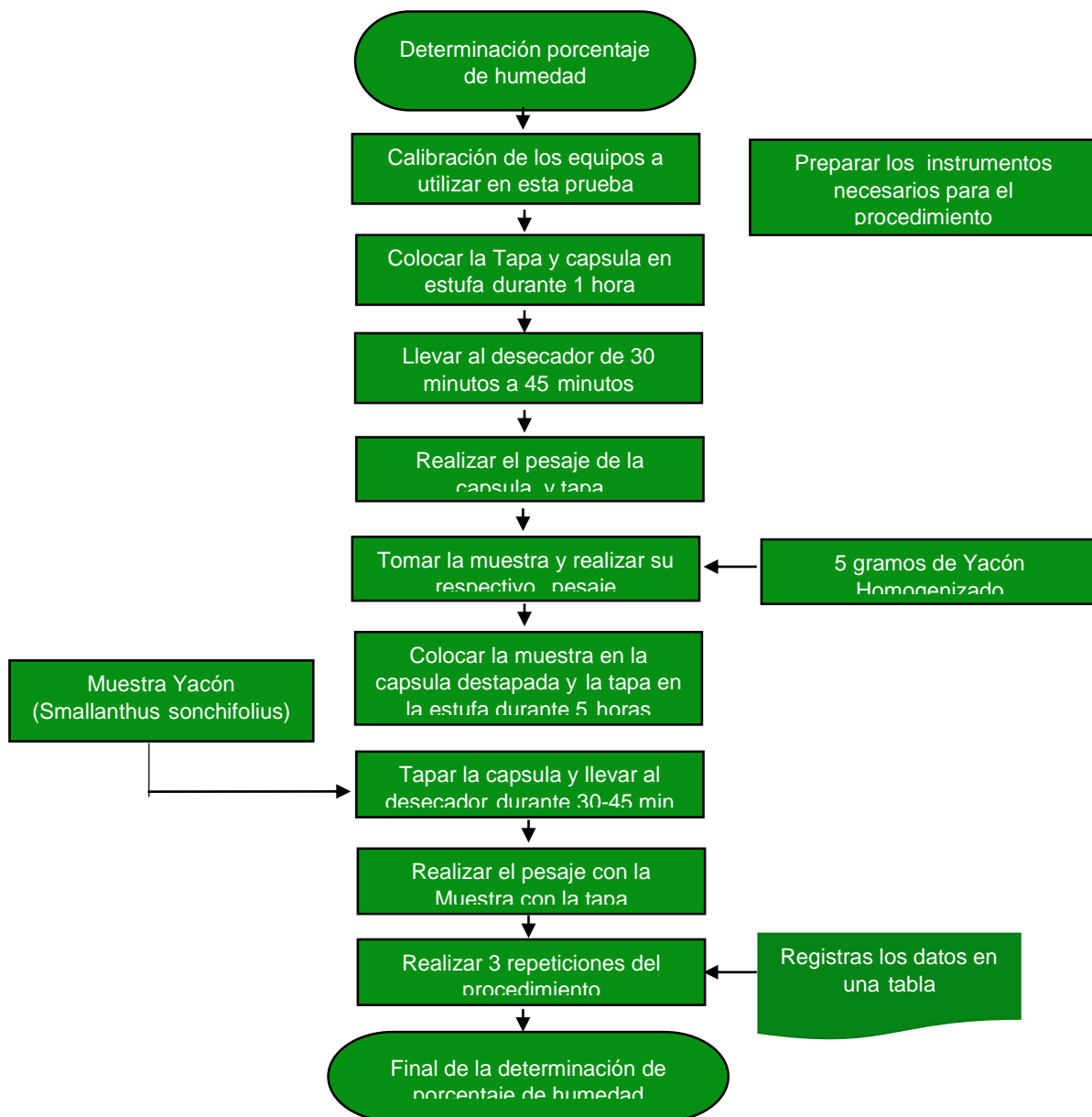


<sup>130</sup> Official Methods of Analysis, determinación de cenizas; A.O.A.C. 15th Edition 1990.

Al adecuar los equipos se realiza el siguiente procedimiento para hallar el porcentaje de humedad de la muestra:

- Calibración de los equipos a utilizar en la practica
- Colocar la capsula en el Horno durante 1 hora a 105 °C
- Llevar al desecador durante 30 a 45 minutos
- Realizar el pesaje de la capsula previamente tarada
- Tomar 3 gramos de la muestra
- Realizar el pesaje de la muestra con la capsula
- Colocar la capsula en el horno durante 5 horas a 105°C
- Llevar al desecador durante 30 a 45 minutos
- Realizar el pesaje de la muestra y la capsula
- Realizar 3 repeticiones.

**Diagrama 6.** Determinación del porcentaje de humedad



Se toman los respectivos datos después de realizar el procedimiento mostrado en el Diagrama 8:

Yacón sin acondicionar

<b>Ensayos</b>	<b>4. Peso Capsula Vacía (g)</b>	<b>6. Peso Capsula con muestra (g)</b>	<b>9. Peso Capsula con muestra secada (g)</b>
1	20,4117	23,4474	20,8217
2	17,3869	20,3996	17,8208
3	20,8435	23,8692	21,2138

Yacón acondicionado (8,2075%-Humedad)

<b>Ensayos</b>	<b>4. Peso Capsula Vacía (g)</b>	<b>6. Peso Capsula con muestra (g)</b>	<b>9. Peso Capsula con muestra secada (g)</b>
1	27,0185	30,3002	30,0506
2	26,8974	29,9057	29,7729
3	28,1270	31,1702	30,9283

El porcentaje de Humedad de la muestra se determina a partir de la siguiente fórmula:

**Ecuación 1. Porcentaje de Humedad**

$$\%H = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100$$

$m_1$  =Masa de la capsula vacía en gramos

$m_2$ =Masa de la capsula con la muestra antes del secado gramos

$m_3$ = Masa de la capsula con la muestra seca en gramos

## Yacón sin Acondicionar

### Ensayo 1

$$m_1 = 20,4117g$$

$$m_2 = 23,4474g$$

$$m_3 = 20,8217g$$

$$\%H = \frac{23,4474g - 20,8217g}{23,4474g - 20,4117g} \times 100 \rightarrow \%H = 86,494\%$$

### Ensayo 2

$$m_1 = 17,3869g$$

$$m_2 = 20,38996g$$

$$m_3 = 17,8208g$$

$$\%H = \frac{20,38996g - 17,8208g}{20,38996g - 17,3869g} \times 100 \rightarrow \%H = 85,551\%$$

### Ensayo 3

$$m_1 = 20,8435g$$

$$m_2 = 23,8692g$$

$$m_3 = 21,2138g$$

$$\%H = \frac{23,8692g - 21,2138g}{23,8692g - 20,8435g} \times 100 \rightarrow \%H = 87,762\%$$

## Yacón Acondicionado

### Ensayo 1

$$m_1 = 27,0185g$$

$$m_2 = 30,3002g$$

$$m_3 = 30,0506g$$

$$\%H = \frac{30,3002g - 30,0506g}{30,3002g - 27,0185g} \times 100 \rightarrow \%H = 7,606\%$$

### Ensayo 2

$$m_1 = 26,8974g$$

$$m_2 = 29,9057g$$

$$m_3 = 29,7729g$$

$$\%H = \frac{29,9057g - 29,7729g}{29,9057g - 26,8974g} \times 100 \rightarrow \%H = 6,041\%$$

### Ensayo 3

$$m_1 = 28,1270g$$

$$m_2 = 31,1702g$$

$$m_3 = 30,9283g$$

$$\%H = \frac{31,1702g - 30,9283g}{31,1702g - 28,1270g} \times 100 \rightarrow \%H = 7,949\%$$

Resultados de % Humedad

Ensayos	% Humedad Yacon no acondicionado	% Humedad Yacon acondicionado
1	86,494	7,606
2	85,551	6,041
3	87,762	7,949

## ANEXO E.

### PROTOCOLO PORCENTAJE DE CENIZAS DEL YACÓN

Diagnosticar la propiedad de ceniza a nivel laboratorio del yacón a través de la norma "Official Methods of Analysis. A.O.A.C. 15th Edition 1990"<sup>131</sup> donde es necesario el uso de los diferentes materiales y equipos y su respectiva adecuación como se muestra a continuación:

- Balanza analítica, sensibilidad 0.1 mg
- Crisoles o cápsulas de porcelana
- Desecador con deshidratante
- Mufla regulada a 550 °C
- Material usual de laboratorio
- Muestra a utilizar

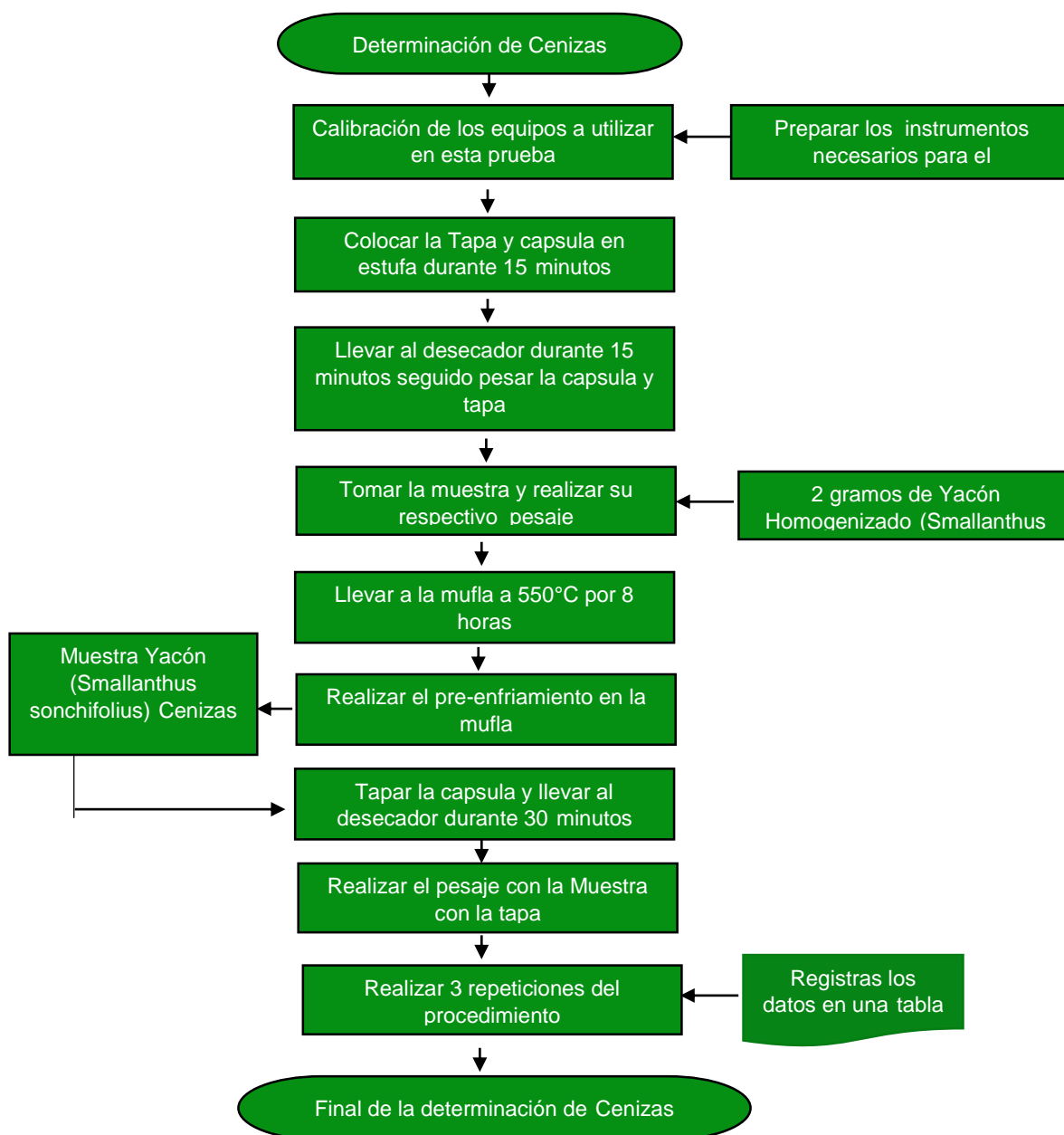
Al adecuar los equipos se realiza el siguiente procedimiento para hallar el porcentaje de humedad de la muestra.

- Calibración de los equipos a utilizar en la practica
- Colocar la capsula en la mufla durante 1 hora a 550 °C
- Llevar al desecador durante 30 a 45 minutos
- Realizar el pesaje de la capsula previamente tarada
- Tomar 2 gramos de la muestra
- Realizar el pesaje de la muestra con la capsula
- Colocar la capsula en la mufla durante 8 horas a 550°C
- Realizar el pre-enfriamiento de la mufla
- Llevar al desecador durante 30 a 45 minutos
- Realizar el pesaje de la muestra y la capsula
- Realizar 3 repeticiones.

---

<sup>131</sup> Official Methods of Analysis, determinación de cenizas; A.O.A.C. 15th Edition 1990, p. 564

**Diagrama 7.** Determinación del porcentaje de cenizas



Se toman los respectivos datos después de realizar el procedimiento mostrado en el Diagrama 10:



Yacón sin acondicionar

<b>Ensayos</b>	<b>3-4. Peso Capsula Vacía (g)</b>	<b>6. Peso Capsula con muestra (g)</b>	<b>10. Peso Capsula con muestra Calcinada (g)</b>
1	49,9842	52,0457	49,9979
2	48,4158	50,4831	48,4248
3	49,5676	51,6576	21,2138

Yacón acondicionado (8,2075%-Humedad)

<b>Ensayos</b>	<b>3-4. Peso Capsula Vacía (g)</b>	<b>6. Peso Capsula con muestra (g)</b>	<b>10. Peso Capsula con muestra secada (g)</b>
1	49,9848	52,0012	50,0508
2	48,4138	50,4423	48,4847
3	49,5651	51,5744	49,5777

El porcentaje de cenizas de la muestra se determina a partir de la siguiente fórmula:

Ecuación 2. Porcentaje de ceniza

$$\%Cenizas\ totales = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100$$

$m_0$  =Masa de la capsula vacía en gramos

$m_1$ =Masa de la capsula con la muestra gramos

$m_2$ = Masa de la capsula con las cenizas en gramos

## Yacón sin Acondicionar

### Ensayo 1

$$m_0 = 49,9842g$$

$$m_1 = 52,0457g$$

$$m_2 = 49,9979g$$

$$\begin{aligned} \% \text{ cenizas totales} &= \frac{49,9970g - 49,9842g}{52,0457g - 49,9842g} \times 100 \rightarrow \% \text{ Cenizas totales} \\ &= 0,6209\% \end{aligned}$$

### Ensayo 2

$$m_0 = 48,4158g$$

$$m_1 = 50,4831g$$

$$m_2 = 48,4248g$$

$$\begin{aligned} \% \text{ cenizas totales} &= \frac{48,4248g - 48,4158g}{50,4831g - 48,4158g} \times 100 \rightarrow \% \text{ Cenizas totales} \\ &= 0,4354\% \end{aligned}$$

### Ensayo 3

$$m_0 = 49,5676g$$

$$m_1 = 51,6576g$$

$$m_2 = 49,5777g$$

$$\begin{aligned} \% \text{ cenizas totales} &= \frac{49,5777g - 49,5676g}{51,6576g - 49,5676g} \times 100 \rightarrow \% \text{ Cenizas totales} \\ &= 0,4833\% \end{aligned}$$

## Yacón Acondicionado

### Ensayo 1

$$m_0 = 49,9848g$$

$$m_1 = 52,0012g$$

$$m_2 = 50,0508g$$

$$\% \text{ cenizas totales} = \frac{50,0508g - 49,9848g}{52,0012g - 49,9848g} \times 100 \rightarrow \% \text{ Cenizas totales}$$

$$= 3,2732\%$$

### Ensayo 2

$$m_0 = 48,4138g$$

$$m_1 = 50,4423g$$

$$m_2 = 48,4847g$$

$$\% \text{ cenizas totales} = \frac{48,4847g - 48,4138g}{50,4423g - 48,4138g} \times 100 \rightarrow \% \text{ Cenizas totales}$$

$$= 3,4952\%$$

### Ensayo 3

$$m_0 = 49,5651g$$

$$m_1 = 51,5744g$$

$$m_2 = 49,6321g$$

$$\% \text{ cenizas totales} = \frac{49,6321g - 49,5651g}{51,5744g - 49,5651g} \times 100 \rightarrow \% \text{ Cenizas totales}$$

$$= 3,3345\%$$

Resultados de % Cenizas

Ensayos	% Cenizas totales Yacon no acondicionado	% Cenizas totales Yacon acondicionado
1	0,6209	7,2732
2	0,4354	3,4952
3	0,4833	3,3345

## ANEXO F.

### PROTOCOLO DENSIDAD DEL YACÓN

Diagnosticar la propiedad de densidad a nivel laboratorio del yacón a través de la norma técnica colombiana NTC 926 “Almidón maíz-alimentos”<sup>132</sup> para la evaluación de esta propiedad son necesarios los siguientes materiales y equipos con su respectivo acondicionamiento:

- Agua destilada
- Probeta 100
- Material usual de laboratorio
- Muestra a utilizar

Adecuación de los instrumentos para la Evaluación de densidad de la muestra del Yacón (*smallanthus sonchifolius*)

**Diagrama 8.** Adecuación de los instrumentos para determinar la densidad

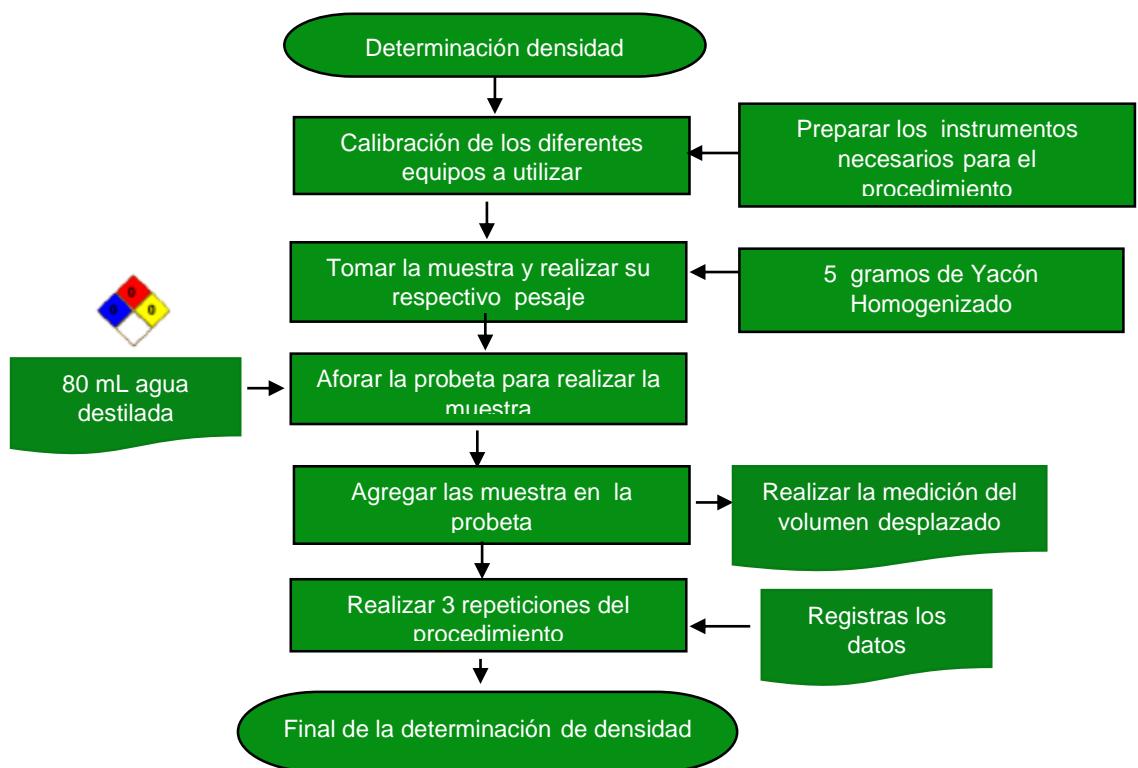


<sup>132</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC); Almidón maíz-alimentos; NTC 926; Bogotá D.C.;1986, p 28

Al adecuar los equipos se realiza el siguiente procedimiento para hallar el porcentaje de humedad de la muestra.

- Calibración de los equipos a utilizar en la práctica
- Tomar 3 gramos de muestra
- Aforar la probeta
- Agregar la muestra
- Realizar la medición del volumen desplazado
- Realizar 4 repeticiones

**Diagrama 9.** Determinación de la densidad del yacón



Se toman los respectivos datos después de realizar el procedimiento mostrado en el Diagrama 1:

Yacón sin acondicionar -Densidad

Ensayos	Toma de muestra (g)	Volumen Tomado	Volumen Desplazado
1	3,0478	50 mL	53 mL
2	3,0094	50 mL	53 mL
3	3,0645	50 mL	53 mL
4	3,0376	50 mL	53 mL

Yacón acondicionado (8,2075%-Humedad)-Densidad

Ensayos	Toma de muestra (g)	Volumen Tomado	Volumen Desplazado
1	3,0244	50 mL	53 mL
2	3,0288	50 mL	53 mL
3	3,0097	50 mL	53 mL
4	3,0285	50 mL	53 mL

El porcentaje de cenizas de la muestra se determina a partir de la siguiente fórmula:

Ecuación 3. Densidad

$$\rho = \frac{m}{V}$$

V = Volumen Desplazado – Volumen tomado

m = Toma de muestra

**Yacón sin Acondicionar**

**Ensayo 1**

$$V = 53 \text{ mL} - 50 \text{ mL} \rightarrow V = 3 \text{ mL}$$

$$m = 3,0478 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{3,0478 \text{ g}}{3 \text{ mL}} \rightarrow \rho = 1,0159 \text{ g/mL}$$

**Ensayo 2**

$$V = 53 \text{ mL} - 50 \text{ mL} \rightarrow V = 3 \text{ mL}$$

$$m = 3,0094 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{3,0094 \text{ g}}{3 \text{ mL}} \rightarrow \rho = 1,0031 \text{ g/mL}$$

### Ensayo 3

$$V = 53 \text{ mL} - 50 \text{ mL} \rightarrow V = 3 \text{ mL}$$

$$m = 3,0645 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{3,0645 \text{ g}}{3 \text{ mL}} \rightarrow \rho = 1,0215 \text{ g/mL}$$

### Ensayo 4

$$V = 53 \text{ mL} - 50 \text{ mL} \rightarrow V = 3 \text{ mL}$$

$$m = 3,0478 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{3,0376 \text{ g}}{3 \text{ mL}} \rightarrow \rho = 1,01253 \text{ g/mL}$$

### Yacón Acondicionado

#### Ensayo 1

$$V = 53 \text{ mL} - 50 \text{ mL} \rightarrow V = 3 \text{ mL}$$

$$m = 3,0244 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{3,0244 \text{ g}}{3 \text{ mL}} \rightarrow \rho = 1,0081 \text{ g/mL}$$

#### Ensayo 2

$$V = 53 \text{ mL} - 50 \text{ mL} \rightarrow V = 3 \text{ mL}$$

$$m = 3,0288 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{3,0288 \text{ g}}{3 \text{ mL}} \rightarrow \rho = 1,0096 \text{ g/mL}$$

#### Ensayo 3

$$V = 53 \text{ mL} - 50 \text{ mL} \rightarrow V = 3 \text{ mL}$$

$$m = 3,0288 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{3,0097 \text{ g}}{3 \text{ mL}} \rightarrow \rho = 1,0032 \text{ g/mL}$$

#### Ensayo 4

$$V = 53 \text{ mL} - 50 \text{ mL} \rightarrow V = 3 \text{ mL}$$

$$m = 3,0285 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{3,0285 \text{ g}}{3 \text{ mL}} \rightarrow \rho = 1,0095 \text{ g/mL}$$

Resultados de densidad

<b>Ensayos</b>	<b>Densidad del Yacón no acondicionado (g/mL)</b>	<b>Densidad del Yacón acondicionado (g/mL)</b>
1	1,01593	1,0081
2	1,00313	1,0096
3	1,02133	1,0032
4	1,01253	1,0095



## ANEXO G.

### PROTOCOLO PH DEL YACÓN

Especificar el pH a nivel laboratorio del yacón a través de la norma técnica colombiana NTC 4592 “productos de frutas y verduras determinación de pH”<sup>133</sup> para diagnosticar esta propiedad son necesarios los siguientes materiales y equipos con su respectivo acondicionamiento:

- Agua destilada
- pH-metro
- Material usual de laboratorio
- Muestra a utilizar

Adecuación de los instrumentos para especificar el pH de la muestra del Yacón (*smallanthus sonchifolius*)

**Diagrama 10.** Adecuación de los instrumentos para hallar el pH

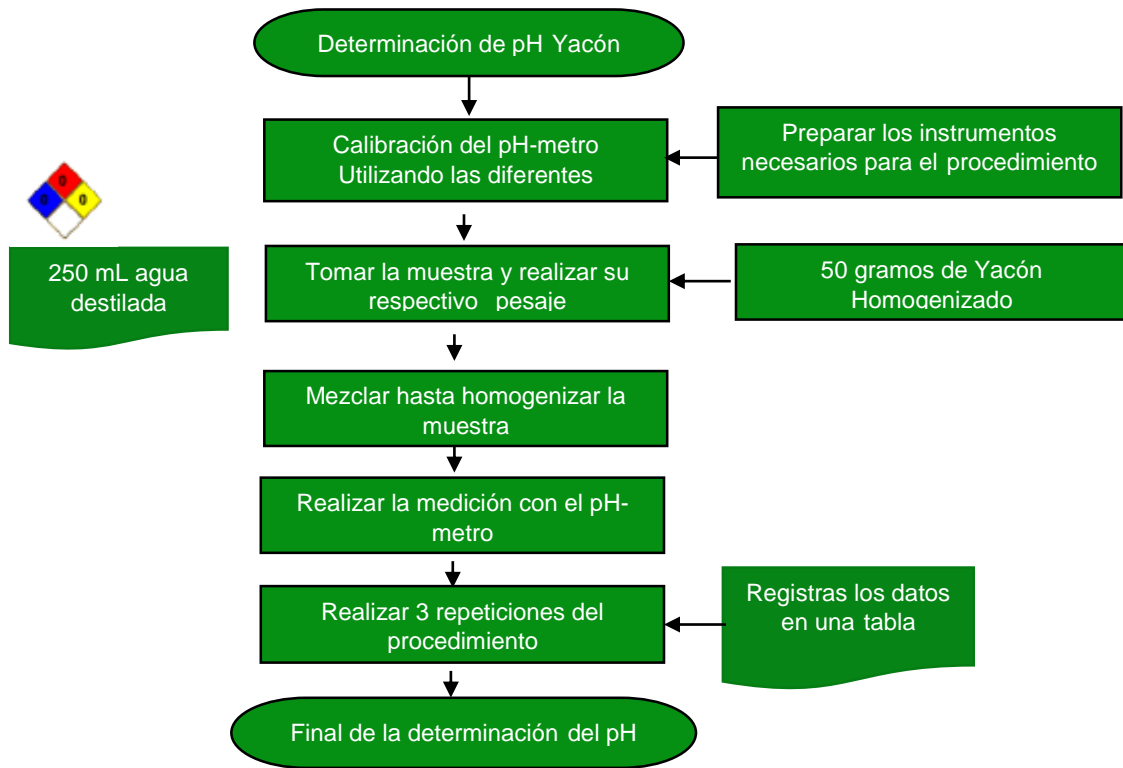


<sup>133</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC); Almidón maíz-alimentos; NTC 4592; Bogotá D.C; 1999, p 6.

Se toman los respectivos datos después de realizar el procedimiento mostrado en el Diagrama 13:

- Calibración de los equipos a utilizar en la práctica
- Tomar 3 gramos de muestra
- Mezclar hasta homogenizar la muestra
- Realizar la medición con el pH-metro
- Hacer 4 repeticiones

**Diagrama 11.** Determinación de pH del yacón



Yacón sin acondicionar

Ensayos	Toma de muestra (g)	Volumen Tomado
1	3,0747	60 mL
2	3,0668	60 mL
3	3,0780	60 mL
4	3,0527	60 mL

Yacón acondicionado ( 5,9002% -Humedad)

<b>Ensayos</b>	<b>Toma de muestra (g)</b>	<b>Volumen Tomado</b>
1	3,0454	60 mL
2	3,0193	60 mL
3	3,0462	60 mL
4	3,0265	60 mL

Resultados de pH

<b>Ensayos</b>	<b>pH del Yacón no acondicionado</b>	<b>pH del Yacón acondicionado</b>
1	6,75	6,05
2	6,68	6,09
3	6,69	6,10
4	6,73	6,05

## ANEXO H.

### ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA

No de ensayos experimentales

$$\text{No. Ensayos} = \{[(\text{Factores})^{\text{Niveles}}] * \text{replicas}\}$$

$$\text{No. Ensayos} = [(2)^3] * 3 = 24$$

## Diseño factorial completo

### Resumen del diseño

Factores:	3	Diseño de la base:	3; 8
Corridas:	24	Réplicas:	3
Bloques:	1	Puntos centrales (total):	0

Todos los términos están libres de estructuras alias.

## Gráfica de cubos (medias de los datos) para Y

## Regresión factorial: Y vs. A; B; C

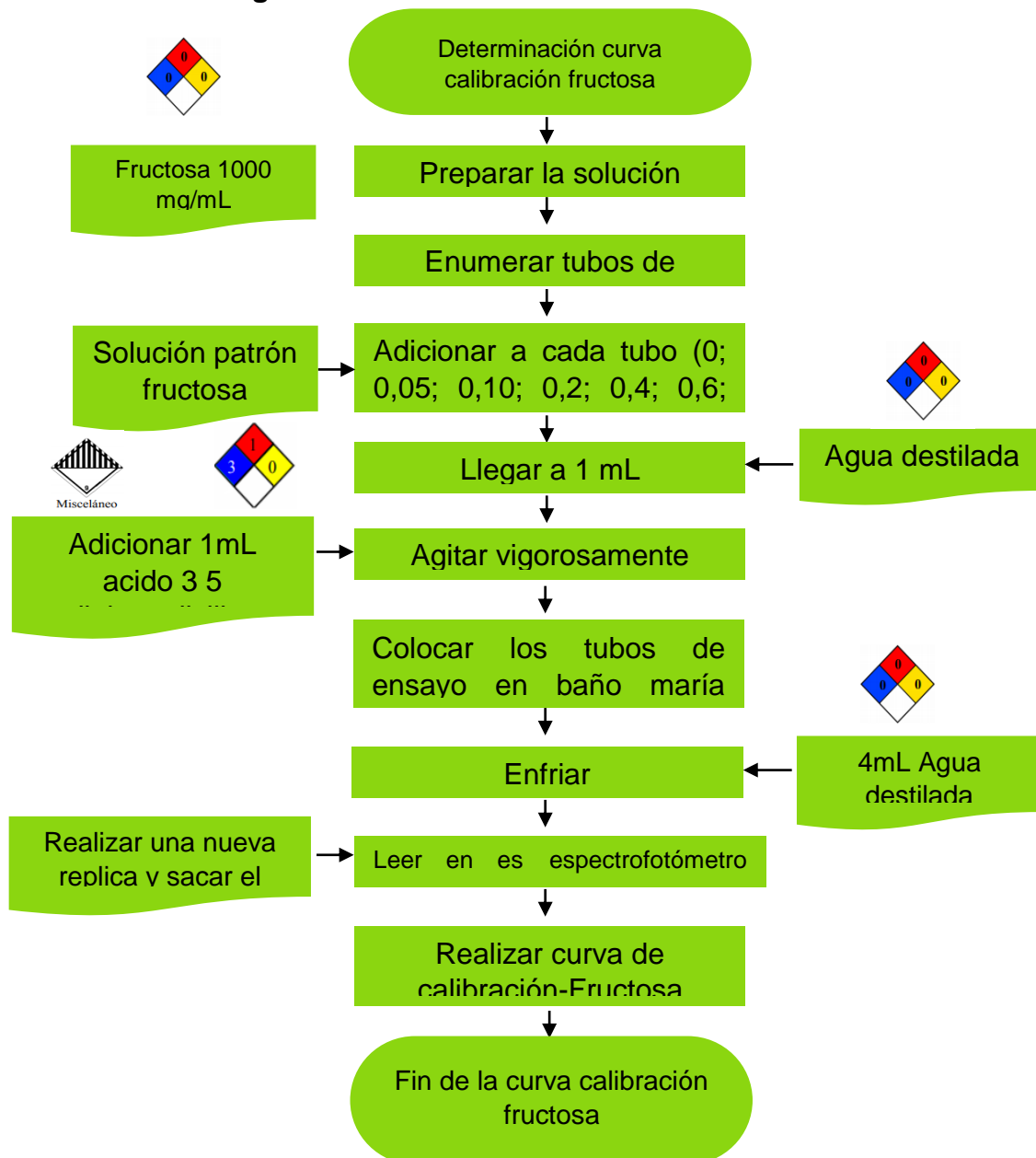
### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	0,000054	0,000008	317,63	0,000
Lineal	3	0,000053	0,000018	737,58	0,000
A	1	0,000041	0,000041	1689,12	0,000
B	1	0,000010	0,000010	393,12	0,000
C	1	0,000003	0,000003	130,50	0,000
Interacciones de 2 términos	3	0,000000	0,000000	1,49	0,255
A*B	1	0,000000	0,000000	0,16	0,699
A*C	1	0,000000	0,000000	3,88	0,066
B*C	1	0,000000	0,000000	0,43	0,521
Interacciones de 3 términos	1	0,000000	0,000000	6,22	0,024
A*B*C	1	0,000000	0,000000	6,22	0,024
Error	16	0,000000	0,000000		
Total	23	0,000054			

## ANEXO I. DIAGRAMAS DE DETERMINACIÓN DE FOS

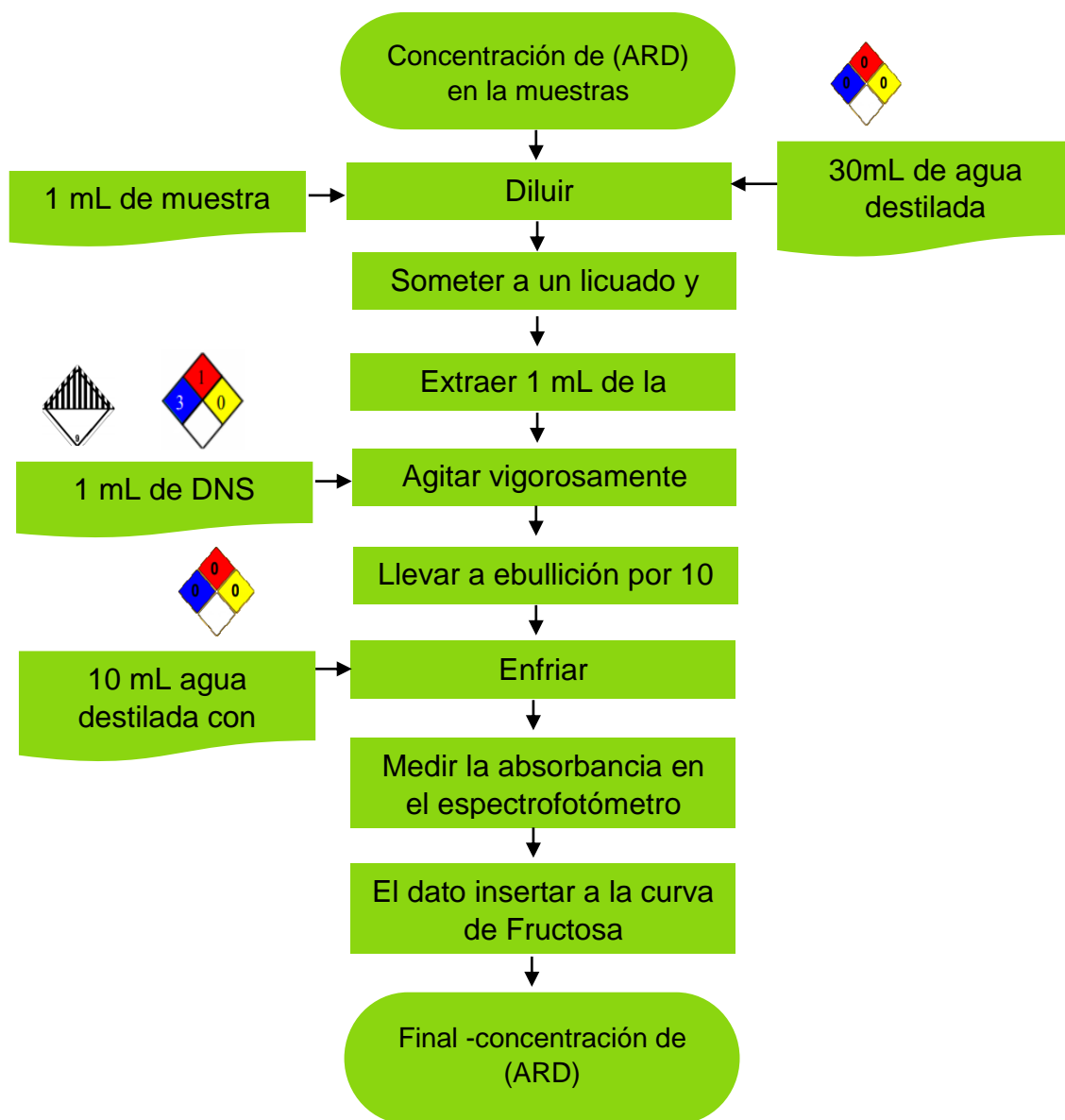
Diagnosticar la propiedad de FOS a nivel laboratorio del yacón a través de la determinación  $ARD$  y  $ARD_1$  a través del método de Miller<sup>134</sup>.

**Diagrama 12.** Determinación de curva de calibración Fructosa



<sup>134</sup> Miller G. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Anal Chem. 1959: p.426-428

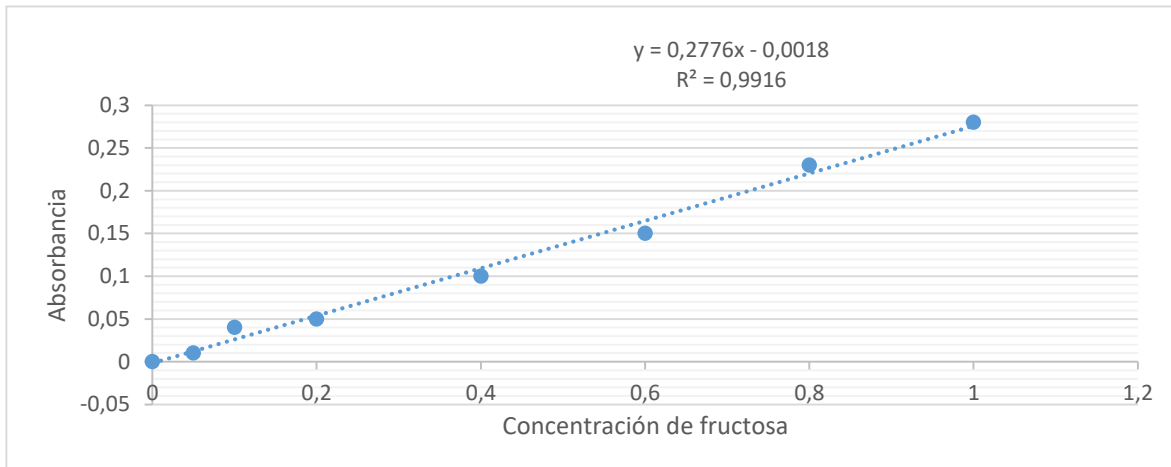
Diagrama 13. Concentración de ARD



## ANEXO J

### RESULTADOS DE LA CURVA DE ABSORCIÓN

Curva de Calibración



ARD (g)	ARD <sub>1</sub> (g)	FOS (g)
7,54	53,68	46,15
7,50	51,48	43,98
7,39	52,38	44,99

$$Y = mx + b \Rightarrow (Y - b) / (m) = x$$

$$FOS = ARD_1 - ARD$$

Datos de la curva de calibración

ARD <sub>1</sub>	Y
1	14,9
2	14,29
3	14,54

ARD	Y
1	2,09
2	2,08
3	2,05

Yacón sin acondicionar

<b>ARD(g)</b>	<b>ARD<sub>1</sub> (g)</b>	<b>FOS (g)</b>
7,86	59,16	51,30
7,68	58,18	50,50
7,72	59,08	51,37

<b>ARD</b>	<b>Y</b>
<b>1</b>	2,18
<b>2</b>	2,13
<b>3</b>	2,14

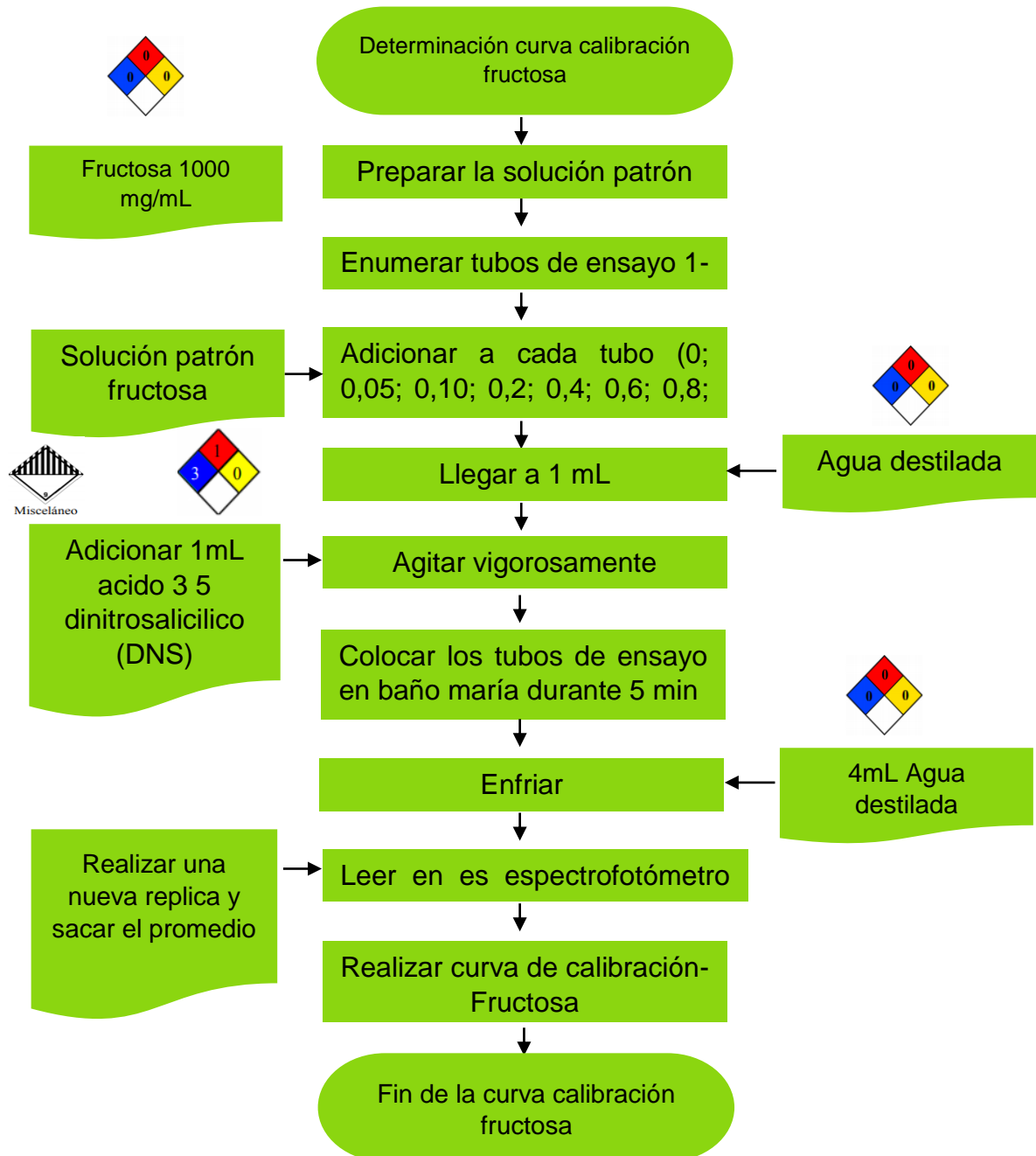
<b>ARD<sub>1</sub></b>	<b>Y</b>
<b>1</b>	16,42
<b>2</b>	16,15
<b>3</b>	16,4



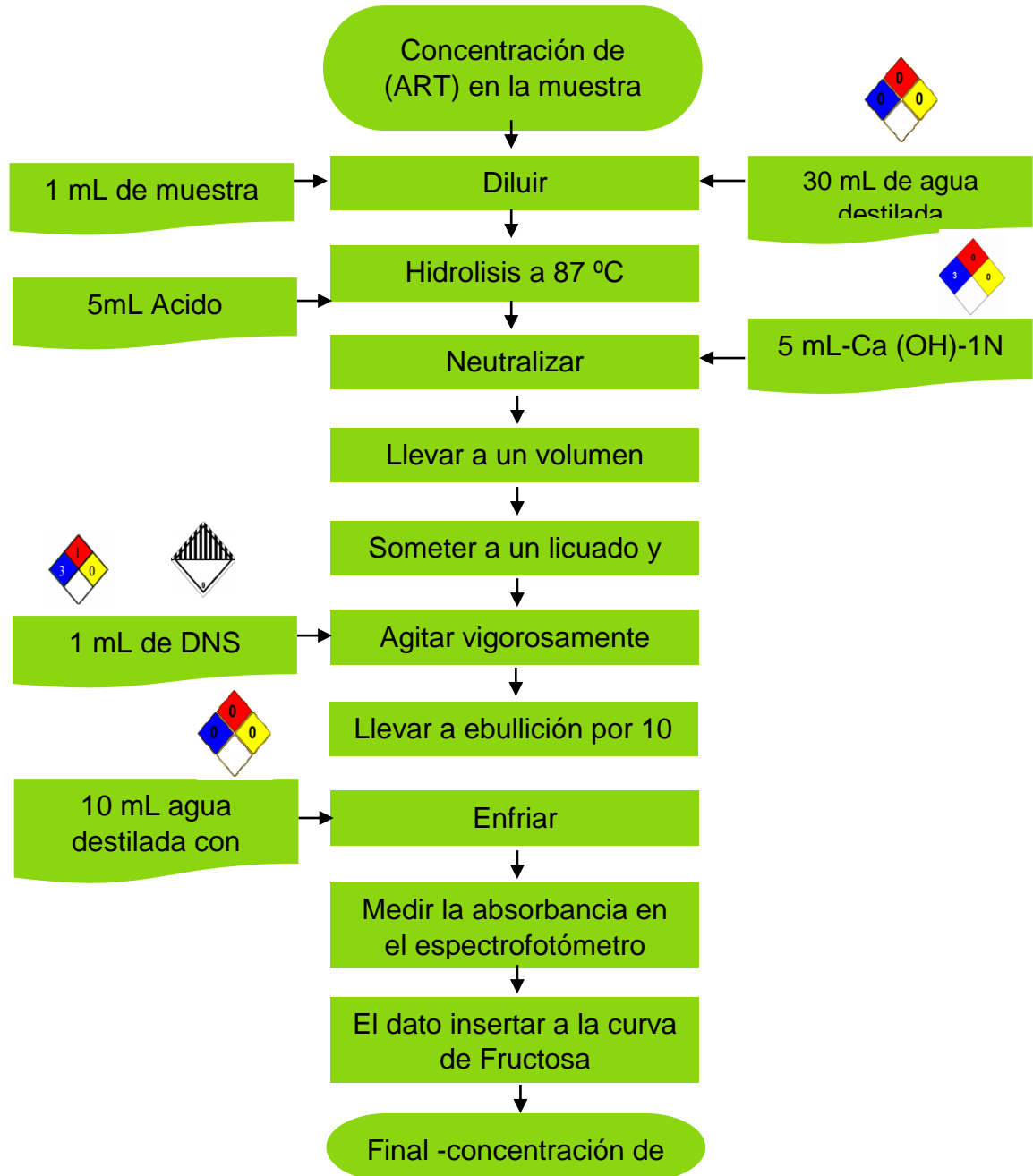
## ANEXO K.

### CUANTIFICACIÓN DE FRUCTOSA

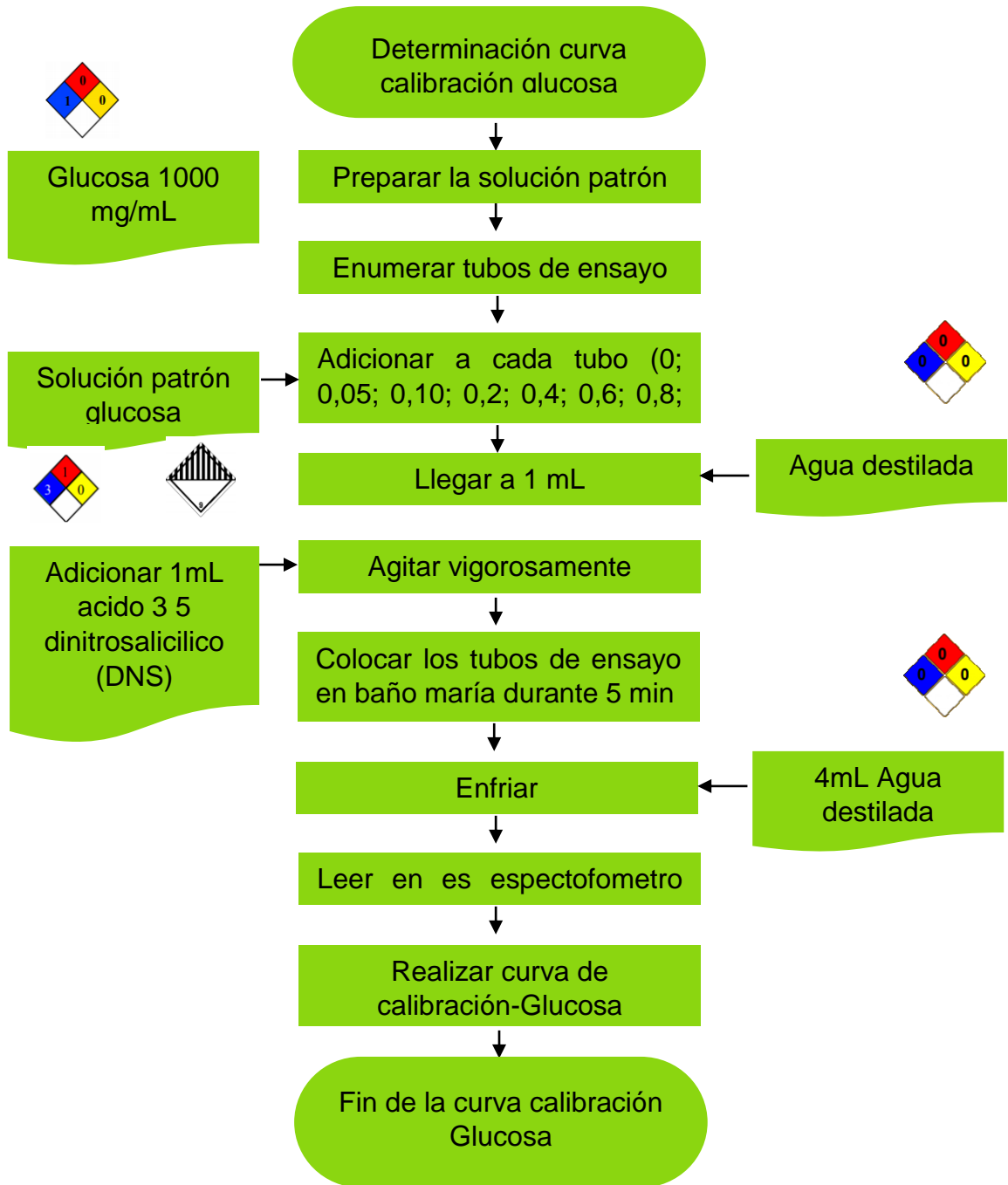
Para determinar la cantidad de fructosa obtenida en 1 mL de extracto de yacón con los respectivos ácidos (HCl Y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) se deben tener presente los Azucares reductores y los Azucares reductores totales.



ANEXO L.  
AZUCARES REDUCTORES TOTALES



**ANEXO M.**  
**DETERMINACIÓN DE GLUCOSA**



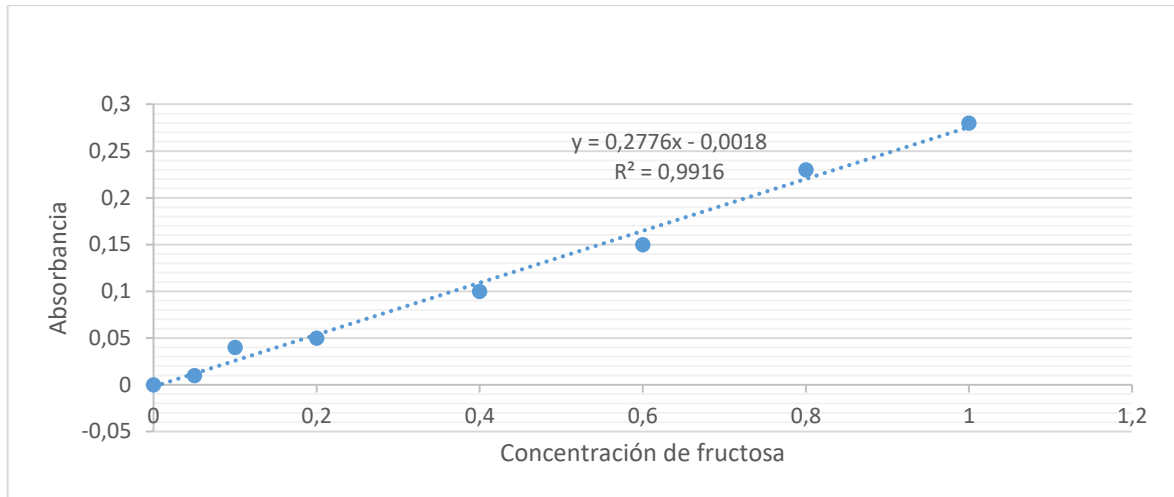
**ANEXO N.**  
**CONCENTRACIÓN DE LA GLUCOSA**



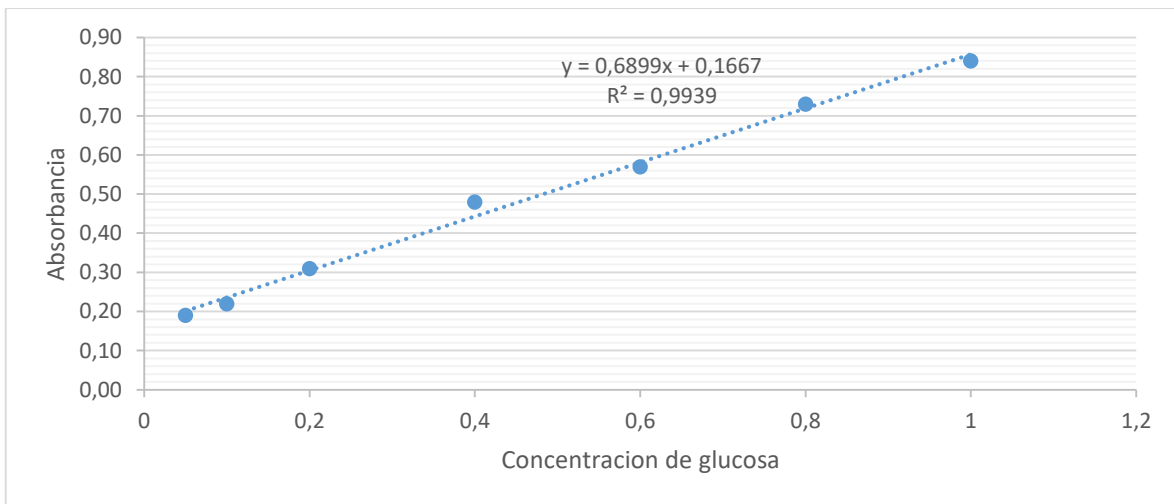
## ANEXO O.

### RESULTADOS DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN

Curva calibración de Fructosa



Curva de calibración de Glucosa



#### Ecuaciones método de Miller

$$\text{FOS} = \text{ARD}_1 - \text{ARD}$$

$$\text{Fructosa} = \text{ART} - \text{GT}$$

## ANEXO P.

### MUESTRA DE CÁLCULOS DE ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO

#### **Proyección de precio**

Proyección del precio.  $\text{Precio Actual} = \text{Precio Anterior} + \text{IPC}$

#### **Proyección de demanda**

Proyección de la demanda.  $\text{Demanda Actual} = \text{Demanda Anterior} + \text{PIB}$

#### **Proyección de ingresos**

Proyección de los ingresos.  $\text{Ingresos} = \text{proyeccion de precio} * \text{proyeccion de demanda}$

#### **Costos de producción**

Costos de producción.  $\text{Costo Pcc por unidad} = \text{precio de insumos} + \text{IPC Costo Pcc por año} = \text{costo pcc por unidad} * \text{proyeccion de demanda}$

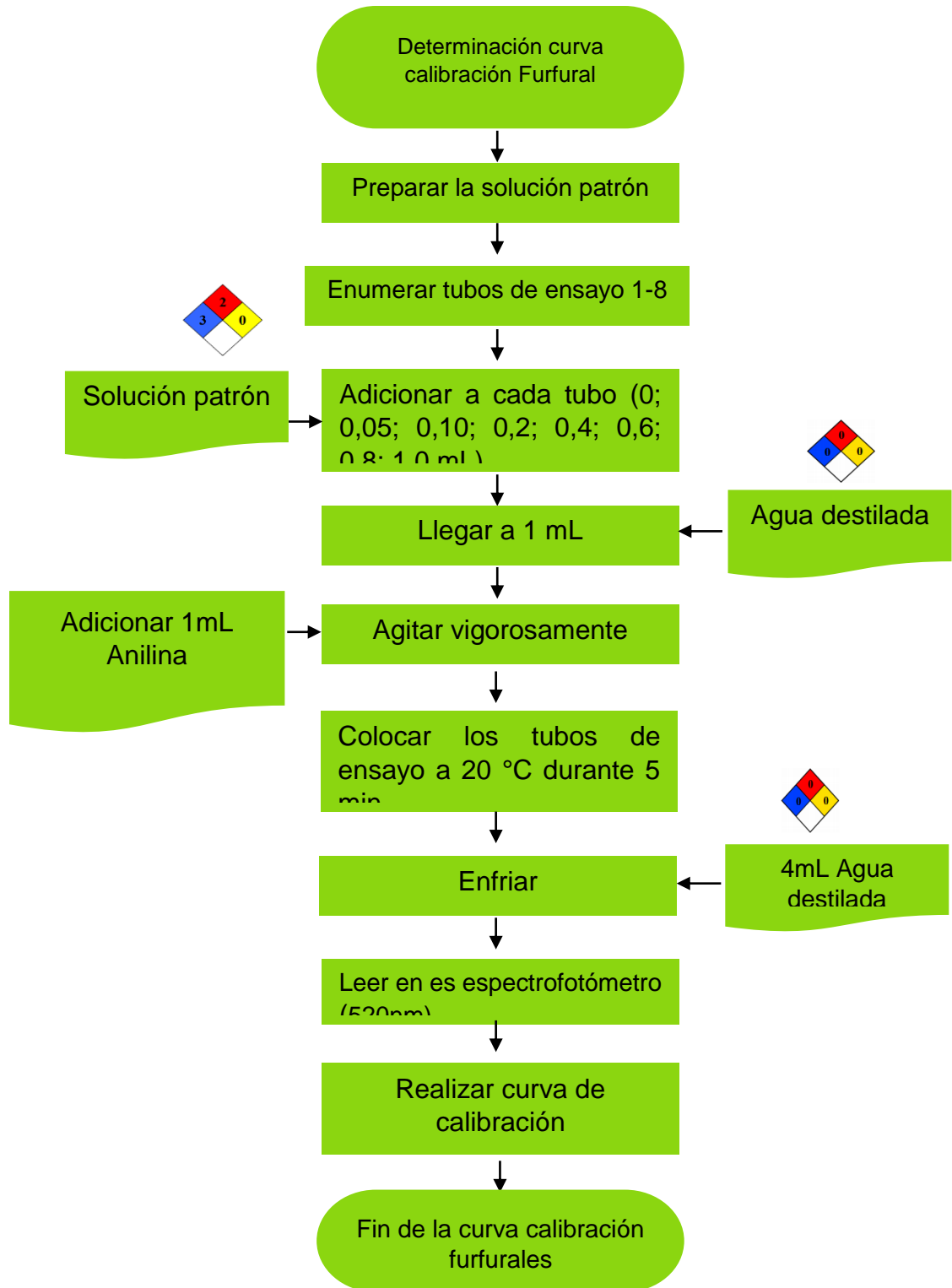
#### **Costos mano de obra**

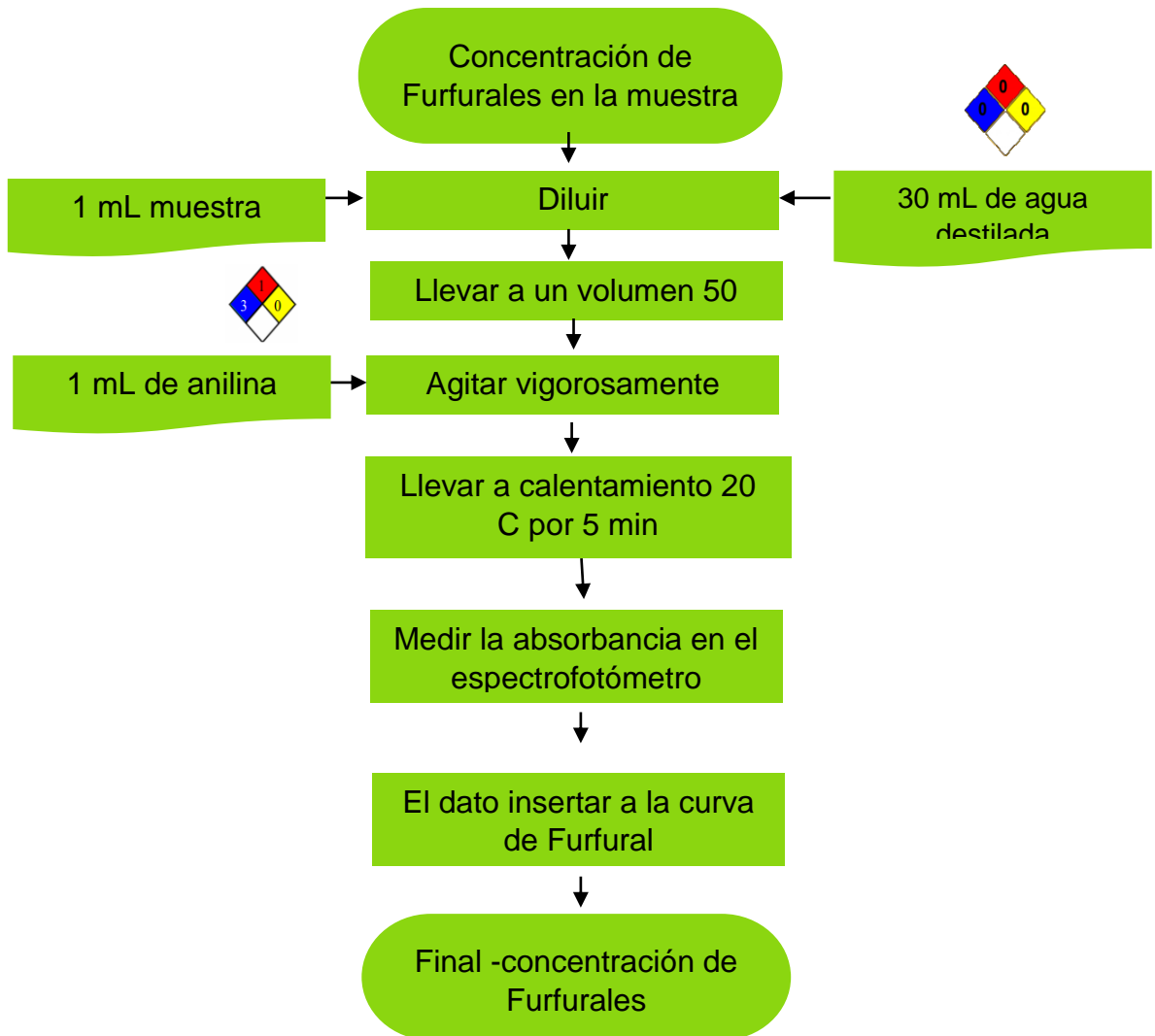
$\text{Sueldo} = \text{Salario mínimo} + \text{aux. de transporte} + \text{Prestaciones sociales} = \text{Cesantias} + \text{Prima de servicios} + \text{Vacaciones} + \text{Interes a las cesantias}$   
 $\text{Aportes parafiscales} = \text{Salud} + \text{Pensiones} + \text{Riesgos profesionales} + \text{Sena} + \text{subsidio familiar} + \text{ICBF}$

#### **Costos indirectos**

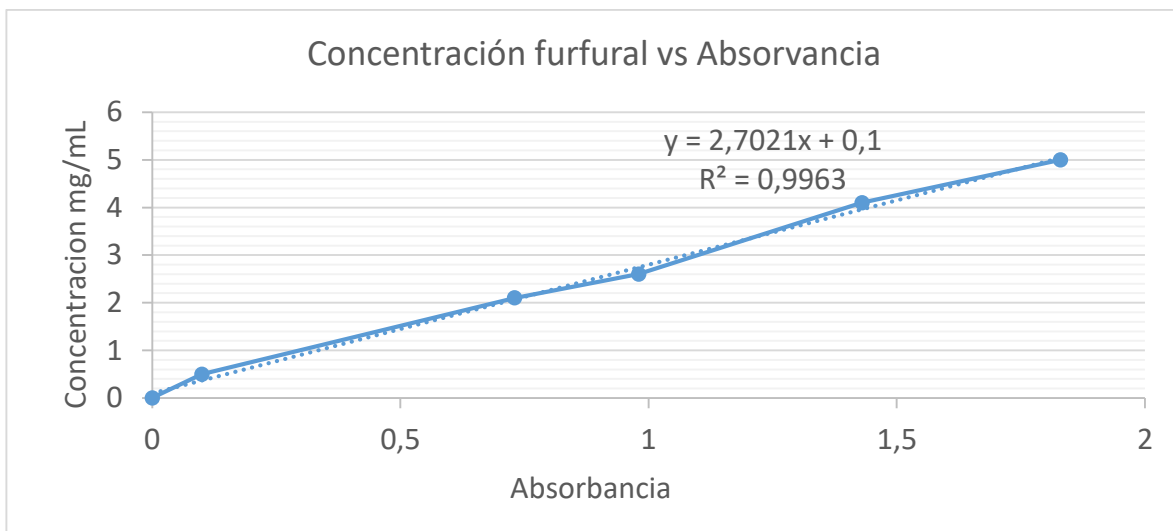
$\text{Costos indirectos} = (\text{seguros} + \text{servicios} + \text{otros}) + \text{IPC}$

**ANEXO Q.**  
**DETERMINACIÓN DE FURFURALES**









$$Y = 2,7021X + 0,01 \longrightarrow X = (Y - 0,01) / (2,7021)$$

Y = Absorbancia tomada

X=Concentración de furfurales en la muestra

Ensayos 97%	Y
1	12,291
2	13,332
3	12,924

Ensayos 97%	X ( g/mL extracto)
1	4,512
2	4,897
3	4,746

Ensayos 37%	Y
1	3,645
2	3,839
3	3,755

Ensayos 37%	X ( g/mL extracto)
1	1,312
2	1,384
3	1,353

**ANEXO R  
COTIZACIONES**

**Horno deshidratador**



**Horno Deshidratador Industrial  
160 Litros De Capacidad Nueva**

- Sistema de circulación de aire de 360 grados.
- Incluye 24 bastidores extraíbles.
- Hasta 50 Kg de producto deshidratado por horneada.
- Pesa 112 libras.
- 110 voltios.
- Hasta 24 horas de trabajo continuo.

**\$4.000.000**

**Molino industrial**

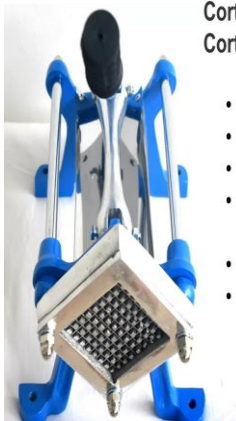


**Molino tradicional para granos Corona**

- Cuerpo Estañado.
- Con Tolva Y Disco Moledor.
- Manivela Con Mango De Madera.
- Especial Para Granos Y Cereales Crudos O Cocidos.
- Molienda Ajustable.
- Mariposa Reforzada.
- Prensa Para Fijar A Mesa O Base.
- Maquina para moler 3 kg

**\$70.000**

**Picadora Industrial**



**Cortadora Picadora De Papa Y Vegetales  
Corte Especial 7 Mm**

- Medida de cuchilla: 12x12 cm
- Corte de 7 X 7 mm
- Cuchilla cambiable manualmente
- Pintura electrostática que brinda resistencia a la abrasión.
- Maquina para picar 8 kg
- Orificios en sus bases para ajustar a la mesa para dar mayor seguridad y rapidez.

**\$100.000**

**Decantador**



**Tanque Decantador De 50kg Inox  
304 Sif**

- Totalmente fabricado en Acero Inox AISI 304 estándar alimenticio
- Decantación por gravedad
- Fondo cónico con salida en medio en curva con Grifos de Corte Rápido en Inox AISI 304
- Diámetro: 360 mm
- Altura de la base del tambor al piso: 320 mm
- Grifo de corte rápido pre ajustado de fábrica
- Código: SDCR-50
- Capacidad: 50 Kg

**\$1.500.000**

## Tanque de Almacenamiento



### Tanque de almacenamiento de acero doble

Capacidad: 10 kg  
Marca: CNZH  
Certificación: ISO9001  
Nombre del producto: Semillas de ta

**\$300.000**

## Evaporador



### Evaporador Rotatorio 50L

- Proceso: Giratorio.
- Marca: ZZKD.
- Voltaje: 110 V/50Hz.
- Peso: 50Kg.
- Certificación: CE ISO.
- Tipo de producto: Evaporador rotatorio químico de laboratorio de 50 l a precio de fábrica.
- Material: DE ACERO INOXIDABLE.
- Control de velocidad: Frecuencia de control de velocidad.
- Grado de vacío: 0.098 Mpa.
- Material de vidrio: GG17 Material de vidrio.
- Sellado: PTFE de sellado al vacío.
- Velocidad de rotación: 0-120 rpm.

**\$8.100.000**

## Reactor



### Reactor de vidrio de 50 litros con revestimiento aut

- Tipo: Caldera de reacción.
- Marca: MINGYI.
- Voltaje: 110 V/50Hz.
- Energía (W): 120W1/3.
- Dimensión (L\*W\*H): 560\*560\*2450mm.
- Peso: 82 kg.
- Certificación: CE ISO.
- Reacción volumen del cuerpo: 50L.
- Presión constante capacidad de la tolva: 2000 ml.
- Rango de temperatura del Reactor: -80-250C.
- Velocidad de agitación: 0-450 rpm.
- Altura de descarga: 450mm.
- Hervidor botella tapa numero: 6.
- Vacío: 0.098Mpa.
- Diámetro del eje: 12mm.
- Tamaño del embalaje: 1720\*680\*850mm.

**\$6.100.000**