UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

TEMA

"Obtención de inulina en tres formas de presentación a partir del Yacón (Smallantus sonchifolius) y la Tuna (Opuntia ficus-indica)"

AUTORES

Yacory Loriley Fernández Pérez

José Elber Villalobos Saucedo

TUTOR

Dr. Amaury Pérez Martínez

Puyo – Ecuador

Febrero, 2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Los criterios emitidos en el proyecto de investigación: ***"OBTENCIÓN DE INULINA EN TRES FORMAS DE PRESENTACIÓN A PARTIR DEL YACÓN (SMALLANTUS SONCHIFOLIUS) Y LA TUNA (OPUNTIA FICUS-INDICA)"***, así como también los contenidos, ideas, análisis, conclusiones y recomendaciones son de exclusiva responsabilidad de nuestra autoría, como autores de este trabajo de grado.

_____ _____

Yacory Loriley Fernández Pérez

DNI: 73132392

Autor

José Elber Villalobos Saucedo

DNI: 48332201

Autor

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Por medio del presente, Amaury Pérez Martínez con CI: 1757150756 y Karel Diéguez Santana con CI: 1757150766 certificamos que Yacory Loriley Fernández Pérez y José Elber Villalobos Saucedo egresados de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Estatal Amazónica, realizaron el Proyecto de investigación titulado: ***"OBTENCIÓN DE INULINA EN TRES FORMAS DE PRESENTACIÓN A PARTIR DEL YACÓN (SMALLANTUS SONCHIFOLIUS) Y LA TUNA (OPUNTIA FICUS-INDICA)"***, previo a la obtención del título de Ingeniero(a) Agroindustrial bajo nuestra supervisión.

_____ _____

Dr. Amaury Pérez Martínez Dr. Karel Diéguez Santana

Oficio No. 115-SAU-UEA-2019

Puyo, 16 de diciembre de 2019

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Proyecto de Investigación correspondiente a los egresados FERNANDEZ PEREZ YACORY LORILEY con C.I. 73132392; y VILLALOBOS SAUCEDO JOSÉ ELBER con C.I. 48332201 con el Tema: **"OBTENCIÓN DE INULINA EN TRES FORMAS DE PRESENTACIÓN A PARTIR DEL YACÓN *(SMALLANTUS SONCHIFOLIUS)* Y LA TUNA *(OPUNTIA FICUS-INDICA)*"**, de la carrera, Ingeniería Agroindustrial. Director de proyecto PhD. Amaury Pérez Martínez, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 6%, Informe generado con fecha 14 de diciembre de 2019 por parte del director, conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco MSc.
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

URKUND

Urkund Analysis Result

Analysed Document:	Obtención de Inulina 2019-36.docx (D61053738)
Submitted:	14/12/2019 17:24:00
Submitted By:	agi2015072@uea.edu.ec
Significance:	6 %

Sources included in the report:

tesis richar pinango.docx (D40519378)
Tesis_Tannia_corregida URKU.doc (D39915469)
TFM - CARMITA TENESACA.pdf (D53879766)
propuesta tecnológica A.O.docx (D33417480)
https://www.scribd.com/document/371842401/Extraccion-y-Caracterizacion-de-La-Inulina-Presente-en-Los-TUBERCULOS-de-LA-DAHLIA-SPP
https://www.thefreelibrary.com/Extraccion+y+caracterizacion+de+la+inulina+presente+en+los+tuberculos...-a0371689781
https://www.researchgate.net/publication/277024376_Perspectivas_de_la_produccion_de_inulina_a_partir_de_la_tuna_Opuntia_ficus-indica
http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/7198/1/PAZMI%C3%91O.pdf
http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9160/1/03%20EIA%20478%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf
eacb88c6-3a66-46e2-a715-8a2c6bc1c589
3ac7fe6a-a68e-43e9-9d54-8f9540be6a57
https://docplayer.es/125384761-Universidad-de-guayaquil-facultad-de-ingenieria-quimica-carrera-de-ingenieria-quimica-proyecto-de-investigacion-previo-a-la-obtencion-del-titulo-de.html
https://docplayer.es/55235431-Universidad-peruana-cayetano-heredia-facultad-de-ciencias-y-filosofia.html

Instances where selected sources appear:

23

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación de proyecto de investigación aprueba el proyecto de investigación titulado: ***"OBTENCIÓN DE INULINA EN TRES FORMAS DE PRESENTACIÓN A PARTIR DEL YACÓN (SMALLANTUS SONCHIFOLIUS) Y LA TUNA (OPUNTIA FICUS-INDICA)"***

_____

Dr. Luis Bravo

Presidente del tribunal

_____ _____

MSc. Fernando Basantes

Miembro del Tribunal

MSc. Franklin Villafuerte

Miembro del Tribunal

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios por haberme dado fuerzas, salud y haber logrado culminar una etapa importante en mi vida.

A mis padres Ítalo Fernández y Rosa Pérez por haber inculcado valores y educación.

Agradezco al Prof. Pedro Santos y a mis tutores por la confianza, criterio profesional y los conocimientos.

Fernández Pérez Yacory Loriley

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por haber guiado y bendecir mi camino, por haberme dado fuerzas, salud y haber logrado culminar una etapa importante en mi vida.

A mis padres Paulino y Selfa por haber formado parte de esta etapa de mi vida, por haber inculcado valores y educación; a mis hermanos Heyner, Jhosuni, Omer, Yuber y Ledy por el apoyo brindado, por consejos que me han dado para seguir adelante.

Agradezco a la Universidad Estatal Amazónica, por haberme dado la oportunidad de cursar mis estudios universitarios. Al PRONABEC y al IFTH, por la gran oportunidad brindada para culminar mi carrera profesional.

A mis tutores por la confianza, criterio profesional y los conocimientos transmitidos para lograr satisfactoriamente la realización de esta investigación, agradecer a los maestros que impartieron sus conocimientos desde el inicio y durante todos los años de estudio en la formación profesional.

Agradezco al Prof. Pedro Santos por el apoyo en los trámites de inicio de mi vida profesional.

Villalobos Saucedo José Elber

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo.

A Dios por darme la perseverancia de alcanzar mis metas.

A mis padres, hermanos por el amor, apoyo, consejos que siempre me han brindado, y por los valores inculcados que me han permitido ser una persona de bien.

A mis tutores por confiar en mí en esta etapa de titulación, por sus consejos y aprendizajes de la vida profesional; a los profesores por los conocimientos en mi formación profesional.

Fernández Pérez Yacory Loriley

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo.

A dios por darme la perseverancia de alcanzar mis metas.

A mis padres, hermanos por el apoyo que siempre me han brindado en esta etapa de mi vida, por sus consejos y valores inculcados que me han permitido ser un hombre de bien.

A mis tutores Amaury Pérez y Karel Diéguez por confiar en mi en esta etapa de titulación, por sus consejos y aprendizajes en la vida profesional; a los profesores por los conocimientos en mi formación profesional.

Villalobos Saucedo José Elber

RESUMEN EJECUTIVO

La inulina es un fructano utilizado como aditivo alimentario en la industria para mejorar las propiedades texturales, como sustituyente en bajos porcentajes al azúcar en productos lácteos y a la grasa en productos cárnicos. Es considerado un prebiótico por sus beneficios a la salud. El objetivo de la investigación fue obtener inulina en tres formas de presentación a partir del yacón *(Smallantus sonchifolius)* y la tuna *(Opuntia ficus-indica)*. El proceso de obtención de la inulina diluida, sirope y cristales se realizó por el método de extracción sólido líquido, evaporación y cristalización respectivamente. La extracción se realizó con una relación soluto (materia prima) disolvente (agua) 1:5 por un tiempo de 25 min a una temperatura de 70 y 90°C y el tipo de materia prima (yacón y tuna). Se evaluó las características físico-químicas de las materias primas: peso, °Brix, humedad y pH. La identificación y cuantificación de la inulina se realizó mediante la aplicación del método de Park Johnson. El mayor contenido de inulina fue 8,96%, que corresponde al diluido de yacón y a una temperatura de 90°C.

PALABRAS CLAVES: INULINA, YACÓN, FRUCTOOLIGOSACÁRIDOS.

ABSTRACT

Inulin is a fructan used as a food additive in the industry to improve textural properties, as a substituent in low percentages to sugar in dairy products and to fat in meat products. It is considered a prebiotic for its health benefits. The objective of the investigation was to obtain inulin in three forms of presentation from the yacon (Smallantus sonchifolius) and the tuna (Opuntia ficus-indica). The process of obtaining diluted inulin, syrup and crystals was carried out by the method of liquid solid extraction, evaporation and crystallization respectively. The extraction was carried out with a solute ratio (raw material) solvent (water) 1: 5 for a time of 25 min at a temperature of 70 and 90 ° C and the type of raw material (yacon and prickly pear). The physical-chemical characteristics of the raw materials were evaluated: weight, ° Brix, humidity and pH. The identification and quantification of inulin was performed by applying the Park Johnson method. The highest inulin content was 8.96%, which corresponds to the diluted yacon and at a temperature of 90 ° C.

AND KEYWORDS: INULIN, YACÓN, FRUCTOOLIGOSACCHARIDES.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I **1**

1 INTRODUCCIÓN **1**

1.1 JUSTIFICACIÓN. 2

1.2 PROBLEMA 3

1.3 OBJETIVOS 3

1.3.1 OBJETIVO GENERAL *3*

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS *3*

CAPÍTULO II **4**

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN. **4**

2.1 ANTECEDENTES 4

2. 2 CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS Y QUIMICAS DE LA TUNA *(OPUNTIA FICUS-INDICA)* . 5

2.2.1 Composición química *5*

2.2.2 Efectos benéficos del consumo de la tuna *5*

2.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICO BOTÁNICAS DEL YACÓN 6

2.3.1 Composición química *6*

2.3.2 Cambios postcosecha y procesamiento *7*

2.3.3 Efectos benéficos del consumo de yacón *7*

2.4 INULINA 7

2.4.1 Características físicas químicas de la inulina *8*

2.4.2 Fuentes de inulina *9*

2.4.3 Aplicaciones Industriales *10*

Industria alimentaria: 10

Industria farmacéutica: 10

2.5 MÉTODO DE OBTENCIÓN DE INULINA 11

2.5.1 Extracción sólido-líquido o lixiviación *11*

2.5.2 Extracción por ultrasonido *11*

2.5.3 Parámetros operacionales *12*

CAPÍTULO III **13**

3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN **13**

3.1 LOCALIZACIÓN 13
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN 13
3.3 METODOS DE INVESTIGACIÓN 13
3.3.1 Materia prima *13*
3.4 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL 14
3.4.1 Determinación de los parámetros fisicoquímicos de las materias primas *14*
Determinación de peso 14
Determinación de humedad 14
Determinación de °Brix 14
Determinación de pH 14
3.4.2 Descripción del proceso de obtención de inulina. *15*
3.4.3 Caracterización, identificación y cuantificación de la inulina *16*
Determinación de °Brix 16
Identificación y Cuantificación del contenido de inulina 16
3.4.4 Diseño experimental *17*
CAPÍTULO IV 18
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 18
4.1 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LAS MATERIAS PRIMAS 18
4.2 CONDICIONES EXPERIMENTALES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN, CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LA INULINA 19
4.2.1 Identificación y cuantificación de la inulina *20*
4.2.2 Influencia de los factores en el contenido de inulina. *21*
CAPÍTULO V 23
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 23
5.1 CONCLUSIONES 23
5.2 RECOMENDACIONES 23
CAPÍTULO VI 24
6 BIBLIOGRAFÍA 24
CAPÍTULO VII 28
7 ANEXOS 28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contenido de fructanos en diferentes plantas. 9
Tabla 2. Factores del diseño experimental 17
Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos de las materias primas. 18
Tabla 4. Resultados de los °Brix de las presentaciones en diluido y en sirope de los ensayos realizados 19
Tabla 5. Contenido de inulina en cada uno de los ensayos realizados 21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la inulina D-glucopiranosil y la estructura de la inulina β-D-F-fructopiranosil..... 8
Figura 2. Diagrama de flujo de extracción de cristales de inulina. A) proceso de obtención de inulina diluida, B) proceso de obtención de inulina en sirope y C) proceso de obtención de inulina cristalizada..... 15
Figura 3. Evolución de los °Brix en la concentración de las muestras..... 20
Figura 4. Inulina en diluido, en sirope, cristalizado. 20
Figura 5. Identificación de la presencia de inulina..... 21
Figura 6. Diagrama de Pareto del efecto de los factores individuales y la combinación de ellos..... 22

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Pesado de la materia prima y residuos. 28
Anexo 2. Extracción de pulpa de tuna 28
Anexo 3. Etapa de extracción sólido-líquido 29
Anexo 4. Medición de pH 29
Anexo 5. Etapa de concentración de las muestras 30
Anexo 6. Filtrado de las muestras. 30
Anexo 7. ANOVA considerando 2 factores de estudio: Tipo de materia prima y temperatura y la interacción de ambas. 31
Anexo 8. Tabla de R- cuadrado de los 2 factores de estudio: Tipo de materia prima y temperatura y la interacción de ambas. 31
Anexo 9. Modelo del contenido de inulina del yacón y tuna. 32
Anexo 10. ANOVA considerando el efecto individual del tipo de materia prima y temperatura 32
Anexo 11. Análisis de cuadrados de los factores individualmente. 33
Anexo 12. Contenido de inulina con respecto a la materia prima 33
Anexo 13. Contenido de inulina con respecto a la temperatura. 34

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

Los países que tienen la presencia de la cordillera de los andes en su geografía presentan variedades de cultivos, que se han mantenido a lo largo del tiempo y muchas de estas plantas forman parte de alimentos de primera necesidad como la papa que es conocida a nivel mundial y otras que hasta la actualidad son desconocidas en los propios países de origen; por ejemplo, frutales como el Aguaymanto, granos, cactus como la tuna, nuevas especies de raíces y Tubérculos Andinos, como la achira *(Canna edulis)*, la ahipa *(Pachyrhizus ahipa)*, la arracacha *(Arracacia xanthorrhiza)*, la maca *(Lepidium meyenii)*, el yacón *(Smallantus sonchifolius)*, la mashua o isaño *(Tropaeolum tuberosum)*, la mauka *(Mirabilis expansa)*, la oca *(Oxalis tuberosa)* y el ulluco o papalisa *(Ullucus tuberosus)* (Barrera, 2003).

El Perú es uno de los países que ha dado importancia y renombre al cultivo de yacón, el cual ha sido considerado como "cultivo para el futuro" cultivándose en grandes extensiones (Arango Bedoya, Cuarán, y Fajardo, 2008). Las raíces de yacón *(S. sonchifolius)*, presenta un sabor dulce, debido a su contenido de carbohidratos solubles, los principales azúcares son los Fructooligosacáridos. La tuna es una más de las especies en las que se encuentran fructooligosacáridos (FOS) (Fenner Scher, Brandelli, y Zapata Noreña, 2015) al igual que el yacón además contiene altos niveles de vitamina C, pigmentos, minerales y fibra (Terán, Navas, Petit, Garrido, y Aubeterre, 2015).

Los alimentos que contienen FOS en su estructura forman parte de la gran gama de alimentos funcionales (Olagnero y col., 2007). Los FOS son carbohidratos naturales que están compuestos por cadenas de unidades de fructuosa, estos se encuentran presentes en diversas plantas alimenticias, en bulbos como el ajo, cebolla, en verduras: la lechuga, cereales como el trigo, frutas como la tuna, raíces como el yacón, dalias, la papa china (Inga Guevara y col., 2015). Acualmente ya son utilizados como aditivos alimenticios, atribuyendo nuevas propiedades y características a los alimentos.

Los FOS son prebióticos de gran importancia en el consumo dietético, ya que es un tipo de fibra que no puede ser digerible en el estómago de los humanos, pero, sí en el colon (Madrigal y Sangronis, 2007).

Las investigaciones sobre la inulina, recalcan los efectos positivos de los mismos, en la salud y en la industria alimenticia, entre ellos: regulación de las bacterias en el colon contribuyendo además a mitigar la glucosa en la sangre, permite la biodisponibilidad de calcio y magnesio, y es utilizado por sus diversos efectos benéficos en el procesamiento de alimentos (Inga Guevara y col., 2015).

Existe estudios científicos sobre la extracción y obtención de la inulina, su metodología, variables y métodos de cuantificación de la presencia de FOS (Inga Guevara y col., 2015). Fuentes Campos y col. (2013), exponen el proceso de extracción inulina en cristales presente en los tubérculos de *Dahlia* spp. Álvarez F. y col. (2008), obtiene la inulina en diluido de las raíces de yacón (*S. sonchifolius*) como prebiótico.

En Ecuador se han realizado proyectos de investigación sobre la extracción y cuantificación de la inulina. Estos estudios tienen la finalidad de evaluar las propiedades organolépticas de la inulina cuando es incorporada a productos ya existentes (Escobar, 2017; Lara Fiallos y col., 2017).

Pazmiño Zambrano (2014), obtuvo inulina a través de hidrólisis empleando ácido oxálico al 5%. En su estudio, utiliza las raíces y hojas de la planta de yacón deshidratas. Pinango Cacuango (2019), extrae y cuantifica la inulina de tuna (*opuntia ficus-indica)* a través del método de lixiviación.

1.1 JUSTIFICACIÓN.

La producción de inulina a nivel industrial se obtiene de la achicoria y del agave, por lo tanto, se han estudiado nuevas fuentes de inulina entre ellas variedades de especies vegetales que presenten inulina en su composición para que puedan abastecer la demanda de mercado.

Ecuador posee especies vegetales oriundas que contienen considerables niveles de FOS, que no son aprovechadas con un enfoque industrial para la producción de inulina. En las investigaciones, el proceso de extracción de inulina solo se ha valorado desde las raíces y hojas deshidratadas del yacón, y frutos de la tuna. Sin embargo, reportes científicos indican presencia de inulina no solo en los frutos, sino, también en otras partes de la planta. Por lo tanto, se investigan nuevas formas de obtención de inulina, enfocado en obtener la estabilidad del producto y un mayor rendimiento.

1.2 PROBLEMA

¿Cómo aprovechar el yacón *(Smallantus sonchifolius) y* la tuna *(Opuntia ficus-indica)* para producir inulina en el Ecuador?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Obtener inulina en tres formas de presentación a partir del yacón *(Smallantus sonchifolius)* y la tuna *(Opuntia ficus-indica).*

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar los parámetros fisicoquímicos de las materias primas.
2. Determinar las condiciones experimentales del proceso de extracción de inulina.
3. Cuantificar el contenido de inulina obtenido en las tres formas de presentación

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.

2.1 ANTECEDENTES

Arango Bedoya y col. (2008)en su investigación de Extracción, cristalización y caracterización de inulina a partir de yacón (*S. sonchifolius* (poepp. & endl.) para su utilización en la industria alimentaria y farmacéutica, se basa en la optimización del proceso de extracción sólido-líquido, con agua caliente, para obtener inulina a partir de raíces de yacón, con variables de temperatura de extracción (65-85°C) con un tiempo de extracción (15 a 25 min) y una relación soluto disolvente (500g:3-7mL). La cuantificación de inulin3a presente en el extracto se hizo a través de refractometría.

Fuentes Campos y col. (2013) en su estudio de investigación "Extracción y caracterización de la inulina presente en los tubérculos de la Dahlia spp", para la extracción y precipitación de la inulina se usaron como solvente de cristalización el etanol 96 % grado comercial en relación (1:1), carbonato de calcio $CaCO_3$ grado alimentario, sistema de baño María, bomba centrífuga y licuadora.

Lara Fiallos y col. (2017) en su revisión de Avances en la producción de inulina dan a conocer las operaciones principales de obtener inulina: limpieza y selección de materia prima, reducción de tamaño, filtración, extracción con solventes, purificación, evaporación y secado. Además, cita que, en estudios realizados en yogurt, al añadir el uno por ciento de inulina en leche descremada es capaz de generar un producto comparable en atributos sensoriales con un yogurt fabricado con leche entera, sin efectos contrarios en la acción de los cultivos lácteos empleados inicialmente en su elaboración.

Escobar (2017) en su investigación "La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales", presentan evidencias promisorias de la inulina en la regulación de parámetros lipídicos, reducción del riesgo de cáncer, refuerzo de la respuesta inmune y protección contra desórdenes intestinales. La inulina se utiliza como espesante, emulsificante, gelificante, sustituto de azúcares y de grasas, humectante, depresor del punto de congelación.

2. 2 CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS Y QUIMICAS DE LA TUNA *(OPUNTIA FICUS-INDICA)*

La tuna o nopal es oriundo de América, crece en suelos áridos o semiáridos, se caracteriza por tener tolerancia a las variantes condiciones ambientales. Su nombre científico *Opuntia ficus-indica,* perteneciente a la familia *Cactaceae,* presentan acumulación de agua en su interior, y brinda dos partes aptas para su consumo: el fruto de la tuna o nopal y el nopalito o penca tierna (Pinango Cacuango, 2019).

Los frutos de tuna, tallos o cladodios presentan características distintivas: articulados y ramificados, aplanados, con forma ovalada, su fruto es espinoso y su flor es de color rojizo. En su interior se encuentra una masa carnosa, la cual, está compuesta por tejido celulósico que con el paso del tiempo va adquiriendo dureza dando una apariencia rígida. El color varía de entre verde claro – obscuro hasta grisáceo o cenizo (Guzmán Loayza y Chávez, 2007).

2.2.1 Composición química

Granados Sánchez y Castañeda P (1991), menciona que la composición química puede variar tanto en las distintas especies de cactáceas como las de la misma especie; dicho estudio reporta: 2,1% de ceniza en base húmeda para *Opuntia ficus-indica* y 4,3% para *Opuntia spp blanca*, además 0,22% de calcio, 0,027% de hierro, 1,07 de proteínas, indicios de cobalto, cobre, magnesio, fósforo.

Ochoa y Guerrero (2010), mencionan que la tuna está compuesta por agua 84-90%, carbohidratos 10-15% (de los cuales destaca la inulina), sólidos solubles, glucosa y fructosa. Según Sumaya Martinez, Suárez Diéguez, Cruz Cansino, Alanís García, y Sampedro (2010), la tuna presenta compuestos bioactivos como vitaminas C y E, polifenoles y taurina.

2.2.2 Efectos benéficos del consumo de la tuna

Ochoa y Guerrero (2010), describen que el consumo de tuna mejora la función plaquetaria, reduce el colesterol total, lípidos y triglicéridos de la sangre. Es utilizada en tratamientos de gastritis, diabetes, hiperglucemia, y arteriosclerosis.

Presenta inulina, la cual se ha demostrado que es un prebiótico, y a su vez pasa a ser parte de un alimento funcional, que su efecto al consumir disminuye la glucosa en la sangre, contribuye a la absorción de calcio para combatir la osteoporosis (Benítez Cortés, Pérez Martinez, Álvarez Borroto, Collado García, y González Díaz, 2015).

2.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICO BOTÁNICAS DEL YACÓN

Es una planta que pertenece a la familia *Asteraceae*, su nombre científico es *S. sonchifolius.* También se le conoce como llacón, aricoma, jícama; brinda sus raíces para consumo en fresco y sus hojas en infusión (Fenner Scher y col., 2015).

El yacón es una planta que alcanza de 0,7 a 2,5m de altura, sus áreas de cultivo deben estar de 1100 a 2500 m.s.n.m., sus zonas de cultivo son principalmente en los Andes requiere de 1000mm de lluvia anual, es frágil a las heladas y presenta elevado potencial de brote. Puede llegar a producir de 2 a 3 kg de raíces carnosas de 0,2 a 2 kg cada una y presentan una forma parecida al camote, la cosecha se realiza después de los 6 o 9 meses de edad, presentando un rendimiento aproximado de 20 a 40 t/ha (Mescua Mendez, 2017).

Las raíces presentan una superficie lisa y cáscara fina, en el interior de las raíces se acumula gran cantidad de agua. Estas presentan un bajo valor energético, aunque presenta un sabor dulce debido a la abundancia de sólidos solubles que presenta. Los principales carbohidratos presentes en el yacón son los FOS (Fenner Scher y col., 2015).

Al ser el yacón un producto no muy conocido, su consumo y su producción no es significativa. En el Ecuador se cultiva en huertos familiares y ecológicos, las provincias en orden de importancia son: Loja, Azuay, Cañar y Bolívar, y puede encontrarse en mercados a un precio de 3 a 5 dólares la libra.

2.3.1 Composición química

Las raíces frescas de yacón contienen principalmente agua en su estructura, 10-14% de materia seca y carbohidratos (de los cuales 40 a 70% son FOS). Las raíces no contienen almidón porque almacena su energía en forma de FOS, los otros carbohidratos presentes en las raíces son glucosa, fructuosa y sacarosa. Los valores de su composición pueden variar debido a diversos factores de cultivo, el contenido de lípidos y proteínas que presenta son relativamente bajos de 2,4% a 4,3% y 0,14% a 0,43% medidos en materia seca, contiene minerales, dentro de ellos el más representativo es el potasio y en bajas cantidades está el hierro y el magnesio; además contiene compuestos antioxidantes como polifenoles (Carvalho Salvador y col., 2012).

2.3.2 Cambios postcosecha y procesamiento

Una vez cosechadas, las raíces de yacón, empiezan un proceso de hidrólisis en donde los FOS tienden a convertirse en azúcares simples, si el almacenamiento se prolonga por 12 días a una temperatura de 25°C una tercera parte de los FOS es hidrolizado (Mescua Mendez, 2017).

La costumbre de colocar las raíces a los rayos del sol no es beneficioso porque causa la hidrólisis de los FOS, además adquieren una superficie no agradable y pierden peso. Para obtener productos que contengan altos valores de FOS en su composición, se deben procesar en las primeras horas después de la cosecha, en ambientes con temperaturas bajas y alta humedad, de esta manera se logrará disminuir las pérdidas de FOS (Mescua Mendez, 2017).

El yacón debido a la reacción de los polifenoles con los aminoácidos, presenta una acelerada reacción de pardeamiento haciendo que se oscurezca rápidamente dándole coloración verde o negra. Este pardeamiento en el procesamiento se puede controlar con la inmersión en solución antioxidante, secado al vacío, variaciones de temperaturas y neutralizar el pH (Valentová y Ulrichová, 2003).

2.3.3 Efectos benéficos del consumo de yacón

El consumo de yacón es muy beneficioso para personas que presentan diabetes o aquellas personas que manifiestan problemas digestivos ya que contiene FOS que es un tipo de fibra no se digiere en el intestino delgado y solamente son hidrolizados y fermentados por las bacterias presentes en el colón, además baja los niveles de colesterol y previene algunos tipos de cáncer. Ayuda a la asimilación de minerales en el organismo, produce efectos positivos en la salud de las mujeres premenopáusicas, ingesta diaria de FOS al día disminuye el peso corporal y no produce alteraciones gastrointestinales adversas (Bibas Bonet y col., 2010).

2.4 INULINA

La inulina es una sustancia vegetal descubierta por el científico alemán Rose en 1804 y en 1818 Thompson las denominó inulinas. Julius Sachs (1864) considerado pionero en la investigación de fructanos, logra identificar los cristales de inulina con ayuda del microscopio (Benítez Cortés y col., 2015).

La inulina también conocida como FOS son carbohidratos naturales que están compuestos mayoritariamente por cadenas de unidades de fructuosa, es sintetizado por la sacarosa y está presente en muchas variedades de especies vegetales como carbohidrato de reserva o almacenamiento (Benítez Cortés y col., 2015).

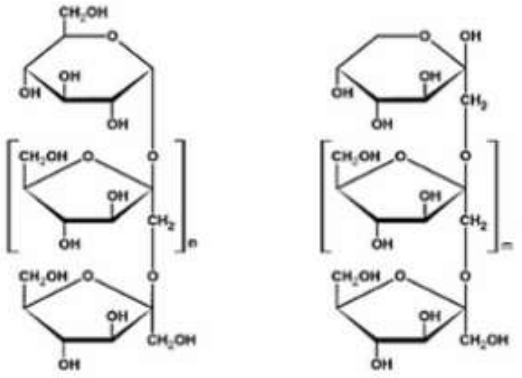


Figura 1. Estructura de la inulina D-glucopiranosil y la estructura de la inulina β-D-F-fructopiranosil.

La inulina presenta de manera predominante la unión fructosil-fructosa β (2->1), el cual causa que la inulina no sea digerible como cualquier alimento ingerido, y por efecto de ello los niveles calóricos son muy bajos (Arango Bedoya y col., 2008), pero si es asimilada por las bifidobacterias y es considerada como prebiótico (Lara Fiallos y col., 2017). Los prebióticos forman parte de los alimentos funcionales, se denominan así porque al ser consumidos causa afectaciones positivas y específicas, que más allá de contener un valor nutritivo promueven un efecto fisiológico o psicológico (Olagnero y col., 2007).

2.4.1 Características físicas químicas de la inulina

Tanto la inulina como los fructanos no pueden ser hidrolizados por las enzimas digestivas que se encuentran en el tracto superior gastrointestinal: estómago e intestino delgado. Pero si son hidrolizadas por la microflora bacteriana presente en el colon. Al tener dicha particularidad, son denominadas fibra dietética con un bajo contenido calórico (Madrigal y Sangronis, 2007).

A nivel industrial, la inulina se comercializa en polvo, de color blanco, sin olor, sabor neutral, sin efecto residual y la oligofructosa en polvo y en jarabe viscoso. El tipo de inulina depende del grado de pureza que contiene. La inulina nativa contiene mayor cantidad de azúcares libres: glucosa, fructosa y sacarosa, responsables de conferir el sabor dulce y mayor grado de solubilidad. La inulina de alta pureza (AP) presenta menor solubilidad y casi en su totalidad es libre de azúcares libres (Madrigal y Sangronis, 2007).

2.4.2 Fuentes de inulina

La inulina puede ser de origen vegetal o microbiano, la diferencia entre las fuentes se da en el grado de polimerización (GP), ya que el GP de la inulina vegetal es inferior al GP de la inulina de origen microbiano (Álvarez Borroto, Ruano Nieto, Calle Miñaca, y Lara Fiallos, 2015).

A la actualidad se han reportado 36 000 especies vegetales que contienen inulina entre ella está el grupo de las *Liliaceae*: ajo, cebolla, espárrago, ajo porro. Las *Compositae*: achicoria, pataca, yacón. Las *Agavaceae*: agave o maguey, henequén, y las *Cactaceae*: tuna, chumbera o nopal, etc. (Benítez Cortés y col., 2015). La **Tabla 1** muestra las fuentes de inulina.

Tabla 1. Contenido de fructanos en diferentes plantas.

Nombre científico	**Nombre común**	**Fructano**	**%**
Cichorium intybus	Achicoria	Inulina	16-20
Helianthus tuberosus	Topinambur	Inulina	15-20
Dahlia spp	Dahlia	Inulina	14
Smallantus sonchifolius	Yacón	Inulina	9-12
Allium sativum	Ajo	Inulina	9-11
Allium cepa	Cebolla	Inulina	2-6
Asparagus officinalis	Espárrago	Inulina	2-3
Triticum spp	Trigo	Inulina	1-6
Musa app	Plátano	Inulina	0,3-0,7

Fuente: (Fuentes Campos y col., 2013)

2.4.3 Aplicaciones Industriales

Los FOS, en las últimas décadas han sido estudiados intensamente para las distintas industrias: alimentaria, química y farmacéutica. Estos pueden estar presentes en los propios alimentos, o a su vez pueden ser añadidos en los productos industrializados (alimentos funcionales) (Álvarez Borroto y col., 2015).

Industria alimentaria:

En la industria alimentaria se utiliza como ingrediente prebiótico, además se utiliza para sustituir azúcares y grasas, presenta bajo poder calórico y alto contenido de fibra, (Rodriguez, 2010).

Pazmiño Zambrano (2014), obtuvo la inulina de yacón para su aplicación en la elaboración de yogurt, mejorando se viscosidad y aumentando la cantidad de sólidos no grasos (SNG). En su estudio, utiliza las raíces y hojas de la planta de yacón.

Muñoz Ohmen, Restrepo Molina, y Sepúlveda Valencia (2012), explica la capacidad de la inulina para la formación de gel o crema. La inulina añadida a los productos cárnicos como salchichas y mortadelas remplaza a la grasa, reduciéndola hasta un 37%, mejora las propiedades texturales, reduciendo la dureza.

El jarabe de yacón es una fuente de FOS, consiste en una fluido viscosa que se basa en la concentración de los sólidos solubles hasta llegar aproximadamente a 70% (Fenner Scher y col., 2015).

Industria farmacéutica:

Las aplicaciones de la inulina en el rubro de la industria farmacéutica, se utiliza para retardar la absorción de drogas, mitigando los efectos de la misma, también se utiliza en el tratamiento en los síntomas iniciales del cáncer (Rivera Rodríguez, Herrera Ramírez, y Barquero Quirós, 2005).

La inulina ocasiona efectos positivos en el cuerpo humano: anima la absorción de los minerales en especial Ca^{2+} y Mg^{2+}. Su absorción óptima se logra en la adolescencia con un consumo diario de 8 gramos de inulina. Disminuye la intolerancia a la lactosa, incita el crecimiento de la flora microbiana intestinal presente en el colon (Fuentes Campos y col., 2013).

La administración de inulina por un período de cuatro semanas en personas con obesidad, logró una disminución significativa del colesterol y de los triglicéridos. La dosis administrada a dichos pacientes es de 15 – 20g/día.

Inulina como prebiótico:

Los prebióticos forman parte de la fibra dietética, presente en muchos vegetales. Es fibra no digerible y no es asimilada en el estómago, pero si en el colon. La microflora bacteriana presente en el colon principalmente son lactobacilos y bifidobacterias benéficos para el organismo humano (Olagnero y col., 2007).

Fuentes Campos y col. (2013), cita a la inulina y a la oligofructosa como los prebióticos más conocidos y que los efectos más destacados es la estimulación de absorción de minerales principalmente calcio y magnesio, favorece el crecimiento de la microflora bacteriana, reduce riesgos de cáncer en el intestino.

2.5 MÉTODO DE OBTENCIÓN DE INULINA

A nivel industrial la inulina se obtiene de raíz de achicoria y alcachofa, la metodología y los equipos son similares a los empleados en la industria azucarera, lo que consiste en reducir el tamaño de la materia prima debidamente lavadas (Arango Bedoya y col., 2008).

En la revisión bibliográfica los métodos de extracción de inulina más utilizados son:

2.5.1 Extracción sólido-líquido o lixiviación

Los métodos para la extracción de inulina de las especies vegetales, se basan inicialmente en la trituración de la materia prima, seguidamente por la adición de agua a temperaturas elevadas con la finalidad de extraer la inulina del material vegetal, el método más utilizado en la industria es el de lixiviación (Benítez Cortés y col., 2015).

La extracción sólido líquido se utiliza en diversas industrias, en la industria farmacéutica se usa para extraer compuestos de las hojas y plantas para la formulación de fármacos, el principio de este método se basa en que el disolvente penetra la materia sólida de esta manera logra extraer a la superficie los compuestos y quedar en el disolvente, para ello se realiza la reducción del tamaño del sólido, destruyendo el tejido y aumentando la superficie de contacto con el agua, los componentes en la mezcla pasa a una etapa de purificación y refinado (Arango Bedoya y col., 2008).

2.5.2 Extracción por ultrasonido

En la actualidad se han realizado estudios para la extracción de tejidos vegetales, por ultrasonido que consiste en la aplicación de ondas sonoras de alta frecuencia. Este método es sugerido porque permite romper las paredes celulares de los vegetales, mejorando el rendimiento de extracción (Lingyun y col., 2007).

2.5.3 Parámetros operacionales

Según Fuentes Campos y col. (2013), los parámetros óptimos para la extracción de inulina de los tubérculos de *Dalhlia spp* son: relación soluto disolvente (1:1), con una temperatura de extracción óptima de 70°C.

Arango Bedoya y col. (2008), en la "Extracción, cristalización y caracterización de inulina a partir de yacón *(Smallantus sonchifolius)* para su utilización en la industria alimentaria y farmacéutica", define como parámetros óptimos en su investigación a la temperatura de extracción en un rango de 65 a 85°C, con un tiempo de extracción 15 a 25 minutos, y una relación de disolvente materia prima en un rango de 3mL:500g a 7mL:500g.

Dominguez Lopez, Santana Legorreta, Villanueva Carvajal, Morales Rosales, y Laguna Cerda (2016), en se investigación "Extracción y evaluación de inulina a partir de dalias silvestres mexicanas *(Dahlia coccinea Cav.)"*, obtienen inulina a partir de las raíces de delias deshidratadas o harina. Los parámetros operacionales considerados en la investigación son: relación disolvente materia prima 10:1, temperatura 20, 60, 80°C, con un tiempo de 30, 45, 60 minutos en agitación constante.

Los parámetros definidos para la investigación acorde a la revisión bibliográfica son: el tipo de materia prima y la temperatura en un rango de 70 a 90°C por un tiempo medio de 30 minutos y una relación soluto: disolvente (1:5).

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

3.1 LOCALIZACIÓN

La investigación se desarrolló en el laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias de la Tierra que se encuentra en el interior del campus de la Universidad Estatal Amazónica, ubicada en el km 2 1/2 del Paso Lateral de la vía Puyo-Tena, perteneciente a la provincia Pastaza, Ecuador a 950 m.s.n.m. con una humedad relativa de 83% y una temperatura promedio de 25°C.

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación que se utilizó es de tipo experimental debido a que las variables se pueden manipular en condiciones controladas de temperatura y tipo de materia prima.

3.3 METODOS DE INVESTIGACIÓN

Se empleó métodos cuantitativos que permitieron registrar la concentración de inulina en 3 tipos de muestras: diluida, en sirope y en cristales. Se realizó análisis estadísticos de varianza para determinar las variables óptimas en la extracción de inulina.

3.3.1 Materia prima

Se utilizaron las raíces frescas de yacón y frutos de tuna, estas se obtuvieron de la ciudad de Ambato perteneciente a la provincia de Tungurahua región Sierra de Ecuador. El yacón fue cosechado en un período de 10 a 12 meses; la tuna fue cosechada cuando alcanzó aproximadamente un año de edad, después se procede a retirar las espinas presentes. Las raíces de yacón y frutos de tuna fueron seleccionados, lavados controlando visualmente que no haya presencia de daños o infección por plagas, finalmente se almacenaron en temperaturas de refrigeración.

3.4 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.4.1 Determinación de los parámetros fisicoquímicos de las materias primas

Una vez cosechadas las materias primas, pasaron por un proceso de selección el cual garantiza esté libre de enfermedades y sin daños mecánicos. Posteriormente se trasladó a los laboratorios donde se realizaron los análisis físico-químicos: humedad, º Brix, pH y la posterior extracción de inulina.

Determinación de peso

Se determinó el peso de la tuna y el yacón mediante el método de gravimetría, utilizando una balanza de precisión (0,01g-2000g) de marca Gram FC-2000, que consiste en colocar las materias primas en la balanza y registrar el valor.

Determinación de humedad

Se aplicó el método gravimétrico (AOAC 925.45, 2013), se utilizó una balanza analítica (0,0001g con una capacidad máxima de 250g) marca AE ADAM modelo PW254. Se toma el peso de las muestras húmedas en los crisoles y colocan en la estufa marca BARSTEAD a una temperatura de 65°C por un tiempo de 4 horas y finalmente se toma el peso de las muestras secas.

Determinación de °Brix

Se determinó el contenido de sólidos solubles de los frutos de tuna y las raíces de yacón utilizando el método de refractometría (Intituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN-ISO 2173, 2013), se utilizó un refractómetro marca BOECO para medir en °Brix. El cual consiste en colocar unas gotas del extracto de cada una de las materias en el refractómetro de mano a una temperatura de 20°C.

Determinación de pH

Se determinó el potencial de hidrógeno (pH) de los frutos de tuna y de las raíces de yacón mediante el método potenciométrico (Intituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN1842, 2013), se utilizó un pHmetro marca THERMO SCIENTIFIC para la medición directa en 10 gramos de cada materia prima a una temperatura de 25 °C.

3.4.2 Descripción del proceso de obtención de inulina.

El desarrollo experimental se desarrolló con procedimientos secuenciales, para la obtención de las tres formas de presentación a partir del yacón *(S. sonchifolius)* y la tuna *(O. ficus indica)*: extracto fresco, concentrado y cristalizado de yacón y tuna, para la obtención de inulina, valiéndose de la investigación bibliográfica como base.

La Figura 2, muestra el diagrama de flujo de extracción de inulina en tres presentaciones: diluido (A), sirope (B) y cristalizado (C), planteado por (Fuentes Campos y col., 2013; Lara Fiallos y col., 2017) modificado para el desarrollo de la investigación. Este diagrama se aplicó tanto a las raíces de yacón como a los frutos de tuna.

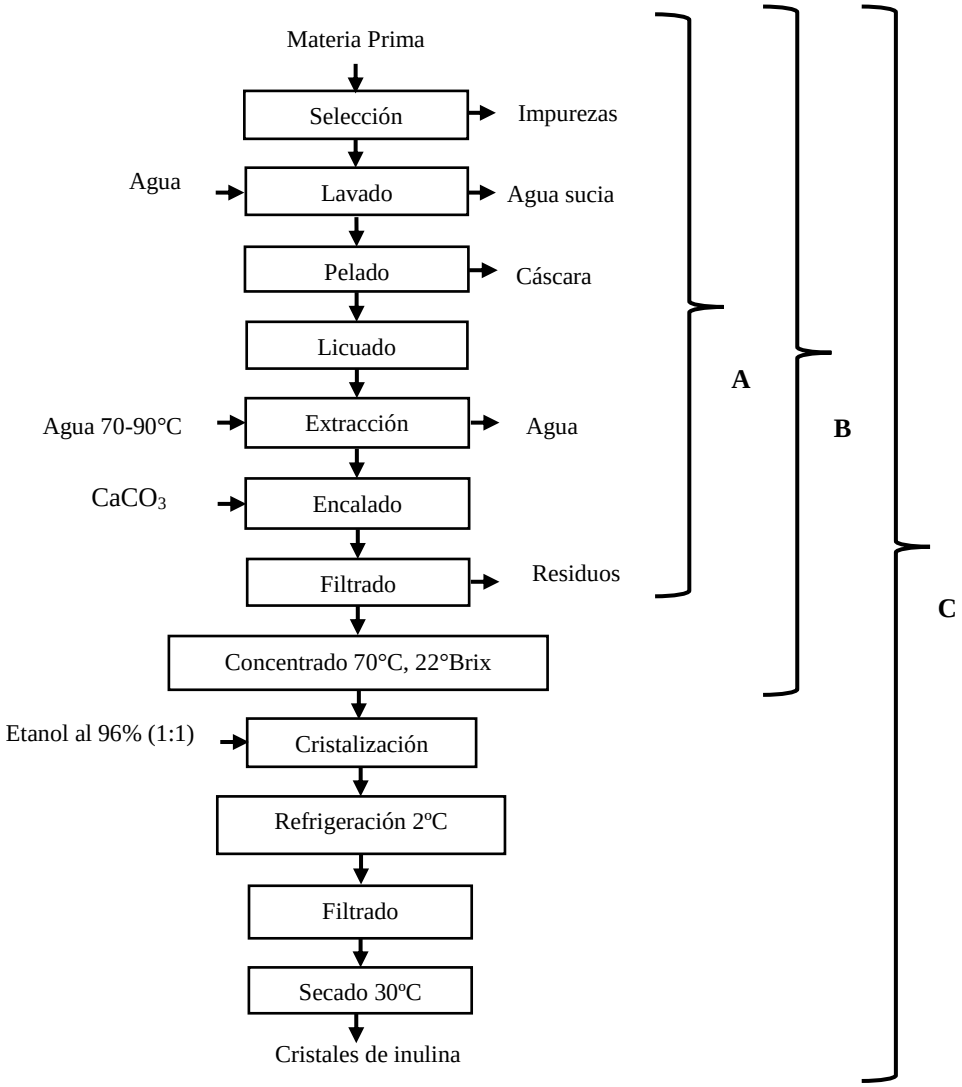


Figura 2. Diagrama de flujo de extracción de cristales de inulina. A) proceso de obtención de inulina diluida, B) proceso de obtención de inulina en sirope y C) proceso de obtención de inulina cristalizada

A: obtención del diluido: La metodología descrita por (Álvarez F. y col., 2008) para la obtención de inulina a partir del - zumo: utiliza 20g de materia prima, las cuales son trituradas en una licuadora o en un extractor, seguidamente se realiza la extracción se realiza con agua a temperatura de 70-90ºC relación disolvente materia prima 5:1 (mL de H_2O/g de materia prima), se le añade $CaCO_3$ para regular el pH a 7.6 evitando que la inulina se hidrolice y finalmente se filtra para separar las partículas de la fase líquida.

B: obtención de sirope: El concentrado o sirope se obtiene siguiendo el proceso de (Fuentes Campos y col., 2013), una vez obtenido el diluido se someten a temperaturas de 70-90°C, con el fin de concentrar hasta la cuarta parte del producto inicial o hasta lograr alcanzar los 22ºBrix.

C: obtención de cristales: El proceso de cristalización descrito por (Fuentes Campos y col., 2013), sigue los pasos descritos para el proceso de sirope, al cual se le añade etanol al 96%, grado comercial, en una proporción 1:1 (mL de etanol: mL de sirope), se deja enfriar hasta 2ºC durante 24 horas para la formación y precipitación de los cristales. Finalmente se filtra y se somete a un proceso de secado a 30ºC en una estufa con ventilación.

3.4.3 Caracterización, identificación y cuantificación de la inulina

Determinación de °Brix

Se determinó el contenido de sólidos solubles para la presentación de inulina en diluido y en sirope, se utilizó el método de refractometría (Intituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN-ISO 2173, 2013) se dio lectura en el refractómetro marca BOECO dando lectura en °Brix, el cual consiste en colocar unas gotas del extracto de cada una de las materias en el refractómetro de mano a una temperatura de 20°C.

Identificación y Cuantificación del contenido de inulina

La identificación y cuantificación se realizó con el método de Park Johnson (Álvarez F. y col., 2008), el cual consiste en la adición de tres reactivos los cuales permiten la identificación de grupos reductores de carbohidratos. Se procedió a la utilización de los reactivos: (***a)*** solución cianuro de potasio, (***b)*** solución de ferricianuro de potasio, (***c)*** solución de sulfato férrico amoniacal y estándares de fructosa que permitieron identificar la presencia de inulina en las muestras.

Se utilizaron tubos de ensayos con 1 mL de muestra donde se agregó el reactivo ***a*** y ***b***, luego los tubos de ensayo se colocaron en agua hirviendo por 15 min y se enfrió por 10 min. Seguidamente se le agregó el reactivo ***c*** y se dejó reposar por 20 min a temperatura ambiente. Finalmente, se dio lectura a las absorbancias a 715 nm en el Espectrofotómetro UV-VIS, modelo TU-1810S Split Beam.

3.4.4 Diseño experimental

Los datos se analizaron mediante el paquete computacional *Design Expert* Versión 10.0.3, del cual se interpretaron los datos obtenidos sobre la cantidad de inulina de cada uno de los ensayos realizados. Se aplicó un diseño experimental factorial de 2^2, teniendo en cuenta dos factores de estudio cada uno con dos niveles: tipo de materia prima (yacón y tuna) y temperatura (70°C y 90°C). La experimentación se realizó por duplicado, obteniendo un total de ocho ensayos por cada presentación. La variable de respuesta es la cantidad de inulina obtenida en cada uno de los ocho ensayos realizados, tal como muestra la *Tabla 2*.

Los factores son: relación soluto: disolvente, tipo de presentación de las muestras y tiempo serán constantes en todos los ensayos, con valores de 1:5; diluido, sirope y cristales; 30 min respectivamente.

Tabla 2. Factores del diseño experimental

Ensayos	Factor 1 A: Tipo de Materia Prima g	Factor 2 B: Temperatura °C	Variable Respuesta 1 Contenido de Inulina %
1	yacón	90	
2	yacón	70	
3	tuna	90	
4	yacón	70	
5	tuna	90	
6	tuna	70	
7	tuna	70	
8	yacón	90	

Fuente: Elaborado por los autores

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS ESPERADOS

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos de la investigación: la caracterización fisicoquímica de las materias primas utilizadas, las variables de extracción de la inulina y la cuantificación de la misma. Para la investigación se utilizó 1053,19g de raíces de yacón del cual se obtuvo 21,31% de residuos y el 78,69% restante corresponde a la pulpa, también se partió con 453g de fruto de tuna de los cuales el 43,2% fueron residuos entre cáscara y semillas y se trabajó con 56,8% de pulpa.

4.1 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LAS MATERIAS PRIMAS

En la Tabla 3 se muestran los parámetros fisicoquímicos que se analizaron para las materias primas (yacón y tuna). En los resultados presentados el peso de una raíz de yacón fue de 1053,19g y el peso de un fruto de tuna fue de 75g, con respecto a la humedad se observa que la diferencia es mínima entre las materias primas evaluadas. En la determinación de los °Brix se tiene una diferencia de 2,8 donde la tuna presenta mayor contenido de sólidos solubles y el yacón presenta menor valor de pH que la tuna. Los parámetros fueron determinados en materias primas cosechadas en los meses de septiembre - octubre, estos valores pueden variar de acuerdo a la época de cosecha; ya que hay reportes donde el contenido bromatológico que defieren a los datos obtenidos en la investigación.

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos de las materias primas.

Parámetro	**Unidad**	**Resultados**		**(Pazmiño Zambrano, 2014)**	**(Terán y col., 2015)**
		yacón	**tuna**	**yacón**	**tuna**
Peso	g	1053,19	75	---	---
Humedad	%	85,8	86,2	86,6	84-89
Sólidos Solubles	°Brix	9,2	12	9	8,3
pH	pH	4,5	5,9	6	5,9

Fuente: Elaborado por los autores

Los resultados del yacón están acorde a los datos de la referencia bibliográfica tanto en la humedad (86,6%) como en los sólidos solubles (9 °Brix) y en el pH (6) existe una variación donde la materia prima presenta menor valor de pH. Los resultados de la tuna en el caso de la humedad (84-89%) y pH (5,9) son similares a valores reportados por Terán y col. (2015) y presentó una mayor concentración de sólidos solubles (8,3 °Brix). El peso es un parámetro variable debido a la irregularidad de tamaños entre raíces de yacón y frutos de tuna por lo cual no se puede realizar una comparación específica con las fuentes bibliográficas.

4.2 CONDICIONES EXPERIMENTALES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN, CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LA INULINA

La Tabla 4 se muestran los valores obtenidos de los sólidos solubles en la escala de °Brix en los ocho ensayos realizados a las presentaciones de diluido y sirope. La cristalización se realizó a una concentración de 22°Brix tal como reporta Fuentes Campos y col. (2013).

Tabla 4. Resultados de los °Brix de las presentaciones en diluido y en sirope de los ensayos realizados

N°	Ensayos	Parámetro	Unidad	Resultados	
				Diluido	Sirope
1	yacón 90°C	Sólidos Solubles	°Brix	3	22
2	yacón 70°C		°Brix	2.1	23
3	tuna 90°C		°Brix	2.4	24
4	yacón 70°C		°Brix	2.1	22
5	tuna 90°C		°Brix	4	25
6	tuna 70°C		°Brix	2.5	22
7	tuna 70°C		°Brix	3	22
8	yacón 90°C		°Brix	3	25

Fuente: Elaborado por los autores

La Figura 3 muestra la concentración de los sólidos disueltos presentes en las muestras de cada uno de los ensayos en función del tiempo. El intervalo de tiempo en que se realizaron las mediciones fue de 30 minutos.

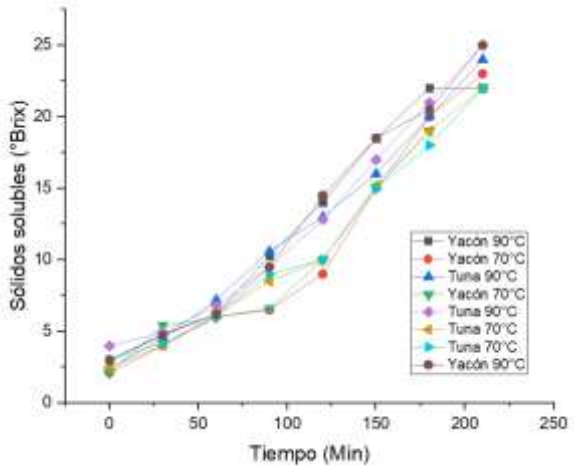


Figura 3. Evolución de los °Brix en la concentración de las muestras.

Fuente: Elaborado por los autores

4.2.1 Identificación y cuantificación de la inulina

Se obtuvo inulina en las tres presentaciones diluido, sirope y cristalizado (Figura 4), las cuales difieren en la concentración de sólidos solubles. Para la identificación y cuantificación de inulina se realizó solo en la presentación de diluido.



Figura 4. Inulina en diluido, en sirope, cristalizado.

La presencia de inulina se caracterizó por la coloración azul como se muestra en la Figura 5 de la disolución tal como indica el método de Park Johnson (Álvarez F. y col., 2008). Las muestras analizadas fueron en la misma base (líquida) para garantizar las comparaciones entre los resultados.

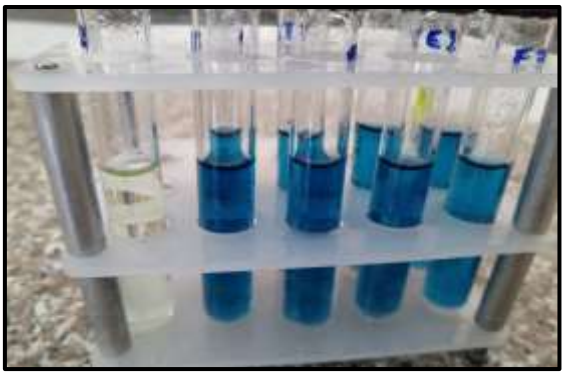


Figura 5. Identificación de la presencia de inulina.

En la Tabla 5 se muestra los resultados del contenido de inulina de cada uno de los ocho ensayos realizados en las tres formas de presentación. Obteniéndose el mejor resultado para el yacón en diluido (8,96%), en sirope (35,84%) y en cristales (74,67%) a una temperatura de 90°C y el contenido de inulina de la tuna en el diluido (8,84%), en sirope (35,36%) y en cristales (73,67%) a una temperatura de extracción de 70°C.

Tabla 5. Contenido de inulina en cada uno de los ensayos realizados

Ensayos	**Factor 1**	**Factor 2**	**Contenido de Inulina (%)**		
	A: Tipo de Materia Prima (g)	**B: Temperatura (°C)**	**Diluido**	**Sirope**	**Cristales**
1	yacón	90	8,96	35,84	74,67
2	yacón	70	8,47	33,88	70,58
3	tuna	90	6,80	27,20	56,67
4	yacón	70	7,86	31,44	65,50
5	tuna	90	7,16	28,64	59,67
6	tuna	70	8,84	35,36	73,67
7	tuna	70	6,93	27,72	57,75
8	yacón	90	8,38	33,52	69,83

Fuente: Elaborado por los autores.

4.2.2 Influencia de los factores en el contenido de inulina.

La Figura 6 muestra los diagramas de Pareto A y B, en **A** se puede observar la influencia de los factores de extracción y la interacción entre ambos sobre la cantidad de inulina obtenida. Los factores seleccionados en los rangos utilizados no influyen significativamente en el contenido de inulina, tanto el yacón como la tuna a las temperaturas estudiadas se obtuvieron valores similares de contenido de inulina.

Estos valores de contenido de inulina en el yacón son similares a los valores obtenidos por Álvarez F. y col. (2008) e inferiores a los valores reportados en Arango Bedoya y col. (2008) y la cantidad de inulina obtenida de la tuna es inferior al valor reportado en Pinango Cacuango (2019).

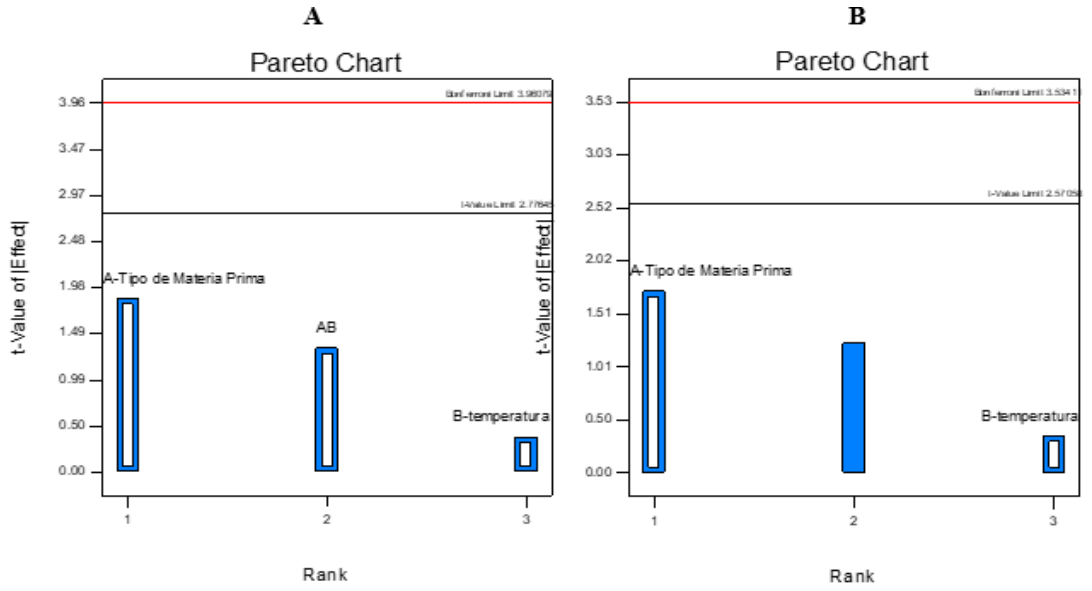


Figura 6. Diagrama de Pareto del efecto de los factores individuales y la combinación de ellos.

En el diagrama **B**, se muestra el comportamiento de los factores de manera individual, donde observa que el tipo de materia prima influye en el contenido de inulina con respecto a la temperatura esto se debe a que el yacón (Arango Bedoya y col., 2008) tiene reportes de poseer mayor contenido de inulina que la tuna (Pinango Cacuango, 2019). El rango de temperatura seleccionado verifica que este rango es el que se obtienen cantidades de inulina similares a lo publicado por Álvarez F. y col. (2008).

El Anexo 7 presenta el ANOVA del diseño experimental, considerando los factores de estudio y la interacción entre ambos factores, se puede observar, que no existe diferencia significativa, ya que los valores de **p** son superiores a 0,05. El efecto individual de cada una de las variables se observa en el Anexo 9, en ambos casos se ve notablemente la no incidencia de las variables en el rendimiento de inulina obtenida.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. La inulina se obtuvo en tres formas de presentación a partir de dos materias primas, el yacón *(Smallantus sonchifolius)* y la tuna *(Opuntia ficus-indica)*, a dos niveles de temperaturas de extracción (70°C, 90°C), mediante el método de extracción sólido-líquido, utilizando el agua como disolvente. El mayor contenido de inulina de las tres presentaciones: diluido (8,96%), sirope (35,84%) y en cristales (74,67%) corresponde al yacón a una temperatura de 90°C.
2. Las características físico-químicas determinadas de las materias primas del yacón fresco fueron: el peso (1053,19g), humedad (85,5%), pH (4,5), sólidos solubles (9,2°Brix) y de la tuna con un peso (75g), humedad (86,2%), pH (5,9), sólidos solubles (12°Brix).
3. Las condiciones experimentales varían de acuerdo con el tipo de materia prima utilizada en el proceso. La temperatura y el tipo de materia prima y su interacción no influyeron en el contenido de inulina.
4. El mayor contenido de inulina obtenido en la presentación de diluido es de (8,96%), en sirope (35,84%) y en cristales (74,67%) en el yacón y en la tuna en diluido (8,84%), en sirope (35,36%) y en cristales (73,67%).

5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda:

1. Que se realicen otras investigaciones para determinar las mejores condiciones con respecto a relación soluto/disolvente y el tiempo de extracción, e analizar otros parámetros que influyen en el proceso de extracción para aumentar el rendimiento de inulina.
2. Que se realicen el análisis del comportamiento de los resultados obtenidos en este estudio de investigación a una escala superior para la obtención de inulina cristalizada lista para la comercialización.
3. Que se evalúen otros factores tanto operacionales, tecnológicos como de manejo de cultivo para garantizar un mayor contenido de inulina en las materias primas.

CAPÍTULO VI

6 BIBLIOGRAFÍA

Álvarez Borroto, R., Ruano Nieto, A. L., Calle Miñaca, M. R., y Lara Fiallos, M. V. (2015). Extracción y determinación de inulina del ajo común autóctono *(Allium sativum)*. *Revista Cubana de Química, 27*(2), 131-146.

Álvarez F., P. P., Jurado T, B., Calixto C, M., Incio V, N., y Silva A, J. (2008). Prebiótico inulina/oligofructosa en la raíz del yacón *(Smallanthus sonchifolius)*, fitoquímica y estandarización como base de estudios preclínicos y clínicos. *Revista de Gastroenterología del Perú, 28*(1), 22-27.

AOAC 925.45. (2013). *A. Humedad: Método de secado por estufa*.

Arango Bedoya, O., Cuarán, G. P., y Fajardo, J. C. (2008). Extraction, crystalization and characterization of inulin from yacon *(Smallanthus sonchifolius (poepp. & endl.)* for to be used in food and farmaceutic industry. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 6*(2), 14-20.

Barrera, V. H. (2003). *Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador* (Vol. 4): International Potato Center.

Benítez Cortés, I., Pérez Martinez, A., Álvarez Borroto, R., Collado García, O., y González Díaz, Y. (2015). Perspectivas de la producción de inulina a partir de la tuna *(Opuntia ficus-indica)*. *Tecnología Química*, *35*(2), 181-192.

Bibas Bonet, M. E., Meson, O., De Moreno de LeBlanc, A., Dogi, C. A., Chaves, S., Kortsarz, A., . . . Grau, A. (2010). Prebiotic effect of yacon *(Smallanthus sonchifolius)* on intestinal mucosa using a mouse model. *Food agricultural immunology, 21*(2), 175-189.

Carvalho Salvador, A., de Souza Dantas, M. I., Mileib Vasconcelos, C., Dantas Vanetti, M. C., Machado Rocha Ribeiro, S., Nery Enes, B., . . . Duarte Martino, H. S. (2012). Desarrollo de jalea de yacón de reducido valor calórico: caracterización físico-química, microbiológica y sensorial. *Revista chilena de nutrición, 39*(3), 72-77.

Dominguez Lopez, A., Santana Legorreta, S., Villanueva Carvajal, A., Morales Rosales, E. J., y Laguna Cerda, A. (2016). Extracción y evaluación de inulina a partir de dalias silvestres mexicanas *(Dahlia coccinea Cav.)*. *revista internacional de botánica experimental, 85*(1), 63-70.

Escobar, F. (2017). *Obtención de cristales de inulina a partir de cuatro variedades de plantas de cultivo no tradicional del Ecuador* (Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Químico), Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador. Retrieved from https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17438/1/CD-7937.pdf

Fenner Scher, C., Brandelli, A., y Zapata Noreña, C. (2015). Yacon inulin leaching during hot water blanching. *Ciência e Agrotecnologia, 39*(5), 523-529. doi:10.1590/S1413-70542015000500011

Fuentes Campos, M. E., Cotrina Pedraza, L., y Romero Guzmán, B. (2013). Extracción y caracterización de la inulina presente en los tubérculos de la *Dahlia spp*. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica y Geográfica, 16*(31).

Granados Sánchez, D., y Castañeda P, A. D. (1991). *El nopal: historia, fisiología, genética e importancia frutícola* (9682438500). Retrieved from

Guzmán Loayza, D., y Chávez, J. (2007). Estudio bromatológico del cladodio del nopal *(Opuntia ficus-indica)* para el consumo humano. *Revista de la Sociedad Química del Perú, 73*(1), 41-45.

Inga Guevara, M., Betalleluz Pallardel, I., Kina Noborikawa, M., y Campos Gutierrez, D. (2015). Optimización del proceso de extracción de los fructooligosacáridos de yacón *(Smallantus sonchifolius)*. *Revista de la Sociedad Química del Perú, 81*(3), 263-272.

Intituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN1842. (2013). *NTE INEN 1842. Productos vegetales y de frutas - determinación de pH (IDT)*. Quito-Ecuador.

Intituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN-ISO 2173. (2013). *NTE INEN-ISO 2173. Productos vegetales y frutas-determinación de sólidos solubles-método refractométrico (IDT)*. Quito-Ecuador.

Lara Fiallos, M., Lara Gordillo, P., Julián Ricardo, M. C., Pérez Martínez, A., y Benítes-Cortés, I. (2017). Avances en la producción de inulina. *Tecnología Química, 37*(2), 352-366.

Lingyun, W., Jianhua, W., Xiaodong, Z., Da, T., Yalin, Y., Chenggang, C., . . . Fan, Z. (2007). Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers. *Journal of Food engineering, 79*(3), 1087-1093.

Madrigal, L., y Sangronis, E. (2007). La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. *Archivos latinoamericanos de nutrición, 57*(4), 387-396.

Mescua Mendez, L. M. (2017). *"Purificación de fructooligosacáridos del extracto de yacón (Smallanthus sonchifolius) con carbón activado".* (Tesis para optar el título de ingeniero en industrias alimentarias), Universdiad Ncional del Centro del Perú, Huancayo-Perú. Retrieved from http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1215/TESIS%20MESCUA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Muñoz Ohmen, S. A., Restrepo Molina, D. A., y Sepúlveda Valencia, J. U. (2012). Revisión: inulina en algunos derivados cárnicos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 65*(2).

Ochoa, C., y Guerrero, J. (2010). La tuna una perspectiva de su producción, propiedades y métodos de conservación. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos, 4*(1), 49-63.

Olagnero, G., Abad, A., Bendersky, S., Genevois, C., Granzella, L., y Montonati, M. (2007). Alimentos funcionales: fibra, prebióticos, probióticos y simbióticos. *Diaeta, 25*(121), 20-33.

Pazmiño Zambrano, M. F. (2014). *Aprovechamiento de los principios activos del Yacón (Smallanthus sonchifolius), para la elaboración de yogurt rico en FOS (Fructooligosacáridos).* (Previo a la Obtencion del Titulo de: Ingeniero Químico), Universidad de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador. Retrieved from http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/7198/1/PAZMI%C3%91O.pdf

Pinango Cacuango, R. O. (2019). *Extracción de inulina de dos variedades de tuna (Opuntia ficus-indica) color roja y blanca del Valle del Chota por lixiviación.* (Tesis Previa a la Obtención del Título de Ingeniero Agroindustrial), Universidad Técnica del Norte, Imbabura-Ecuador. Retrieved from http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9160/1/03%20EIA%20478%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf

Rivera Rodríguez, M., Herrera Ramírez, C., y Barquero Quirós, M. (2005). Caracterización fisicoquímica de los siropes comerciales preparados a base de sacarosa. *Tecnología en Marcha, 18*(4), 48-54.

Rodriguez, W. (2010). Determinación de inulina en once especies vegetales. In *Previo a la obtencion del título de ingeniero en ciencia y tecnología de alimentos* (pp. 1-56). Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Sumaya Martinez, M. T., Suárez Diéguez, T., Cruz Cansino, N. S., Alanís García, E., y Sampedro, J. G. (2010). Innovación de productos de alto valor agregado a partir de la tuna mexicana. *Revista Mexicana de Agronegocios, 27*, 435-441.

Terán, Y., Navas, D., Petit, D., Garrido, E., y Aubeterre, R. (2015). Análisis de las características físico-químicas del fruto de *(Opuntia ficus--indica)* (l.) miller, cosechados en Lara, Venezuela. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 16*(1), 69-74.

Valentová, K., y Ulrichová, J. (2003). Smallanthus sonchifolius and Lepidium meyenii-prospective Andean crops for the prevention of chronic diseases. *Biomed Papers, 147*(2), 119-130.

CAPÍTULO VII

7 ANEXOS

Anexo 1. Pesado de la materia prima y residuos.



Anexo 2. Extracción de pulpa de tuna



Anexo 3. Etapa de extracción sólido-líquido



Anexo 4. Medición de pH



Anexo 5. Etapa de concentración de las muestras



Anexo 6. Filtrado de las muestras.



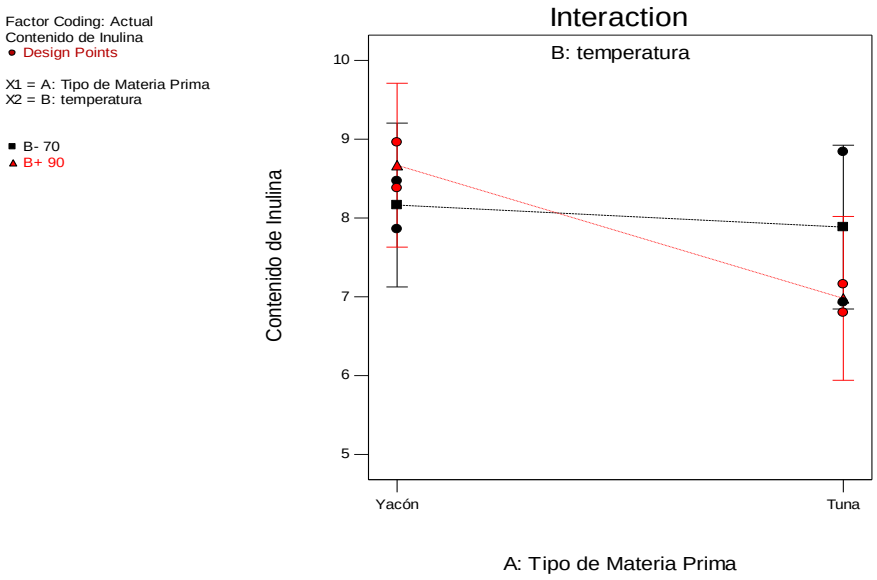
Anexo 7. ANOVA considerando 2 factores de estudio: Tipo de materia prima y temperatura y la interacción de ambas.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor de F	p-valor	
Modelo	3.01	3	1.00	1.79	0.2880	No significativo
A-Tipo de Materia Prima	*1.94*	*1*	*1.94*	*3.46*	*0.1364*	
B-temperatura	*0.080*	*1*	*0.080*	*0.14*	*0.7248*	
AB	*0.99*	*1*	*0.99*	*1.77*	*0.2539*	
Error	2.24	4	0.56			
Total	5.26	7				

Anexo 8. Tabla de R- cuadrado de los 2 factores de estudio: Tipo de materia prima y temperatura y la interacción de ambas.

Desviación estándar.	0.75	R-cuadrado	0.5734
Media	7.93	R-cuadrado ajustado	0.2534
C.V. %	9.45	R-cuadrado de predicción	-0.7066
PRESS	8.97	Precisión	3.192
-2 Log Likelihood	12.53	BIC	20.85
		AICc	33.86

Anexo 9. Modelo del contenido de inulina del yacón y tuna.



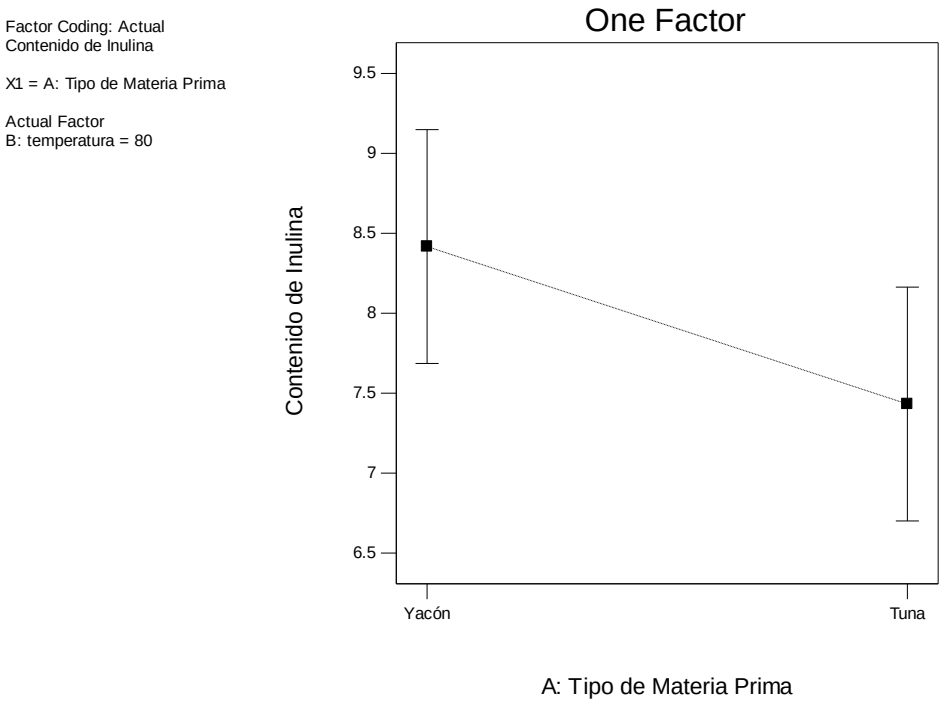
Anexo 10. ANOVA considerando el efecto individual del tipo de materia prima y temperatura

	Suma de cuadrados	**Grados de libertad**	**Cuadrado medio**	**Valor de F**	**p-valor**	
Modelo	2.02	2	1.01	1.56	0.2975	No significativo
A-Tipo de Materia Prima	*1.94*	*1*	*1.94*	*3.00*	*0.1440*	
B-temperatura	*0.080*	*1*	*0.080*	*0.12*	*0.7395*	
Residual	3.24	5	0.65			
Lack of Fit	*0.99*	*1*	*0.99*	*1.77*	*0.2539*	No significativo
Error	*2.24*	*4*	*0.56*			
Total	5.26	7				

Anexo 11. Análisis de cuadrados de los factores individualmente.

Std. Dev.	0.80	R-cuadrado	0.3843
Mean	7.93	R-cuadrado ajustado	0.1380
C.V. %	10.15	R-cuadrado de predicción	-0.5762
PRESS	8.29	Precisión	2.405
-2 Log Likelihood	15.47	BIC	21.70
		AICc	27.47

Anexo 12. Contenido de inulina con respecto a la materia prima



Anexo 13. Contenido de inulina con respecto a la temperatura.

