UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

TEMA:

"MODELACIÓN MATEMÁTICA EN BASE A SU COMPOSICIÓN QUÍMICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA DE LA COMPOTA DE PITAHAYA (*SELENICEREUS MEGALANTHUS*)"

AUTORES:

María Fernanda Erazo Patiño

Luis Felipe Jácome Pérez

DIRECTOR DEL PROYECTO:

Ing. Juan Elías González Rivera MSc.

PASTAZA – ECUADOR

2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quien suscribe, Erazo Patiño María Fernanda con C.I: 160052809-3, hace constar que es autora del Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: **"Modelación Matemática en base a su composición química para la determinación de la textura de la compota de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*)"**, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, Msc. Juan Elías González Rivera. En tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 11 días del mes de Septiembre del 2020.

_____

Erazo Patiño María Fernanda

1600528093

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quien suscribe, Jácome Pérez Luis Felipe con C.I: 160037839-0, hace constar que es autora del Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: **"Modelación Matemática en base a su composición química para la determinación de la textura de la compota de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*)"**, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, Msc. Juan Elías González Rivera. En tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 11 días del mes de Septiembre del 2020.

_____

Jácome Pérez Luis Felipe

1600378390

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación de proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: **"Modelación matemática en base a su composición química para la determinación de la textura de la compota de pitahaya (*Selenicereus Megalanthus*)"**

_____

Msc. Vicente Domínguez Narváez

Presidente del Tribunal

_____

Msc. Paul Manobanda Pinto

Miembro del Tribunal

_____

Msc. Miguel Enríquez Estrella

Miembro del Tribunal

Oficio No. 230-SAU-UEA-2020

Puyo, 2 de septiembre de 2020

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Proyecto de Investigación correspondiente a los egresados ERAZO PATIÑO MARÍA FERNANDA con C.I. 1600528093 y JÁCOME PÉREZ LUIS FELIPE con C.I. 1600378390, con el Tema: **"MODELACIÓN MATEMÁTICA EN BASE A SU COMPOSICIÓN QUÍMICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA DE LA COMPOTA DE PITAHAYA (*SELENICEREUS MEGALANTHUS*)"**, de la carrera, Ingeniería Agroindustrial. Director del proyecto Ing. González Rivera Juan Elías, M.Sc., ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 2%, Informe generado con fecha 31 de agosto de 2020 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

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

AGRADECIMIENTO

A Dios por su amor inigualable y su misericordia, no existen palabras para agradecerle todo lo que ha hecho por mí para que el día de hoy pueda cumplir con uno de mis sueños.

A mi madre, gracias, mamá por ser la madre más valiente, invencible y luchadora por sus hijos para que puedan cumplir sus sueños. Gracias mamita por apoyarme y guiarme para ser una buena mujer.

DEDICATORIA

A mi familia, por ser un pilar fundamental en mi vida y brindarme su apoyo para llegar a cumplir mis metas.

Fernanda Erazo

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitir llegar hasta este momento grandioso de mi vida por guiarme de alguna manera y darme esa fortaleza y saber que creyendo en Dios todo es posible y alcanzable.

A mis padres por brindarme ese apoyo a lo largo de mi vida transmitiendo sus conocimientos, experiencias y fortaleza para poder salir adelante en cada momento de mi vida, siempre estuvieron pendientes de que nunca me faltara nada durante mi formación estudiantil por es les digo gracias mis queridos viejitos.

Al resto de mi familia por brindarme su apoyo moral y depositar su confianza en mí por estar pendientes de mi avance en estos últimos tiempos y permitirme encontrar en ellos un gran apoyo dentro de mi familia.

A la Universidad Estatal Amazónica en especial a la Facultad Ciencias de la Tierra, por darme la oportunidad de pasar por cada una de sus instalaciones que sirvieron para poder formarme como profesional de ética y conocimiento.

Al MsC. Juan Elías González Rivera, por ser mi tutor y apoyarme durante todo el proyecto de investigación, quien con sus valiosos conocimientos supo guiarnos de una manera que es grato dar gracias por siempre estar pendientes de nosotros y de nuestro trabajo de investigación.

Felipe Jácome

DEDICATORIA

Esta investigación quisiera dedicar de manera muy especial a mis queridos Padres Marcelo Jácome y Marianita del Pilar que han sido siempre mi apoyo incondicional y excelente ejemplo de dedicación, amor, lucha y esfuerzo constante para poder llegar a cumplir sus sueños y objetivos. Mi querido Padre te doy gracias por ser ese hombre que ante toda adversidad nunca bajaste la cabeza y confianza en tu trabajo ya que gracias a ello nos educaste a todos de una manera muy gratificante para mí por eso te digo de corazón gracias.

A esa mujer de mi vida a la que siempre he amado Mami te doy gracias por siempre estar para mí ya que todo este tiempo gracias a ti voy a convertirme en un profesional ya que nunca me dejaste solo, me llenas de orgullo por la mujer que eres la que nunca se dejó vencer y siempre vio por cada uno de sus hijos, a pesar de todas las adversidades que se ha dado en tu vida siempre has sabido llevar cada uno de los problemas y saber resolverlos Te amo mucho mi querida viejita.

A los tres ejemplos de vida mis Hermanos Iván, María Belén y Sebastián quienes siempre me han guiado con su amor y apoyo constante los cuales estuvieron ahí para levantarme y demostrarme que nunca se debe bajar la cabeza ante nadie solo ante Dios, ellos me han enseñado que a veces hay que estar lejos de casa para aprender a desenvolverse solos y ser cada día más fuertes.

A mis queridos sobrinos Mateo Sebastián y Gonzalo Emiliano los cuales con sus sonrisas y un abrazo me demuestran que siempre habrá una luz ante toda la oscuridad que tiene la vida y es que por ellos nunca dejare de luchar en mis sueños para en algún momento ser un ejemplo para ellos y demostrarles que todo se gana con trabajo, dedicación y constancia como a mí me lo enseñaron sus queridos Abuelitos.

A mi querida novia quien ha sido uno de mis pilares fundamentales durante todo esta travesía dentro de un mundo lleno de escalones que nunca nos dejamos vencer donde juntos llegamos hasta este momento de defendernos solos ante Dios. Mi chiquita estoy muy orgulloso de la mujer que te has convertido durante todo este tiempo la cual siempre ha estado ahí en todo momento sea bueno o malo me has enseñado hacer mejor en todo aspecto de mi vida entonces me he dado cuenta de que juntos vamos a cumplir uno de nuestros objetivos planteados junto a nuestros padres, hermanos y demás familiares que nunca nos dejaron solos durante toda esta travesía. **Felipe Jácome**

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene el propósito de analizar los diferentes aportes bibliográficos elaborados respecto a la modelación matemática, que permita determinar la textura idónea de una compota elaborada a base de pitahaya, piña y orito; y de esta manera garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad, conforme a lo que se establece la Norma Técnica INEN 2009:2013 para Alimentos Colados y Picados, envasados para lactantes y niños. En este sentido, el presente estudio bibliográfico, hace énfasis al modelo matemático de la Ley de Potencia, que se basa principalmente, en el análisis del comportamiento reológico y la determinación de la viscosidad de la pulpa de cada una de las frutas empleadas.

Palabras claves: modelo matemático, compota, textura, viscosidad.

ABSTRACT

The research project has the purpose of analyzing the different bibliographic contributions made regarding mathematical modeling, which allows determining the ideal texture of a compote made from pitahaya, pineapple and orito; and in this way guaranteeing compliance with quality standards, as established by the INEN 2009: 2013 Technical Standard for Strained and Chopped Foods, packaged for infants and children. In this sense, the present bibliographic study emphasizes the mathematical model of the Power Law, which is mainly based on the analysis of the rheological behavior and the determination of the viscosity of the pulp of each of the fruits used.

Keywords: mathematical model, compote, texture, viscosity.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I. 13
1. INTRODUCCIÓN 13
1.1 Planteamiento del problema 14
1.2 Formulación del problema 14
1.3 Objetivo General 14
1.3.1 Objetivos Específicos 14
1.4 Justificación 15
CAPÍTULO II. 16
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 16
2.1 Antecedentes 16
2.2 Base teórica 17
2.2.1 Pitahaya amarilla 17
2.2.1.1 Caracterización física de la pitahaya 17
2.2.1.2 Caracterización química de la pitahaya 18
2.2.1.3 Caracterización bromatológica de la pitahaya 18
2.2.1.4 Caracterización fisicoquímica de la pitahaya 19
2.2.2 Piña Ananas comosus 19
2.2.2.1 Caracterización física de la Piña 19
2.2.2.2 Caracterización química de la piña 20
2.2.2.3 Caracterización bromatológica de la piña 20
2.2.2.4 Caracterización fisicoquímica de la piña 21
2.2.3 Orito (*Musa Acuminata)* 21
2.2.3.1 Caracterización física del orito 22
2.2.3.2 Caracterización química del orito 22
2.2.3.3 Caracterización bromatológica del orito 23
2.2.3.4 Caracterización fisicoquímica del orito 23
2.2.4 La compota de frutas 24
2.2.5 Determinación de la textura de los Alimentos 24
2.2.5.1 Medición de la textura 24
2.2.5.2 Propiedades de la textura 25
2.2.5.3 Clasificación de los fluidos según su comportamiento reológico 25

2.2.5.4 Los modelos matemáticos aplicados de acuerdo con las propiedades de la textura 26
2.2.5.4.1 Fluidos no newtonianos 26
2.2.5.4.2 Modelo de Herschel Bulkley 26
2.2.5.4.3 Viscosidad Aparente 27
2.2.5.4.4 Ley de Potencia 27
2.2.5.4.5 Elasticidad 28
2.2.5.4.6 Principio de Bernoulli 30
2.2.5.4.7 La ecuación de Bernoulli 30
2.2.5.4.8 Ecuación de Continuidad 31
2.2.5.5 Viscosímetro capilar 32
2.2.5.6 Normas para el cumplimiento de los parámetros de la textura 32
CAPÍTULO III. 33
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 33
3.1 Localización 33
3.2 Tipo de Investigación 33
3.2.1 Investigación descriptiva 33
3.2.2 Investigación exploratoria 33
3.3 Métodos de Investigación 33
3.3.1 Método de recolección de datos 33
3.3.2 Metodología de la Investigación 33
3.3.3 Proceso Metodológico 34
3.3.3.1 Obtención de la información 34
3.3.3.2 Organización de la información 34
3.3.3.3 Análisis de información 34
3.3.4 Cuadros comparativos de la composición química y bromatológica de las frutas 34
3.3.5 Procedimiento del análisis de la información bibliográfica 35
3.3.6 Planteamiento de concentraciones para la obtención del promedio de los sólidos solubles. 36
3.3.7 Procedimiento para el desarrollo del modelo matemático 38
CAPÍTULO IV. 41
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS 41
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 42

Conclusiones 42
Recomendaciones 42
REFERENCIAS 43

INDICE DE TRABLAS

Tabla 1. Características físicas de la pitahaya 17
Tabla 2. Características químicas de la pitahaya 18
Tabla 3. Características bromatológicas de la pitahaya 18
Tabla 4. Características fisicoquímicas de la pitahaya 19
Tabla 5. Características físicas de la piña 19
Tabla 6. Características químicas de la piña 20
Tabla 7. Características bromatológicas de la piña 21
Tabla 8. Características fisicoquímicas de la piña 21
Tabla 9. Características físicas del orito 22
Tabla 10. Características químicas del orito 22
Tabla 11. Características bromatológicas del orito 23
Tabla 12. Características fisicoquímicas del orito 23
Tabla 13. Parámetros de la textura 25
Tabla 14.Composición química promediada de las frutas 34
Tabla 15. Composición bromatológica promediada de las frutas 35
Tabla 16. Densidad y sólidos solubles de las frutas 35
Tabla 17. Sólidos solubles totales para la compota 36
Tabla 18. Densidad total para la compota 37
Tabla 19. Concentración de sólidos solubles de las frutas 38
Tabla 20. Formulaciones para la compota de frutas 39
Tabla 21. Interpolación para los valores de K y n 40

CAPÍTULO I.

1. INTRODUCCIÓN

La modelación matemática se comprende como un proceso encaminado hacia una situación real a un modelo matemático, es decir conectar el mundo real con las matemáticas. (Peña y Morales, 2016)

La modelación matemática es aplicada como un proceso dinámico para comprender un problema sea de interés físico, químico o biológico. (Bassanezi y Salett,1997). En este caso se pretende el uso de un modelo matemático para la determinación de la textura de una compota en base a su composición química.

La compota es un producto elaborado a partir de fruta fresca madura, libre de microorganismos, esta puede estar entera o en trozos, pulpa o puré, zumo, con o sin adición de agua, para obtener la consistencia adecuada, la fruta puede estar congelada, en conserva o concentrado sin excluir sus principales componentes, solo debe ser cortada, clasificada o tratada por cierto método con el fin de eliminar defectos tales como magullamientos, pedículos, corazones, pepas y pueden estar peladas o no. (Codex, 1981)

Las frutas forman parte de la dieta diaria, debido a su composición nutricional y química sin embargo muchas de las personas no las consumen, en esta época la pitahaya ha tomado un realce de consumo por los beneficios que brindan a la salud, así como la piña y el orito. Por lo cual se cree conveniente realizar una compota de frutas para el consumo de niños y adultos mayores para su alimentación diaria.

Para brindar al consumidor una compota de calidad se busca establecer la mejor textura en base a la composición química de las frutas utilizadas, mediante la aplicación de un modelo matemático determinado.

1.1 Planteamiento del problema

En los últimos años Ecuador hace hincapié en la elaboración de productos agroindustriales con la finalidad de expandir el mercado con el uso de frutas no tradicionales como la pitahaya, orito y la piña. Estas son muy versátiles lo que permite elaborar diversos alimentos procesados como vino, mermelada, compota, pulpas, entre otros.

Actualmente se carece de información de modelos matemáticos específicos para determinar la textura de una compota por lo que se opta realizar revisión bibliográfica entre varios autores basado en la composición química de las frutas a utilizar para establecer un modelo ideal para la textura, que está basado en la viscosidad y la elasticidad, los cuales permitirán la obtención del producto que cumpla con los parámetros alimenticios estipulados por las normas INEN y Codex Alimentario.

1.2 Formulación del problema

¿Existen pocos estudios en la modelación matemática para la determinación de la textura de la compota en base a la viscosidad y la elasticidad qué permita el cumplimiento de los parámetros y la normativa para la elaboración de una compota a base de pitahaya con frutas compuestas como una alternativa agroindustrial que aporte beneficios para la salud humana?

1.3 Objetivo General

Desarrollar la modelación matemática en base a su composición química para la determinación de la textura de la compota de pitahaya (*selenicereus megalanthus*).

1.3.1 Objetivos Específicos

- Realizar el análisis bibliográfico de la composición física, química y bromatológica de las frutas.
- Definir el contenido de sólidos solubles totales de las frutas y la composición de la compota para la modelación matemática.
- Determinar el modelo matemático para la obtención de la textura de la compota Pitahaya (*Selenicereus megalanthus*).
- Evaluar el costo de producción según las fórmulas empleadas para la obtención de la compota de pitahaya.

1.4 Justificación

En la actualidad existen pocas estudios sobre modelos matemáticos que evalúen la textura de compotas, por lo que la presente investigación desea lograr la obtención de una modelación adecuada para la evaluación de la consistencia del producto, tomando en cuenta los parámetros establecidos según las normas pertinentes.

Para el desarrollo de la modelación matemática se establece ciertos factores importantes como la viscosidad y la elasticidad, que por medio de sus fórmulas matemáticas ayudan a formar el modelo adecuado para la determinación de la textura de la compota.

La pitahaya es consumida generalmente entera, por lo que da la oportunidad de brindar una alternativa a través de esta investigación el consumo de la pitahaya en forma de compota con la adición de otras frutas como la piña y orito que les brinda un sabor agradable tomando en cuenta su textura.

CAPÍTULO II.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Antecedentes

Según Montesinos, et al (2015) La pitahaya amarilla (*Selenicereus spp*.), con 20 especies, se encuentra distribuida en Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela, es considerada la fruta más exótica del mundo, se caracteriza por tener una corteza de color amarillo con espinas y una pulpa blanca aromática con pequeñas semillas negras, es consumida debido a sus características organolépticas y propiedades nutricionales que contiene como fósforo, calcio, vitamina C, hierro, potasio, sodio, esta ayuda para bajar de peso, estreñimiento, limpiar los riñones y eliminar toxinas del cuerpo. (Andrade y Ruano 2016).

Cabe recalcar que el aceite de las semillas tiene un efecto laxante que ayuda a aliviar problemas estomacales, mejorar el tracto intestinal y disminuir el colesterol. (Sotomayor, et al, 2019)

El cultivo de pitahaya en el Ecuador, especialmente en el cantón de Palora, ubicado en la amazónica provincia de Morona Santiago, existe una variedad de pitahaya amarilla endémica de la zona, muy apetecible en el mercado internacional por su sabor, tamaño y textura. Debido a su buena apariencia es aceptada en Hong Kong, Singapur y Canadá. (Heras, 2018)

La modelación matemática para tipos de alimentos hace énfasis en los aspectos numéricos, donde han utilizado ecuaciones de acuerdo con parámetros físicos, químicos y bromatológicos (densidad, calor específico, conductividad térmica, coeficientes de intercambio de calor, coeficientes de dilatación, etc.). De igual manera, existe otros comportamientos de modelos que permiten trabajar con sólidos y fluidos comprensibles, mediante los comportamientos térmicos y fluidodinámico de las muestras de alimentos. (Infante, 2009)

2.2 Base teórica

2.2.1 Pitahaya amarilla

La pitahaya también conocida como fruta del dragón, es un cultivo de huerta, pertenece a la familia *Cactaceae*. Es originaria de América del Sur Central y se distribuye en Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia. El fruto es una baya oblonga de tamaño mediano con tubérculos y espinas que se desprenden durante la maduración. Contiene muchas pequeñas semillas negras digeribles, la pulpa y las pieles adoptan diferentes coloraciones de acuerdo con la especie. (Cejudo, et al, 2016)

2.2.1.1 Caracterización física de la pitahaya

En la tabla 1 se presenta los valores de las características físicas de la pitahaya.

Tabla 1. Características físicas de la pitahaya

Características	Cantidades	Cantidades	Cantidades
Peso total	571, 01 g	175,61 g	154,42 g
Longitud	12,12 cm	9,60 cm	9,87 cm
Ancho	8,24 cm	6,52 cm	6,50 cm
Referencia	(Ochoa, et al, 2012)	(Paredes, 2014)	(Tinitana, 2014)

Elaborado por: (Erazo y Jácome, 2020)

2.2.1.2 Caracterización química de la pitahaya

En la tabla 2 se presenta la composición química de la pitahaya en 100 gramos de fruta comestible.

Tabla 2. Características químicas de la pitahaya

Factores	Contenido	Contenido	Contenido
Energía	63 kcal	57 kcal	67,7 kcal
Ácido ascórbico	20 mg	8,0 mg	25 mg
Calcio	26 mg	3,47 mg	10 mg
Hierro	0,3 mg	0,55 mg	0,3 mg
Fósforo	26 mg	30,2 mg	16 mg
Potasio	155 mg	74,90 mg	74,88 mg
Niacina	0,2 mg	0,2 mg	0,2 mg
Sodio	4 mg	4,50 mg	-
Referencia	(Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, 2018)	(Tinitana, 2014)	(Guevara, 2010)

Elaborado por: (Erazo y Jácome, 2020)

2.2.1.3 Caracterización bromatológica de la pitahaya

En la tabla 3 se presenta los valores de la composición bromatológica de la pitahaya.

Tabla 3. Características bromatológicas de la pitahaya

Parámetros	Contenido	Contenido	Contenido
Humedad	85, 40 (%)	85,4 (%)	85,4 (%)
Carbohidratos	9,90 (%)	13,2 (%)	13,2 (%)
Cenizas	0,50 (%)	-	0,40 (%)

Proteína	0,40 (%)	0,50 (%)	0,40 (%)
Fibra	0,70 (%)	0,50 (%)	0,50 (%)
Lípidos	0,10 (%)	0,10 (%)	0,10 (%)
Referencia	(Tinitana, 2014)	(Guevara, 2010)	(Santacruz, et al, 2009)

Elaborado por: (Erazo y Jácome, 2020)

2.2.1.4 Caracterización fisicoquímica de la pitahaya

En la tabla 4 se presenta los valores de la composición fisicoquímica de la pitahaya.

Tabla 4. Características fisicoquímicas de la pitahaya

Parámetros	Cantidad	Cantidad	Cantidad
Brix	16,17	10,23	18,25
Acidez titulable	0,10	1,35	0,11
pH	4,72	4,23	4,46
Referencia	(Guerrero, 2014)	(Cañar, et al, 2014)	(Tinitana, 2014)

Elaborado por: (Erazo y Jácome, 2020)

2.2.2 Piña Ananas comosus

La piña (*Ananas comosus*), es una monocotiledónea perenne herbácea perteneciente a la familia Bromeliaceae, es cultivada en zonas tropicales y subtropicales. Esta fruta es reconocida por su valor nutricional y medicinal. (Li, et al, 2019)

2.2.2.1 Caracterización física de la Piña

En la tabla 5 se presenta los valores de las características físicas de la piña.

Tabla 5. Características físicas de la piña

Características	Cantidades	Cantidades	Cantidades

Peso total	2,04 kg	1,68 kg	2 kg
Longitud	36,1 cm	15,15 cm	15 cm
Ancho	13,6 cm	11 cm	16 cm
Referencia	(Cortez y Morales, 2018)	(Rodríguez, et al, 2016)	(Erazo y Jácome, 2020)

Elaborado por: (Erazo y Jácome, 2020)

2.2.2.2 Caracterización química de la piña

En la tabla 6 se presenta la composición química de la piña en 100 gramos de fruta comestible.

Tabla 6. Características químicas de la piña

Factores	Contenido	Contenido	Contenido
Energía	50 kcal	52,6 kcal	51 kcal
Sodio	1 mg	< 5,67mg	1 mg
Ácido ascórbico	47,8 mg	12 mg	-
Calcio	13 mg	20,3 mg	17 mg
Hierro	0,29 mg	0,23 mg	0,5 mg
Zinc	0,12 mg	0,67 mg	0,21 mg
Magnesio	12 mg	2,02 mg	13 mg
Potasio	109 mg	170 mg	146 mg
Referencia	(Carías, 2015)	(Dawson, 2000)	(Díaz, 2011)

Elaborado por: (Erazo y Jácome, 2020)

2.2.2.3 Caracterización bromatológica de la piña

En la tabla 7 se presenta los valores de la composición bromatológica de la piña.

Tabla 7. Características bromatológicas de la piña

Parámetros	Contenido	Contenido	Contenido
Humedad (%)	83,39	86	85,8
Carbohidratos (%)	14,58	8	9,24
Cenizas (%)	1,05	-	-
Proteína (%)	0,81	1	0,4
Fibra (%)	2,66	2	1,52
Lípidos (%)	0,17	0,1	0,2
Referencia	(Cortez y Morales, 2018)	(Buitrago, 2017)	(Dawson, 2000)

Elaborado por: (Erazo y Jácome, 2020)

2.2.2.4 Caracterización fisicoquímica de la piña

En la tabla 8 se presenta los valores de la composición fisicoquímica de la piña.

Tabla 8. Características fisicoquímicas de la piña

Parámetro	Cantidad	Cantidad	Cantidad
Brix	14,16	10,60	13,57
Acidez titulable	0,61	0,46	1,57
pH	3,75	3,65	3,7
Referencia	(Cortez y Morales, 2018)	(Mercado, et al, 2019)	(Rodríguez, et al, 2016)

Elaborado por: (Erazo y Jácome, 2020)

2.2.3 Orito (*Musa Acuminata)*

El banano orito es una variedad comestible del género Musa perteneciente al grupo diploide (AA). Los frutos son cortos, lo que les da una apariencia de cilindro y conforman racimos

de 6 a 11 manos, con un promedio de 20 frutos. Su crecimiento se propicia en monocultivo por la facilidad de absorción de nutrientes específicos para la planta. Su cosecha se realiza durante todo el año. (Peñafiel, 2017)

2.2.3.1 Caracterización física del orito

En la tabla 9 se presenta los valores de la composición física del orito.

Tabla 9. Características físicas del orito

Características	Cantidad	Cantidad
Peso total	74,5 g	120 g
Longitud	10,35 cm	13 cm
Ancho	3,39 cm	5 cm
Referencia	(Valencia, 2012)	(Erazo y Jácome, 2020)

Elaborado por: (Erazo y Jácome, 2020)

2.2.3.2 Caracterización química del orito

En la tabla 10 se presenta la composición química del orito en 100 gramos de fruta comestible.

Tabla 10. Características químicas del orito

Factor	Contenido	Contenido
Energía	0,111 kcal	0,028 kcal
Sodio	0 mg	0 mg
Ácido ascórbico	16 mg	15 mg
Calcio	6 mg	0 mg
Hierro	0,7 mg	1 mg
Fósforo	21 mg	0 mg

Potasio	0 mg	400 mg
Referencia	(Peñafiel, 2017)	(Ponce, 2013)

Elaborado por: (Erazo y Jácome, 2020)

2.2.3.3 Caracterización bromatológica del orito

En la tabla 11 se presenta los valores de la composición bromatológica del orito.

Tabla 11. Características bromatológicas del orito

Parámetro	Contenido	Contenido	Contenido
Humedad	74, 87 (%)	74,8 (%)	72,5 (%)
Carbohidratos	29,2 (g)	29 (g)	1,1 (g)
Cenizas	0,5 (g)	0,9 (%)	0,72 (g)
Proteína	1,2 (g)	1 (g)	0,5 (g)
Fibra	0,6 (g)	29 (%)	1,1 (g)
Lípidos	-	-	0,1 (g)
Referencia	(Peñafiel, 2017)	(Ponce, 2013)	(Freire y Jaime, 2014)

Elaborado por: (Erazo y Jácome, 2020)

2.2.3.4 Caracterización fisicoquímica del orito

En la tabla 12 se presenta los valores de la composición fisicoquímicas del orito.

Tabla 12. Características fisicoquímicas del orito

Parámetro	Cantidad	Cantidad	Cantidad
Brix	18	15,8	29
Acidez titulable	0,16	0,43	0, 47
pH	-	5,20	5,9
Referencia	(Peñafiel, 2017)	(Hurtado, 2016)	(Inga, 2003)

Elaborado por: (Erazo y Jácome, 2020)

2.2.4 La compota de frutas

El CODEX STAN 79 (1981). La compota o conserva es un preparado con ingredientes de fruta apropiado que puede ser fruta entera, trozos, pulpa o puré con o sin zumo (jugo) de fruta, mezclado con edulcorante o sin azúcar, hasta adquirir una consistencia adecuada (viscosidad o semisólida). Este preparado, a partir de estas frutas fresca o mezcla es un alimento que se asocia generalmente para los bebes por su viscosidad, no requiere masticación para su consumo. (De la Cruz y Puchoc, 2014)

2.2.5 Determinación de la textura de los Alimentos

La textura es una propiedad que permite reflejar la aceptabilidad de las frutas o vegetales, se compone por los siguientes atributos como: mecánicos, geométricos y de superficie de un producto determinado, que se distinguen por medio de distintos equipos, sean mecánicos o táctiles.

Es importante para el desarrollo de nuevos productos, o para la optimización de variables de un proceso, conocer la evaluación de la textura; esta se puede evaluar de manera sensorial o por medio de instrumentos. Para medir la textura de alimentos semisólidos se usa un viscosímetro rotario. (García, 2011)

2.2.5.1 Medición de la textura

La textura es una experiencia humana que surge en la interacción con los alimentos, donde el alimento es masticado y se produce el proceso dinámico como resultado de sus propiedades físicas, los cuales son percibidas por los órganos de los sentidos. Dentro de estas propiedades intervienen la forma, tamaño y la naturaleza de la percepción de la naturaleza de la textura, cuales han previsto para compotas y mermeladas de frutas las propiedades del corte, fuerza del gel, la elasticidad y viscosidad (donde se aplica la Ley de Newton), de igual forma la resistencia que opone el cuerpo a la salida del émbolo. (Barrantes, 2009)

La alternativa para calcular la textura está basada en estos principios de las propiedades reológicas, sin embargo, debemos considerar la aplicación de la primera Ley de Newton, con el objetivo de calcular el fluido en reposo como la fuerza comprensiva por unidad de área. Estas técnicas permiten medir por separado siendo su equivalencia la aplicación el Principio de Pascal.

2.2.5.2 Propiedades de la textura

Tabla 13. Parámetros de la textura

Parámetro	Definición Física	Definición Sensorial
	Propiedades primarias	
Viscosidad	Velocidad de flujo por unidad de fuerza.	Fuerza requerida para verter un líquido sobre la lengua desde una cuchara.
Elasticidad	Velocidad a la cual un material recupera su forma original luego de que la fuerza de deformación es removida.	Velocidad a la cual un producto vuelve a su forma original luego de haber sido comprimido entre los dientes.

Fuente: (García, 2011)

2.2.5.3 Clasificación de los fluidos según su comportamiento reológico

En la industria de alimentos, la reología, es la ciencia de la deformación y el flujo de materias primas, productos intermedios y productos terminados. Los alimentos, además de caracterizarse por su olor, color y sabor; responden a un determinado comportamiento mecánico y reaccionan de un cierto modo cuando se intenta deformarlos; estos pueden ser duros o blandos, correosos o deleznables, gomosos o quebradizos, de textura fibrosa o uniforme, unos fluyen fácilmente, otros con dificultad (Muller, 1973). A lo largo de la historia, autores como Muller, Eugene Bingham, Robert Hoke e Isaac Newton, coinciden que la reología, tiene como propósito el estudio de la deformación o flujo de la materia. De manera general, algunos autores presentan su clasificación según las propiedades reológicas, o bien coinciden con la clasificación de los fluidos newtonianos y no newtonianos; para este estudio de investigación se considera la ley de Newton de la viscosidad.

En la actualidad, la reología moderna, además del comportamiento elástico y viscoso, considera sistemas complejos que presenta simultáneamente sustancias viscoelásticas. Al respecto, es preciso considerar, además, que existen alimentos en los que el comportamiento de la viscosidad depende del tiempo de actuación de esfuerzo realizado sobre ellos. (Panchi, 2013)

La ecuación de la Ley de Newton de viscosidad de un fluido.

$$\tau = -\mu \frac{du}{dy} \quad (2.1)$$

Donde:

τ = Esfuerzo cortante (Pa)

μ= Viscosidad dinámica del fluido (Pa.s)

$\frac{du}{dy}$= Velocidad de deformación del fluido (1/s) =y

2.2.5.4 Los modelos matemáticos aplicados de acuerdo con las propiedades de la textura

2.2.5.4.1 Fluidos no newtonianos

Para la mayoría de los productos agrícolas, lo que incluye productos alimenticios como crema, azúcar, jarabe, miel y aderezo para ensalada, el cociente entre esfuerzo cortante y velocidad de corte no es lineal y estos fluidos se conocen como no newtonianos. En fluidos no newtonianos, la relación entre τyz y dvz/dy no es lineal, es decir, la viscosidad μ no permanece constante, sino que está en función de la velocidad cortante. Algunos líquidos no obedecen esta ley simple de Newton, como pastas, lechadas, altos polímeros y emulsiones. (Ramírez, 2006)

2.2.5.4.2 Modelo de Herschel Bulkley

En un caso especial del modelo de la Ley de Potencia, donde el esfuerzo cortante está relacionado con el gradiente de velocidades mediante la siguiente expresión

$$\tau = k\left(\frac{dV}{dy}\right)^n + \tau_0 = k(\gamma)^n + \tau_0 \quad (2.2)$$

Donde:

k, es el coeficiente de consistencia del líquido (Pa.s);
n, es el índice de la ley de potencia (valor adimensional);
y, es el esfuerzo de la fluencia del fluido (Pa).

Los alimentos que se ajustan a este modelo son: ejemplos como pasta de pescado desmenuzado, pasta de pasas, pasta de maní, puré de banana, durazno, papaya y mango. (Tafur, 2006)

2.2.5.4.3 Viscosidad Aparente

"η" se define como el cociente entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación. Este término es el que se utiliza al hablar de "viscosidad" para fluidos no newtonianos.

$$\mu = \frac{\gamma}{\tau} \tag{2.3}$$

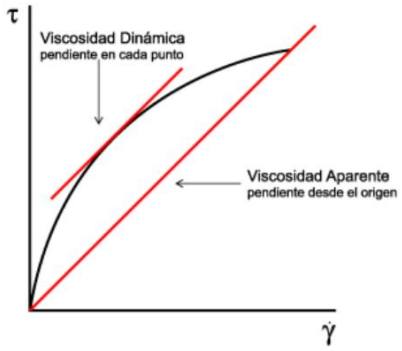

Fig. 1. Curva de la fluidez para representar la viscosidad dinámica y aparente.

2.2.5.4.4 Ley de Potencia

Es un modelo de dos parámetros para el cual la viscosidad absoluta disminuye medida que la tasa de corte aumenta y está dada por la siguiente ecuación.

$$\sigma = k\gamma^n \tag{2.6}$$

Donde:

σ=Esfuerzo cortante (Pa)

k=Coeficinete o índice de consistencia de flujo (Pa.S^n)

γ= Velocidad de cizalla (1/s)

n= Índice de comportamiento del flujo

Es un modelo de dos parámetros: K (índice de consistencia) y n (índice de comportamiento). Para n=1, el modelo representa el comportamiento newtoniano, con $n = k$ por consiguiente la desviación del valor de n de la unidad, es una medida del grado del comportamiento

newtoniano. Para n>1, el modelo sigue dilatante, mientras que n<1 indica un comportamiento pseudoplástico. Se prevé otro modelo según la variación de la viscosidad con la concentración de los sólidos solubles y la viscosidad, pero no lineal a temperatura constante.

Estas dos correlaciones o modelos matemáticos para considerar el efecto de la concentración en la viscosidad según un modelo potencial. (Garza, 1996)

$$n = k_1 C^1 \tag{2.7}$$

Y un modelo exponencial:

$$n = k_2.\ exp(A_2 C) \tag{2.8}$$

En estas ecuaciones, K2, A1 y A2 son constantes y C es el contenido en solidos solubles, esta son las ecuaciones que permite validar la concentración o el índice de consistencia según su viscosidad. (Panchi, 2013)

Los alimentos que contienen un fluido pseudoplástico son: pasta de avellana, puré de plátano, vinagreta, jarabe de chocolate, salsa para enchilada, y jarabe para panqueque, jugos concentrados de frutas o vegetales, pastas, compota de manzana, pasta de almidón y proteínas. En general, los purés de frutas y vegetales son fluidos pseudoplásticos. La consistencia de estos productos es un parámetro importante para la calidad. (Martínez, 2002)

2.2.5.4.5 Elasticidad

La elasticidad se define como la propiedad de un material por la que recupera su forma y dimensiones originales parcial o totalmente al cesar la acción del esfuerzo aplicado.

Un cuerpo es perfectamente elástico si la deformación ocurre instantáneamente con la aplicación de un esfuerzo y esta deformación desaparece completa e instantáneamente cuando se retira el esfuerzo aplicado. Se asume generalmente que existe una relación biunívoca entre el estado de esfuerzo y la deformación en los cuerpos elásticos, de aquí que los efectos dependientes del tiempo sean excluidos.

Cuerpo elástico es el sólido ideal o Hookeano y es representado mecánicamente por un resorte (fig. 2.)



Fig. 2. Resorte "elemento elástico ideal"

Para deformaciones pequeñas, algunos cuerpos bajo un esfuerzo axial exhiben “elasticidad ideal” y el esfuerzo es directamente proporcional a la deformación. En la figura 2.1 se representa una curva de un “sólido de Hooke”. Obsérvese como el material presenta el mismo comportamiento tanto en la carga como en la descarga.

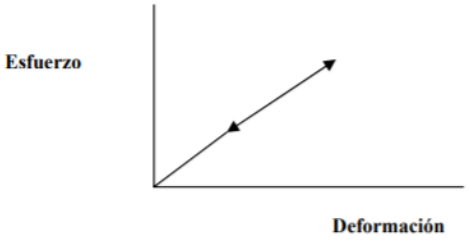

Fig. 2.1. Reograma para el sólido elástico ideal.

En los materiales biológicos: frutas, vegetales, granos, etc., el comportamiento Hookeano prácticamente no existe. En la figura 2.2 se muestra una curva típica de carga-descarga para alimentos donde se observa la deformación residual en la descarga.

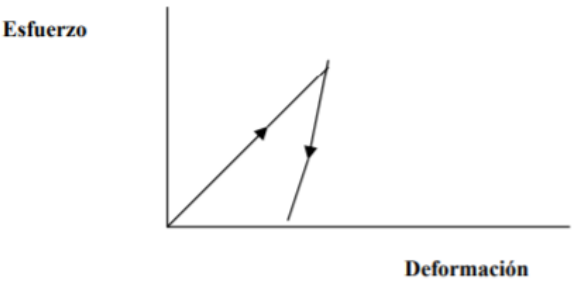

Fig. 2.2. Reograma para el sólido elástico ideal.

El concepto de elasticidad ideal está basado en la Ley de Hooke, la cual puede expresarse por dos ecuaciones reológicas:

$$K = \frac{P}{\varepsilon_v} \quad \text{donde } \varepsilon_v = \frac{\Delta V}{V} \text{ y } P = \frac{F}{A} \tag{2.4}$$

$V: volumen$

$\Delta V: cambio\ de\ volumen$

$$G = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{donde } \sigma = \frac{F}{A} \quad \text{y} \quad \varepsilon = \frac{L}{H} \tag{2.5}$$

Siendo "K" el módulo de compresión volumétrica y "G" el módulo de rigidez (o de cizallamiento). (Castro y Morgado, 2007)

2.2.5.4.6 Principio de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli tiene gran importancia en la mecánica de fluidos; relaciona la presión, la velocidad y la altura en flujos constantes, incomprensibles y con fuerza de fricción despreciable. La ecuación de Bernoulli no es aplicada a todo flujo, solo en aquellos donde la viscosidad del fluido sea despreciable en comparación con los efectos de inercia y gravitación. Es decir, solo se aplica a regiones en las que la viscosidad o fuerza de fricción interna es neta, el caudal es constante y el fluido es incomprensible (densidad constante). (Antolínez y Guerra, 2016)

Describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una corriente de agua, fue expuesto por Daniel Bernoulli en su obra Hidrodinámica y expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) aquí tiene la semejanza de la aplicación del régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante hasta ejercer su gravedad o presión que pasa de un diámetro a otro diámetro de la tubería en forma descendente. Por ende, se aplica la siguiente ecuación.

2.2.5.4.7 La ecuación de Bernoulli

La energía de un fluido en cualquier momento consta de 3 componentes:

Cinética: es la energía debida a la velocidad que posea el fluido

Potencial gravitacional: es la energía debido a la altitud que un fluido posea

Energía de flujo: es la energía que un fluido contiene debido a la presión que posee

La siguiente ecuación conocida como "ecuación de Bernoulli" consta de estos mismo términos.

$$\frac{V^2 p}{2} + P + pgz = constante \quad (2.9)$$

Donde:

- Velocidad del fluido en la sección considerada
- Densidad del flujo
- Presión a lo largo de la línea de corriente
- Aceleración gravitatoria
- Altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia

Para aplicar la ecuación se deben realizar las siguientes supuestos:

- Viscosidad (fricción interna) = 0 es decir, se considera que la línea de corriente sobre la cual se aplica se encuentra una zona no viscosa del fluido.
- Caudal constante
- Flujo incompresible, donde p es constante

La ecuación se aplica a lo largo de una línea de corriente o en un flujo sin rotación. (Guimaray, 2014)

2.2.5.4.8 Ecuación de Continuidad

Se obtienen del principio de la conservación de la masa aplicada al escurrimiento de fluidos a través de un volumen de control. (Pérez, 2002)

Consideremos un tubo de corriente estrecho de forma que se pueda considerar uniforme a la velocidad en cualquier sección del tubo perpendicular al flujo. Sea v_1 la velocidad de la partícula en el punto 1 y v_2 la velocidad de la partícula en el punto 2, con A_1 y A_2 las secciones transversales de los tubos, perpendiculares a las líneas de corriente. Si el tubo es estrecho v_1 y v_2 son uniformes en A_1 y A_2 respectivamente.

Es un intervalo de tiempo dt, un elemento del fluido recorrerá una distancia $v\ dt$, por lo que en el tiempo dt pasará por A_1la masa de fluido

$$dm_1 = \rho_1 * A_1 * v_1\ dt \quad (2.10)$$

Donde ρ_1 es la densidad del fluido al pasar por la sección 1. El flujo de masa o caudal masico se define como la masa que atraviesa una sección en la unidad de tiempo y viene dado por

$$Qm = \frac{dm_1}{dt} = \rho_1 A_1 v_1 \quad (2.11)$$

Donde se considera implícitamente que en ese intervalo infinitesimal de tiempo A ni v varían apreciablemente en el recorrido del flujo $v\ dt$. El caudal masico a través de la sección A_1es $\rho_1 A_1 v_1$ y a través de la sección A_2 es $\rho_2 A_2 v_2$. (Domingo, n.d.)

2.2.5.5 Viscosímetro capilar

Serpil y Servet, (2009) menciona que el viscosímetro capilar consiste en medir el tiempo de que se requiere para pasar de un punto a otro, luego se calcula la densidad de la muestra con la ayuda de un densímetro dentro de un recipiente o probeta. Por consiguiente, los viscosímetros capilares son de uso común y prácticos.

2.2.5.6 Normas para el cumplimiento de los parámetros de la textura

Según la norma técnica INEN 2009:2013 Alimentos colados y picados, envasados para lactantes y niños, presenta que la textura para la compota debe ser fina y uniforme y de un tamaño de partículas que no requiera o incite a la masticación antes de la deglución. Dependiendo de su ingrediente principal pueden ser de frutas o de vegetales.

CAPÍTULO III.

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Localización

La ejecución del proyecto de investigación se llevó a cabo en la provincia de Pastaza, en la ciudad del Puyo barrio El Chofer en las calles Cotopaxi y Riobamba.

3.2 Tipo de Investigación

3.2.1 Investigación descriptiva

Cuenta con un enfoque cualitativo y cuantitativo, según la revisión bibliográfica de datos físicos, químicos y bromatológicos de la materia prima (pitahaya) y productos elaborados. Para la elaboración de una compota con una mezcla de frutas (orito y piña), se realizará una comparación de la textura con varias compotas comerciales con la finalidad de hallar los promedios y formulaciones adecuadas para establecer un modelo matemático.

3.2.2 Investigación exploratoria

Esta investigación tiene como propósito dar a conocer la formulación matemática para la evaluación de la textura de la compota de pitahaya a base de las características físicas, químicas y bromatológicas que permita probar la metodología de la fórmula matemática a nivel de la industria en la parte práctica basado en la teoría investigativa realizada por diferentes autores.

3.3 Métodos de Investigación

3.3.1 Método de recolección de datos

La recopilación de información se buscará en libros, tesis, artículos, normas INEN, Codex Alimentario entre otros, las características físicas, químicas y bromatológicas de la pitahaya, piña, orito y el proceso de elaboración de la compota. Tomando en cuenta que deben regirse a la información de los últimos años.

3.3.2 Metodología de la Investigación

Los datos obtenidos se evalúan según normas internacionales, nacionales y locales, para la formulación matemática en base a información o datos bromatológicos de la composición

física y química de las compotas de frutas que serán aplicadas en un futuro en la industria sea de forma artesanal, semi industrial e industrial que permita la producción a base de los ensayos y a la vez sea una herramienta de interés para la educación en el campo de la industria alimentaria.

3.3.3 Proceso Metodológico

3.3.3.1 Obtención de la información

Se realizó una revisión bibliográfica de trabajos científicos y experimentales de 19 tesis, 4 revistas científicas, 10 artículos científicos, 2 Normas Técnicas INEN y Codex Alimentarius y 3 libros, sobre la caracterización química, física y bromatológica de las frutas y modelaciones matemáticas para la textura de la compota en base a la viscosidad y elasticidad. Para esta investigación se utilizaron bases de datos de Science Direct, Google académico, Redalyc, Google. Se recopiló alrededor de 40 investigaciones donde se detalla lo requerido.

3.3.3.2 Organización de la información

La información seleccionada se tabuló en cuadros realizados en Word (2016) de acuerdo con su caracterización física, química y bromatológica de tres distintos autores con la finalidad de compararlos. En el caso del análisis físico se recuperó información del peso, longitud y ancho de la materia prima, para la parte química se consideró los minerales y energía, para los componentes bromatológicos se recopiló datos de las proteínas, cenizas, fibra, lípidos, carbohidratos, así como también se obtuvo información sobre modelaciones matemáticas en base a la textura de los alimentos.

3.3.3.3 Análisis de información

La información obtenida de los diferentes autores será promediada con el fin de buscar las fórmulas matemáticas adecuadas que permitan realizar la mejor mezcla para la elaboración de la compota.

3.3.4 Cuadros comparativos de la composición química y bromatológica de las frutas

En los siguientes cuadros se detalla el cálculo promediado de la composición química y bromatológica de las frutas donde el total del promedio representa los sólidos totales:

Tabla 14.Composición química promediada de las frutas

Componentes químicos			
Componentes	Pitahaya	piña	orito
Energía	63	51,2	0,07
Ácido ascórbico	12	29,9	15,5
Calcio	26	16,77	3
Hierro	2	0,34	0,85
Fósforo	29	-	10,5
Potasio	102	141,67	200
Niacina	0	-	-
Sodio	4	2,56	0

Elaborado por: (Erazo y Jácome, 2020)

Tabla 15. Composición bromatológica promediada de las frutas

Composición bromatológica			
Parámetro	Pitahaya	Piña	Orito
Humedad	85,4	85,06	74,06
Carbohidratos	12,1	10,61	19,77
Cenizas	0,45	1,05	0,71
Proteína	0,43	0,74	0,90
Fibra	0,57	2,06	10,23
Lípidos	0,1	0,16	0,10

Elaborado por: (Erazo y Jácome, 2020)

3.3.5 Procedimiento del análisis de la información bibliográfica

Se ha analizado y sintetizado la información de la densidad y sólidos solubles, así como la composición química y bromatológica de diferentes autores; el mismo que nos ayudó a la elaboración de las respectivas tablas, como también permite plantear mezclas para la compota basado en estas composiciones. Se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 16. Densidad y sólidos solubles de las frutas

Propiedades	Unidad	Pitahaya	Piña	Orito
Densidad	gr/m3	1,09	1,09	1,11

Sólidos solubles	°Brix	14,6	12,78	20,93

Elaborado por: (Erazo y Jácome, 2020)

3.3.6 Planteamiento de concentraciones para la obtención del promedio de los sólidos solubles.

La siguiente ecuación nos ayuda a determinar los sólidos solubles totales

$$\sum S_{SST} = \frac{A(X_{A\%\,Mezcla})}{X_{\%Total}} + \frac{B(X_{B\%\,Mezcla})}{X_{\%Total}} + \frac{C(X_{c\%\,Mezcla})}{X_{\%Total}} \quad (3.1)$$

ΣS_{SST}= Sumatoria de los sólidos solubles totales de la Mezcla.

$A(X_{A\%\,Mezcla})$= Brix y el porcentaje que se pretende mezclar de la fruta A.

$B(X_{B\%\,Mezcla})$= Brix y el porcentaje que se pretende mezclar de la fruta B.

$C(X_{c\%\,Mezcla})$= Brix y el porcentaje que se pretende mezclar de la fruta C.

$X_{\%Total}$= Corresponde al 100% de los sólidos solubles para obtener esta sumatoria.

Para la obtención de la textura de la compota de frutas se evalúa los sólidos solubles totales de la mezcla de estas a través de la ecuación (3.1) aplicada en las distintas formulaciones expuestas anteriormente:

Tabla 17. Sólidos solubles totales para la compota

Formulaciones	F1	F2	F3
°Brix	15,51	15,73	15,95

Elaborado por: (Erazo y Jácome, 2020)

En la tabla 17, se presenta el total de sólidos solubles para tres formulaciones presentadas en el cual se obtuvieron los siguientes resultados para F1: 15,51 °Brix, F2: 15,73 °Brix y para F3: 15,95 °Brix, donde la formulación 3 es aquella que más se acerca a los 22°Brix que debe tener una compota.

Esta ecuación nos permite obtener nuestra concentración de sólidos solubles de esta mezcla de frutas para aplicar en el modelo matemático. Sin embargo, cabe señalar que se requiere obtener la sumatoria de las densidades de acuerdo con las concentraciones o porcentajes para la mezcla y que nos permita calcular la densidad total de las tres frutas (pitahaya, piña y orito). Para este fin se plantea la siguiente ecuación.

$$\sum \rho_T = \frac{\rho(X_{A\%\,Mezcla})}{X_{\%Total}} + \frac{\rho(X_{B\%\,Mezcla})}{X_{\%Total}} + \frac{\rho(X_{c\%\,Mezcla})}{X_{\%Total}} \quad (3.2)$$

$\Sigma\rho_T$= Sumatoria total de las densidades de la mezcla

$\rho(X_{A\%\,Mezcla})$= Brix y el porcentaje que se pretende mezclar de la fruta A.

$\rho(X_{B\%\,Mezcla})$= Brix y el porcentaje que se pretende mezclar de la fruta B.

$\rho(X_{c\%\,Mezcla})$= Brix y el porcentaje que se pretende mezclar de la fruta C.

$X_{\%Total}$= Corresponde al 100% de los sólidos solubles para obtener esta sumatoria.

Para la obtención de la densidad de las mezclas se reemplazaron los datos en la ecuación (3.2).

Tabla 18. Densidad total para la compota

Formulaciones	F1	F2	F3
Densidad gr/cm^3	16,99	17,25	17,52

Elaborado por: (Erazo y Jácome, 2020)

En la tabla 18, se expresa la cantidad de densidad que se obtuvieron en las tres formulaciones presentadas para la mezcla de las frutas.

Ecuación para la determinación de eliminación de agua y concentrado de las frutas

La siguiente ecuación nos permite determinar la eliminación de agua para llegar a la concentración de sólidos solubles que se requiere para la compota.

$$B\%_{\,H2O} = (A\%_{H2O} + A_{SSF}) - B\%_{SSC} \quad (3.3)$$

$$C = A\%_{H2O} - B\%_{H2O} \quad (3.4)$$

Donde:

$B\%_{\,H2O}$ = Porcentaje de eliminación de agua.

$A\%_{H2O}$ = Porcentaje de humedad de las frutas

A_{SSF} = Sólidos solubles de las frutas

$B\%_{SSC}$ = Sólidos solubles de la compota (22°Brix)

C = Concentración

Tabla 19. Concentración de sólidos solubles de las frutas

Concentración de sólidos solubles	
Frutas	°Brix
Pitahaya	7,4
Piña	9,22
Orito	1,07
Total	17,69

Elaborado por: (Erazo y Jácome, 2020)

Para conocer la concentración final del puré se realizó un cálculo con la ejecución de la ecuación (3.3) y (3.4), donde se muestra el total de sólidos solubles de la compota que es 17,69 °Brix, lo que significa que para llegar a la concentración deseada de 22°Brix se debe eliminar 4,31% de agua.

3.3.7 Procedimiento para el desarrollo del modelo matemático

Para este propósito se trabajó con información base de la densidad de las frutas y la densidad del agua, mediante la información basado en el viscosímetro capilar (Serpil y Servert, 2009). para este fin se basó en el siguiente procedimiento para la modelación matemática.

Mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{\rho_1 x\ t_1}{\rho_2\ x\ t_2} \qquad (3.5)$$

Donde:

μ_1= Viscosidad de la muestra (puré o compota).

μ_2= Viscosidad del agua a 15°C temperatura (0,001139 kg/ m.s)

ρ_1= Densidad de la muestra a 15°C de temperatura (17,52 gr/ cm^3)

ρ_2= Densidad del agua a 15°C de temperatura (0,9991kg/m^3)

t_1= Tiempo promedio del puré o compota (29,33 s)

t_2= Tiempo promedio del agua. (7,69 s)

$$\frac{\mu_1}{0{,}001139\ \text{kg/ m.s}} = \frac{0{,}1752\,\frac{kg}{m^3}\,x\ 29{,}33\ s}{0{,}9991\,\frac{kg}{m^3}\,x\ 7{,}69\ s}$$

$$\mu_1 = \frac{0{,}1752\frac{kg}{m^3}x\ 29{,}33\ s}{0{,}9991\frac{kg}{m^3}x\ 7{,}69\ s} * (0{,}001139\ \text{kg/ m.s})$$

Viscosidad de la muestra; $\mu_{1=\ 7{,}61\ \in^{-5}}$

Esta fórmula proviene de la viscosidad relativa, por el trabajo demostrado en líquidos de referencias, el agua, a 15°C temperatura y se emplea el mismo volumen para todos los casos.

Para este fin como nuestra investigación se basa en información bibliográfica para su aplicación debemos conocer las densidades de las pulpas y según las concentraciones de sus sólidos solubles determinar las densidades de sus mezclas a sabiendas que nuestra compota cuenta con los siguientes porcentajes de mezclas:

Tabla 20. Formulaciones para la compota de frutas

Fórmula	F1		F2		F3	
Detalle	porciento	gramos	porciento	gramos	porciento	gramos
Pitahaya	60	1200	50	1000	40	800
Orito	20	400	25	500	30	600
Piña	20	400	25	500	30	600
Total	100	2000	100	2000	100	2000

Elaborado por: (Erazo y Jácome, 2020)

Por esta razón se describe:

El método de la Ley de la Potencia nos ayudará a la validación de este para comparar y obtener el margen de error de los dos modelos matemáticos, Donde las dos correlaciones para considerar el efecto de la concentración en la viscosidad (Garza,1996), según un modelo potencial.

Tabla 21. Interpolación para los valores de K y n

Temperatura	**Parámetro**	**Concentración °Brix**			**Velocidad de cizalla**
		20	22	25	
15 °C	k	7,885	13,41	21,741	18,65 s
	n	0,258	0,246	0,228	

Fuente: (Quintana y Torres, 2015)

Elaborado por: (Erazo y Jácome, 2020)

En la tabla 21 se describe los valores de K y n a una temperatura de 15°C en distintas concentraciones de sólidos solubles, donde se interpolaron los °Brix de 20 y 25 para obtener datos de los 22°Brix que buscamos para la compota de frutas.

$$\sigma = K\gamma^n \tag{3.6}$$

$\sigma = 13{,}41\ Pa.s(18{,}65\ s)^{0{,}25}$

$\sigma = 27{,}85\ Pa$

La compota con una concentración de 22°Brix a 15°C, el esfuerzo de corte ejercido es de 27,85 Pa.

La viscosidad aparente se muestra en la siguiente ecuación

$$\mu = \frac{\gamma}{\tau} \tag{3.7}$$

$\mu = \dfrac{18{,}65\ s}{27{,}85\ Pa.s}$

$\mu = 0{,}669\ Pa.s$

CAPÍTULO IV.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La composición química, bromatológica y física de las frutas, compotas y modelos matemáticos estudiados bibliográficamente se investigó de tres autores distintos para la comparación de datos donde se analizaron 19 tesis, 4 revistas y 10 artículos científicos, 2 Normas Técnicas INEN y Codex Alimentarius y 3 libros, la información se buscó por las siguientes palabras claves pitahaya (*Selenicereus megalanthus*), piña (*Ananas comosus*), orito (*Musa acuminata AA*), composición química, bromatológica, modelo matemático, textura, compotas. Según la información recopilada se pudo distinguir que de los datos adquiridos existe cierta similitud entre los autores.

Los sólidos solubles de la pitahaya, piña y orito se consiguieron a partir de información bibliográfica basado en varios autores, dichos datos se colocaron en cuadros comparativos para conseguir un promedio de los °Brix de cada una de las frutas y así plantear una fórmula (véase ecuación 3.2), con la finalidad de alcanzar un resultado de concentración de azúcares para las formulaciones expuestas anteriormente, donde se obtuvo en **F1:** 15,51; **F2:** 15,73 y para **F3:** 15,95 °Brix, siendo F3 la formulación con mayor concentración de sólidos solubles totales, la cual se aproxima a los 22°Brix que se requiere para el puré de frutas.

El modelo de la Ley de la Potencia utilizado para la determinación de la viscosidad exhibió que el puré combinado de frutas (pitahaya, piña y orito), presenta un comportamiento reológico no newtoniano pseudoplástico, debido a que el índice de comportamiento del flujo fue menor que 1 ((n<1) para una concentración de 22°Brix y 15°C, y la viscosidad de la muestra fue de 7,61 ϵ^{-5} y la viscosidad aparente es de 0,669 Pa.s.

Para la evaluación de costos no se pudo obtener resultados satisfactorios para este proyecto debido a que no se realizó pruebas experimentales que nos permitieran dar a conocer los costos exactos para la elaboración del producto, pero se pudo efectuar precios bibliográficos de compotas comerciales donde se manifiesta que para la marca Gerber, Heinz, Baby´s, los precios varían entre 0,66 centavos a 1,33 dólares.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El aporte bibliográfico de los diferentes autores comparados, respecto a la caracterización química y bromatológica de las tres frutas utilizadas no presentan diferencias significativas, situación que resulta positiva, ya que los diferentes criterios y resultados comparados, viabilizaron el desarrollo de un trabajo satisfactorio.
- Debido a los resultados de sólidos solubles obtenidos se manifiesta que existe una variabilidad mediana para llegar a la concentración de 22°Brix, ya que la mezcla de las frutas tiene 15,95 °Brix.
- De acuerdo con los resultados obtenidos del modelo matemático ajustado, se establece que la compota de frutas se comporta como un fluido no newtoniano con características pseudoplásticas, donde se refleja que al incrementar la concentración de grados Brix aumenta la viscosidad.
- Debido a que no se realizó investigación experimental, no se determinó el costo real para la producción de la compota de frutas; por el motivo de que el proyecto desarrollado se basa teóricamente y hace énfasis en la modelación matemática para la textura del puré.

Recomendaciones

- Es de gran importancia realizar un estudio experimental para la elaboración de la compota de pitahaya con frutas compuestas.
- Realizar un estudio en base a los costos de producción para la compota de pitahaya y comparar los precios con productos comerciales.
- Se recomienda ejecutar un estudio profundo sobre la modelación matemática en base a la textura de diferentes alimentos.

REFERENCIAS

Andrade, María; Ruano, Cristina. 2016. "Estudio de la Cadena Productiva de la Pitahaya Amarilla En El Cantón Pedro Vicente Maldonado, Provincia de Pichincha: La Propuesta para la Creación de una Asociasión de Productores de la Pitahaya Amarilla." (tesis pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito.

Antolínez, Mónica; Guerra, Fernanda. 2016. "Principios de La Ecuación de Bernoulli, Aplicaciones y Esquema del Montaje Experimental." 2–12.

Barrantes, Ana. 2009. "Desarrollo de una mermelada sin adición de azúcar empleando gomas que produzcan geles similares a la pectina y Evaluación de los costos de materia prima." (tesis pregrado), Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

Bassanezi, Rodney; Salett Biembengut, M. 1997. "Modelación Matemática: Una Antigua Forma de Investigación. Un Nuevo Método de Enseñanza." *Números* (32):13–25.

Buitrago, Elkin. 2017. "'Conservación de piña oro miel (Ananas comosus) mínimamente procesada: efecto del tipo de corte, tipo de envase y recubrimiento comestible.'" (tesis posgrado), Universidad Nacional de Colombia, Palmira-Colombia.

Cañar Dubert; Caetano, Maria; Bonilla, Miguel. 2014. "Caracterización fisicoquímica y proximal del fruto de pitahaya amarilla [selenicereus megalanthus (k. schum. ex vaupel) moran] cultivada en Colombia." *Revista Agronomía* 22(1):77–87.

Carías, Julio. 2015. "elaboración de una harina de cáscara de piña (Ananas Comosus (L.) Merr) Para su aplicación en una harina alta en fibra con su respectiva evaluación nutricional y organoléptica." (Tesis Pregrado) Universidad de San Carlos de Guatemala.

Castro Eduardo; Morgado, Roger. 2007. "Parámetros Mecánicos y Textura de los Alimentos." *Universidad de Chile* 1–157.

Cejudo, María; Hurtado, Nelson; Delgado, Angélica; Heredia, Francisco. 2016. "Impact of PH and Temperature on the Colour and Betalain Content of Colombian Yellow Pitaya Peel (Selenicereus Megalanthus)." *Journal of Food Science and Technology* 53(5):2405–13.

Codex. 1981."Norma Codex Para Compotas y Jaleas. Codex Stan 79."

Cortez, Cristhian; Morales, Cynthia. 2018. “Efecto del tiempo y temperatura de pretratamiento de lavado y tipos de secado en la calidad de fibra dietetica obtenida a partir del bagazo de la piña (*Ananas Comosus*).” (tesis pregrado), Univerisdad Nacional del Santa. Perú.

Dawson, Carolina. 2000. *Fundo de La UNCTAD Para La Información Sobre Los Mercados de Productos Básicos Agriculturas*. Vol. 4. New York-Estados Unidos.

Díaz, Jorge. 2011. “Biología y Manejo postcosecha de pitahaya roja y amarilla (Hylocereus Spp., y Selenicereus Spp).” *La Calera*, 44–49.

Domingo, Agustin. n.d. “Apuntes de Mecánica de Fluidos.” Pp. 28–99 in.

Freire, Nelly; Jaime, Lissette. 2014. “Desarrollo de un proyecto de exportación del orito orgánico, con la finalidad de impulsar la marca ecuatoriana en el mercado asiático.” (tesis pregrado), Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil.

García, Analía. 2011. “Textura y Reología de Tejidos Vegetales minimamente Preocesados.” (tesis postgrado), Universidad de Buenos Aires, Buesnos Aires.

Garza, Salvador. 1996. “Caracterización Reológica y Microbiológica, y Cinéticas de Deterioro en cremogenado de melocotón.”

Guerrero, María. 2014. “Estudio del Manejo Poscosecha de pitahaya amarilla (*Selenicereus Megalanthus*) Procedente del Cantón Pedro Vicente Maldonado de la Provincia de Pichincha.” (tesis de pregrado), Escuela Politécnica Nacional, Quito.

Guevara, Carlos. 2010. “Utilización de 4 Niveles de pulpa de pitahaya en la elaboración de una bebida a base de lactosuero.” (Tesis pregrado), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.

Guimaray, Emerson. 2014. "Ecuación de Bernoulli". Universidad San Pedro. Chimbote.

Heras, Dayana. 2018. “Factores Determinantes y Proyección de exportación de pitahaya en el Ecuador, una estimación arima y de mínimos cuadrados ordinarios.” (tesis pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato.

Hurtado, Grecia. 2016. “Estudio del uso de tratamientos hidrotérmicos para el control de las podredumbres durante el período poscosecha de banano (*Musa Acuminata*) orgánico.”

(Tesis pregrado), Escuela Politécnica Nacional. Quito.

Infante, Juan. 2009. "Análisis Numérico de Modelos Matemáticos y Problemas Inversos en Tecnología de Alimentos." (Tesis postgrado), Universidad Complutense de Madrid, Madrid.

Inga, Rommel. 2003. "Determinación del momento de la cosecha del plátano var. Guayabo (*Musa Balbisiana*) en Tingo María." (tesis de pregrado), Universidad Agraria de la Selva. Perú.

Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. 2018. "Tabla de composición de alimentos Colombianos." *Icbf*, 1–147.

De la cruz, Erika; Kenny, Puchoc. 2014. "Caracterización Reológica de la compota a base de pulpa de zapallo macre (*Cucurbita Maxima Duchesne*) a diferentes concentraciones de goma xantana." (tesis pregrado), Universidad Nacional del Centr del Perú, Tarma-Perú.

Li, Qingyun; Li, Huayang; Yin, Chongyang; Wang, Xiaotong; Jiang, Qing; Zhang, Rui; Ge, Fangfang; Chen, Yudong; Yang, Long. 2019. "Genome-Wide Identification and Characterization of Xyloglucan Endotransglycosylase/Hydrolase in Ananas Comosus during Development." *Genes* 10(7):2–15.

Martínez, Rodrigo. 2002. "Caracterización del comportamiento reológico de sopa crema orientada a control de calidad." (Tesis pregrado), Universidad Austral de Chile.Valdivia-Chile.

Mercado, J; Tortoledo, O; García, J; Báez, R; García B; Ávila, J; Corella, D; Cruz, M; Velásquez, D; Zuñiga, B. 2019. "Calidad Comercial de Piña MD2 (*Ananas Comosus L* .) Tratada En Postcosecha Con Ácido 2-Hidroxibenzoico." *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 20(2):140–54.

Montesinos, Josefina; Rodríguez, Luis; Ortiz, Rodobaldo; Fonseca, María; Ruíz, Giovanni; y Guevara, Francisco. 2015. "Revisión Bibliográfica PITAHAYA (Hylocereus Spp .) un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco mexicano Review Pitahaya (Hylocereus Spp .) a Fitogenetic Resource with an History and Future for the Dry Tropic of Mexico." *Cultivos Tropicales* 36:67–76.

Ochoa, Carlos; García, Verónica; Luna, Juan; Luna, María; Hernández, Paola y Guerrero, José. 2012. "Características antioxidantes, fisicoquímicas y microbiológicas de jugo fermentado y sin fermentar de tres variedades de pitahaya (*Hylocereus Spp*)." *Scientia Agropecuaria* 3:279–89.

Panchi, Aracely. 2013. "Determinación de Parámetros Reológicos en bebidas de frutas con diferentes concentraciones de sólidos solubles mediante el uso del equipo universal TA-XT2i." (tesis pregrado),Universidad técnica de ambato, Ambato.

Paredes, Karla. 2014. "Estudio del Efecto del hidroenfriamiento y la utilización de dos tipos de empaque en la calidad poscosecha de pitahaya amarilla (*Selenicereus Megalanthus*)." (tesis pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito.

Peña, Lina; Morales, John. 2016. "La Modelación Matemática Como Estrategia de Enseñanza-Aprendizaje: El Caso Del Área Bajo La Curva." *Revista Educación En Ingeniería*, 64–71.

Peñafiel, Yesenia. 2017. "Evaluación del efecto del método químico (eritorbato de sodio), físico (escaldado) y el proceso de secado sobre el pardeamiento enzimático y no enzimático de oritos Musa Acuminata AA REBANADOS." (tesis de pregrado), Universidad Técnica del Norte, Ibarra.

Pérez, Luis. 2002. "Ecuaciones de Continuidad." Pp. 1–8 in *CÁTEDRA DE "HIDRÁULICA GENERAL" (69.01)*. Buenos Aires.

Ponce, Lorena. 2013. "Proyecto de factibilidad para la exportación de banano (orito) al mercado Italiano-Milano 2013-2023." (tesis pregrado), Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.

Quintana, Fabián; Salcedo, Eder; Arrieta, Ronny; Torres, Ramiro. 2015. "Efecto de la temperatura y concentración sobre las propiedades reológicas de la pulpa de mango variedad Tommy Atkins." *Revista Ion* 28(2):83–92.

Ramírez, Sebastián. 2006. *Introducción a La Reología de Alimentos*. Vol. 6. ReCiTeIA. Cali-Colombia.

Rodríguez, Romelio; Becquer, Rosa; Pino, Yaima; López, Daniel; Rodríguez, René; Lorente, Gustavo; Izquierdo, Roberto; González, Justo. 2016. "Fruits Production of

Pineapple (Ananas Comosus (L.) Merr.) MD-2 from Vitroplants." *Cultivos Tropicales* 37:40–48.

Santacruz, Claudia; Santacruz, Verónica; Huerta, Victor. 2009. *Agroindustrialización de Pitaya*. La Habana: Editorial Universitaria.

Serpil.S; Servert Gulum, S. (2009). Propiedades Físicas de los Alimentos. España.

Sotomayor, Andrea; Pitizaca, Soledad; Sánchez, Maritza; Burbano, Armando; Díaz, Alejandra; Nicolalde, José; Viera, William; Caicedo, Carlos; Vargas, Yadira. 2019. "Evaluación Físico Química de fruta de pitahaya (Selenicereus Megalanthus) En Diferentes Estados de Desarrollo." *Enfoque UTE*, 89–96.

Tafur, Joan. 2006. "'DIseño codificacion y validacion de un programa (reosoft v 1.0) para el calculo y modelamiento de parámetros reológicos en alimentos.'" (Tesis pregrado), Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María-Perú.

Tinitana, Margarita. 2014. "Estudio de la Calidad poscosecha de pitahaya amarilla (*Selenicereus Megalanthus*) mínimamente procesada (FRESH-CUT)." Quito.

Valencia, Gladys. 2012. "'desarrollo de una tecnología de harina de orito (*Musa Acuminata AA*) en túnel de secado de adecuadas características sensoriales y nutricionales.'" (tesis pregrado), Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador.