



FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

**Evaluación de las propiedades físico químicas y sensoriales
de un producto a base de *Smallanthus sonchifolius* (jícama).**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIERA EN ALIMENTOS

Autora:

Viviana Paola Lara Farfán

Director:

Andrés Pérez González

Cuenca - Ecuador

2019

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a las dos personas más importantes de mi vida, a mis padres Ximena y Francisco, que con su amor, enseñanzas y apoyo incondicional me han ayudado a culminar esta meta en mi vida. A ti mami, que eres la persona que más admiro en este mundo, te dedico todos mis logros, porque tú eres mi mejor ejemplo a seguir. A ti papi, por todas las veces que estuviste ahí siendo mi fan número uno, desde el jardín de niños, estando a mi lado en todo lo que me he propuesto. Los quiero mucho.

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Andrés Pérez González, director de mi tesis, que gracias a su paciencia, apoyo y dedicación me ayudo a culminar mis estudios.

Al Doctor Piercosimo Tripaldi, por su aporte en procesos para culminar esta tesis.

A mi tía Grace Farfán y prima Carla Terreros, por su inmenso cariño y apoyo incondicional durante toda mi carrera y vida. Ustedes son mi segundo hogar.

Finalmente, a mis padres y hermano, que conjuntamente me han apoyado en todas las etapas de mi carrera.

Evaluación de las propiedades físico químicas y sensoriales de un producto a base de *Smallanthus sonchifolius* (jícama).

RESUMEN

La jícama (*Smallanthus sonchifolius*), al no contener almidón como estructura habitual, sino como fructooligosacáridos (FOS), constituye una excelente alternativa para el consumo de carbohidratos. En el presente trabajo se desarrolló un producto a base de jícama, utilizando una metodología de diseño experimental factorial completo 2^4 , desarrollando la mejor formulación en base a la respuesta sensorial de catadores no entrenados; observando una buena aceptación del producto. Se analizó su composición nutricional mediante análisis bromatológico, indicando que el método de procesamiento, no afectó las características nutricionales de la jícama. Finalmente, se evaluaron las propiedades físico químicas del producto mediante pruebas de penetración, compresión y viscosidad en las cuales se observaron que este producto tiene un comportamiento viscoelástico, muy común en los cuerpos semisólidos.

Palabras clave: Jícama, diseño experimental, propiedades físico químicas, evaluación sensorial, análisis bromatológico.



Ing. Andrés Pérez González, Msc.
Director de Trabajo de Titulación



Ing. María Fernanda Rosales Mediana PhD.
Directora de Escuela



Viviana Paola Lara Farfán
Autora

**Evaluation of the physical, chemical and sensory properties of a product based on
Smallanthus sonchifolius (jícama).**

ABSTRACT

Jícama (*Smallanthus sonchifolius*) constitutes an excellent alternative for the consumption of carbohydrates since it does not contain starch as a usual structure, instead it contains Fructooligosaccharides (FOS). In this work, a product based on jícama was developed using a complete 24 factorial experimental design methodology to develop the best formulation based on the sensory response of untrained tasters and to observe a good acceptance of the product. The nutritional composition was analyzed by bromatological analysis, indicating that the processing method did not affect the nutritional characteristics of the jícama. Finally, the physical and chemical properties of the product were evaluated through penetration, compression and viscosity tests. It was observed that this product has a viscoelastic behavior very common in semi-solid bodies..

Keywords: Jícama, experimental design, physical and chemical properties, sensory evaluation, bromatological analysis.



Ing. Andrés Pérez González, Msc.
Thesis Director



Ing. María Fernanda Rosales Medina PhD.
Faculty Director



Viviana Paola Lara Farfán
Author



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by
Ing. Paúl Arpi

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE GRAFICAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 Jícama.....	3
1.1.1 Composición nutricional	4
1.2 Propiedades físico químicas de los alimentos	4
1.2.1 Viscosidad	4
1.2.2 Densidad	5
1.2.3 Fluido newtoniano	5
1.2.4 Fluido no newtoniano	5
1.2.4.1 Fluidos viscoelásticos	5
1.2.4.2 Alimento semisólido	6
1.3 Diseño experimental	6
1.4 Estadística multivariante	7
1.4.1 Técnicas de <i>ranking</i>	7
1.5 Evaluación sensorial	7
1.5.1 Escalas de evaluación	8
1.5.2 Tipos de catadores.....	8
1.6 Pruebas reológicas sobre sólidos y semisólidos	8
1.6.1 Pruebas de compresión	8
1.6.2 Pruebas de penetración.....	9
CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS	10
2.1 Proceso de elaboración producto	10
2.2 Análisis bromatológico	10
2.2.1 Humedad.....	10
2.2.1.2 Cenizas	11
2.2.1.3 Grasa.....	11

2.2.1.4 Fibra	11
2.2.1.5 Proteína.....	11
2.2.1.6 Carbohidratos.....	11
2.3 Diseño experimental	11
2.4 Evaluación sensorial	12
2.5 Estudio reológico.....	13
2.5.1 Pruebas de Penetración.....	13
2.5.2 Pruebas de Compresión	14
2.5.3 Viscosidad.....	15
2.6 Análisis multivariante	16
CAPÍTULO 3: RESULTADOS.....	17
3.1 Diseño experimental y evaluación sensorial.....	17
3.2 Análisis bromatológico	22
3.3 Prueba de compresión	23
3.4 Prueba de penetración.....	24
3.5 Medición de viscosidad.....	24
DISCUSIONES	26
CONCLUSIÓN	27
RECOMENDACIÓN.....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Jícama (<i>Smallanthus sonchifolius</i>).	3
Figura 2. Esfuerzo cortante contra velocidad de corte para fluidos newtoniano, pseudoplástico (adelgazamiento al corte), dilatante (espesamiento al corte), plástico de Bingham y plástico tipo Casson.	5
Figura 3. Diagrama de flujo para la elaboración de un producto a base de jícama.	10
Figura 4. Ficha de cata de un producto a base de jícama.	13
Figura 5. Penetrómetro de cono.	14
Figura 6. Penetrómetro de plato.	15
Figura 7. Viscosímetro rotacional de cilindros concéntricos modelo Evo expert, marca Fungilab y baño maría.	15
Figura 8. Producto a base jícama empaquetado en hoja de achira.	22

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1. Diagrama de Compresión.....	24
Gráfica 2. Diagrama de Penetración.....	24
Gráfica 3. Relación del Logaritmo Natural de la viscosidad con el Logaritmo Natural de la velocidad de corte en el producto antes de gelificar.....	25
Gráfica 4. Relación del Logaritmo Natural de la viscosidad con el Logaritmo Natural de la velocidad de corte en el producto gelificado.....	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de la raíz de Jícama.....	4
Tabla 2. Espumas.....	6
Tabla 3. Factores y niveles para el diseño experimental factorial 2^4	12
Tabla 4. Esquema del diseño factorial completo 2^4	12
Tabla 5. Ponderación evaluación sensorial.....	13
Tabla 6. Resultados diseño experimental evaluados con la mediana y promedio.	17
Tabla 7. Análisis de varianza para Mediana (unidades codificadas).	18
Tabla 8. Análisis de varianza para Promedio (unidades codificadas).....	19
Tabla 9. Ponderación de la evaluación sensorial para aplicar técnicas de ranking.....	19
Tabla 10. Matriz del diseño experimental.....	20
Tabla 11. Análisis de varianza para utilidad (unidades codificadas).....	21
Tabla 12. Formula del mejor experimento del producto a base de jícama.	22
Tabla 13. Análisis bromatológico de jícama.	23
Tabla 14. Análisis bromatológico del producto a base de jícama.	23

Lara Farfán Viviana Paola

Trabajo de titulación

Ing. Andrés Pérez González

Junio, 2019

Evaluación de las propiedades físico químicas y sensoriales de un producto a base de *Smallanthus sonchifolius* (jícama).

INTRODUCCIÓN

La alimentación mundial se está viendo afectada por cambios importantes debido, entre otras cosas, a distintos productos que se niegan a ubicarse en ese complicado equilibrio entre lo saludable y lo sabroso. Las variables de la alimentación ahora se enfocan en la salud y en la demanda de productos cada vez más nutritivos y naturales. En este contexto, los productos que vienen de la tierra están llamando la atención de los productores alimenticios. Nuestro país, por ejemplo, cuenta con un tubérculo ancestral y tradicional del que se puede obtener una alternativa comestible que cumple las normas antes mencionadas: la jícama por su nombre científico, *Smallanthus sonchifolius*, también llamada jíquima o yacón.

Un estudio realizado por el INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agrícola) identificó 25 morfotipos de jícama en el Ecuador, cuya recolección se lleva a cabo en la sierra ecuatoriana. La obtención de este tubérculo se hace casi en forma rústica, recolectan anualmente en noviembre, frutos grandes y maduros, dejando que las partes vegetativas se regeneren naturalmente y retornen al año siguiente a sembrar (Balladares & Travez, 2009).

Hay que tener en cuenta también que existe muy poco consumo de este tubérculo debido a factores como: desconocimiento sobre el aspecto nutricional, falta de cultivo debido a cambios en la dieta de la sociedad, falta de ideas sobre el uso de jícama en la industria y la falta de socialización de este tipo de alimentos.

La jícama contiene 90% de agua, una cantidad significativa de carbohidratos, fibra, vitamina C y es baja en sodio. A diferencia de otros tubérculos con alto contenido de almidón, este tubérculo almacena sus carbohidratos en forma de fructooligosacáridos (FOS) y azúcares comunes (glucosa, sacarosa, fructosa), debido a ello tiene un sabor dulce. Los FOS son una opción de edulcorante para diabéticos o personas con niveles elevados de glucosa en la sangre (Manrique , Párraga , & Hermann , 2003).

Los procesos tecnológicos a los cuales generalmente se someten los tubérculos para procesarse como productos comestibles, varios afectan sensorialmente a la jícama. De igual manera las vitaminas termolábiles también se ven afectadas por altas temperaturas (Badui, 2012). Según Estrada (2017), la jícama se ve afectada por reacciones de pardeamiento no enzimático, que hacen que su apariencia física sea desagradable durante los procesos térmicos. Esto provoca que, para el desarrollo de productos con jícama, se deba optar por la utilización de otros métodos de procesamiento y la utilización de aditivos alimentarios que retrasen el pardeamiento no enzimático. Por todo lo explicado anteriormente, surge la siguiente interrogante: ¿Es posible desarrollar un método de procesamiento que no afecte las características organolépticas y nutricionales de la jícama, y que permita desarrollar un producto que sea sensorialmente aceptado por la población?

El objetivo de este trabajo, por tanto, es desarrollar y evaluar las propiedades físico químicas de un producto alimenticio a base de jícama. Planteando un diseño experimental factorial para la formulación de este y determinar la aceptación del producto mediante respuesta sensorial. Así mismo, se hará el análisis bromatológico para definir sus características químico-bromatológicas.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Jícama

La jícama, por nombre científico *Smallanthus sonchifolius*, o por su nombre en quechua, Yacón yakuma (Arrobo, 2013), es una raíz que se la cultiva desde los 2.100 a los 3.000 metros sobre el nivel del mar, vinculándose con otras diversidades de cultivo como: el melloco, la mashua y la oca. Se la puede encontrar en zonas altas de la sierra ecuatoriana cuyas raíces son comestibles en estado fresco o procesado industrialmente con aditivos; se consume como fruta y por su alto contenido de minerales (3,73%) y azúcares (21,77%) se la considera como un rehidratante natural (INIAP, 2013).



Figura 1. Jícama (*Smallanthus sonchifolius*).

Fuente: (Arrobo, 2013)

Tamayo (2017) sostiene que se trata de una planta herbácea perenne que se multiplica por semillas o rizomas, la cual, forma un sistema radical del que brotan tallos aéreos cilíndricos que alcanzan 1,5 m de altura, con respecto a las hojas varían según la forma, pinnatífidas en la base de los tallos y triangulares en la parte apical, las inflorescencias contienen 5 brácteas verdes, triangulares y agudas, las flores externas se encuentran provistas de lígulas largas de color amarillo o anaranjado. Las raíces son irregulares y desarrollan masas ramificadas al inicio de la planta, en la parte externa se identifica un color púrpura y en la interna se ubica la parte carnosa y anaranjada.

1.1.1 Composición nutricional

Las partes utilizables son las hojas y raíces, la composición química y sus respectivas propiedades se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química de la raíz de Jícama.

Parámetro	Especie	Parámetro	Especie
	Jícama		Jícama
Humedad ¹ (%)	89,1	Fe (ppm)	87
Cenizas (%)	3,73	Mn (ppm)	18
Proteína (%)	3,73	Zn (ppm)	36
Fibra (%)	5,52	I (ppm)	0,013
Extracto Etéreo (%)	0,62	Almidón (%)	0,83
Carbohidrato total (%)	85,55	Azúcar Total (%)	21,77
Ca (%)	0,14	Azúcares reductores (%)	12,78
P (%)	0,08	Energía (Kcal/100g)	416,0
Mg (%)	0,12	Vitamina C (mg/100 g mf)	-
Na (%)	0,06	Eq. Retinol/100 g mf	34,32
K (%)	1,34	Acido Oxálico/100 g mf	-
Cu (ppm)	8,00		

Fuente: (INIAP, 2004).

*valores expresados en base seca.

¹ valor expresado en base fresca.

La jícama es una raíz comestible refrescante y energizante, misma que posee un aporte nutricional para el consumo del ser humano. Está conformado por vitamina C, potasio, calcio, hierro, es baja en sodio y grasa. La raíz de la jícama posee un sabor dulce en estado crudo, característica que la hace aceptable para el consumo humano. Adicionalmente, contiene un alto índice de agua y gran valor energético con bajo nivel de carbohidratos, convirtiéndola en un producto alimenticio refrescante y dietético (Martínez, 2012). Según un estudio realizado por la INIAP (2013) los resultados del análisis proximal, contenido de minerales, fructanos, vitamina C y tamizaje fitoquímico, permitió conocer que el tiempo óptimo de cosecha de la planta oscila entre los 8 y 11 meses de cultivo.

1.2 Propiedades físico químicas de los alimentos

1.2.1 Viscosidad

Se define a la viscosidad como la relación existente entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad. Es una propiedad de los líquidos que refleja la magnitud de la resistencia generada por fuerzas de corte en el líquido. Todos los fluidos contienen cierto grado de viscosidad, al fluido que no posee viscosidad se denomina fluido ideal. La viscosidad se mide

en un viscosímetro que reporta la lectura en centipoises (cp.) (Sharma, Mulvaney, & Rizvi, 2003).

1.2.2 Densidad

La densidad de una sustancia está constituida por el cociente entre la masa y el volumen. Según Torres y Barat (2009), la densidad es una propiedad física de relevancia con respecto a la manipulación, operaciones de proceso, transferencia de masa y calor, entre otras características. Esta propiedad se asocia de forma directa a los aspectos físicos de los alimentos, la cual depende de su composición.

1.2.3 Fluido newtoniano

Para un fluido newtoniano ideal, el esfuerzo cortante es una función lineal de la velocidad de corte, y la constante de proporcionalidad para la relación τ se conoce como viscosidad dinámica. En este caso, la viscosidad se determina aplicando una sola velocidad de corte y midiendo el esfuerzo cortante respectivo (Sharma, Mulvaney, & Rizvi, 2003).

1.2.4 Fluido no newtoniano

En la mayoría de los productos agrícolas, el cociente cortante y la velocidad de corte no es lineal y estos fluidos se conocen como no newtonianos. En estos fluidos, el cociente entre esfuerzo cortante y velocidad de corte cambiará con la velocidad de corte y a este cociente a una determinada velocidad de corte se denomina viscosidad aparente (Sharma, Mulvaney, & Rizvi, 2003).

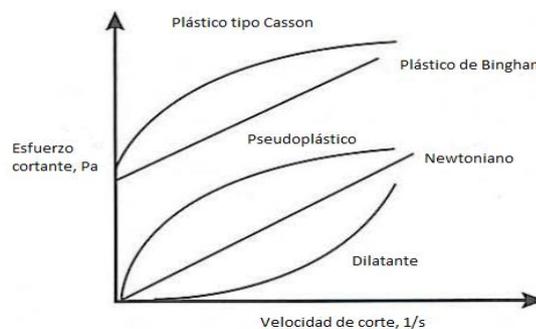


Figura 2. Esfuerzo cortante contra velocidad de corte para fluidos newtoniano, pseudoplástico (adelgazamiento al corte), dilatante (espesamiento al corte), plástico de Bingham y plástico tipo Casson.

Fuente: (Sharma, Mulvaney, & Rizvi, 2003).

1.2.4.1 Fluidos viscoelásticos

Los fluidos no newtonianos que cumplen la ley de Hooke y la ley de viscosidad de Newton se denominan fluidos viscoelásticos. Una característica importante de este tipo de fluido es que se puede restaurar algo de la deformación al ser eliminada la tensión aplicada cuando se producen deformaciones durante el flujo. Estos fluidos tienen una parte viscosa que cumple con la ley de Newton (efecto de amortiguación) y una parte elástica que cumple con la ley de

Hooke (modelo de resorte). Cuando se someten a cargas que posteriormente se eliminan, la deformación que se produce se restaura solo en la parte elástica del fluido; la fracción viscosa del fluido seguirá parcialmente deformada, por lo que se puede decir que la recuperación no está completa (Cárdenas, Pinto, & López, 2011).

1.2.4.2 Alimento semisólido

Ciertos alimentos semisólidos tienen un comportamiento viscoso y a la vez tipo elástico, a los cuales se les conoce particularmente como materiales viscoelásticos (Sharma, Mulvaney, & Rizvi, 2003). Dentro de los alimentos se encuentran presentes las espumas (tabla 2), las cuales son dispersiones coloidales de un gas o mezcla de gases suspendidos en una fase dispersante formada por un líquido viscoso o un semisólido. Las espumas representan una forma especial y única de impartir texturas y sensaciones particulares a los alimentos al conferirles diversas propiedades, como una baja densidad, lo que les convierte en productos muy ligeros (Valvidia, 2014).

Tabla 2. Espumas

Fases		Propiedades espumantes	
Fase dispersa	Aire o gas	Capacidad espumante	Medida de la cantidad de aire que puede incorporar una mezcla
Fase dispersante	Líquida	Estabilidad de la espuma	Medida del tiempo que permanece la espuma sin perder el aire incorporado.
	Semisólida		
	Sólida		

Fuente: (Sceni, Capello, & Igartúa, 2017).

1.3 Diseño experimental

Se entiende por diseño experimental al proceso para planificar un experimento, de manera que se recolecten datos adecuados con el propósito de obtener y manipular información sobre el fenómeno estudiado. El investigador puede deliberadamente influenciar en los eventos y analizar los efectos de la intervención (Montoya, Sánchez, & Torres, 2011). Un diseño factorial es aquel que permite estudiar todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores de cada ensayo. Por otra parte, en los diseños factoriales 2^k se debe tomar en cuenta dos niveles para cada uno de los factores que pueden incidir en el diseño experimental. Es así que en un diseño con k factores que cuentan con dos niveles se requiere una cantidad de replicaciones igual a 2^k observaciones. Los diseños factoriales completos constituyen los experimentos óptimos para estudiar las variables que inciden en el sistema (Ferré, 2004).

1.4 Estadística multivariante

La aplicación de estadística multivariante permite determinar la raíz de una gran cantidad de datos y variables, ciertas relaciones, analizar estructuras latentes y ensayar varias formas de organizar los datos. Tal como lo menciona Cuadras (2018), el análisis multivariante corresponde al conjunto de métodos estadísticos orientados a analizar datos provenientes de la observación de variables estudiadas simultáneamente.

1.4.1 Técnicas de *ranking*

Las técnicas de *ranking*, son una disciplina que trata sobre la elección de la mejor alternativa de varias opciones sujetas a múltiples criterios y atributos. Se utilizan para que las personas tomen una decisión con base a las preferencias que se establezcan. En la fabricación se compara diferentes alternativas a través de la descomposición de las propiedades, determinando su importancia y comparándolas entre sí, obteniendo de esta forma, una preferencia relativa dependiendo de cada propiedad (Pavan & Worth, 2008). Aristóteles, Ramírez y Guzmán (2017) indican algunas de las funciones de las técnicas de *ranking*:

- Función de preferencia
- Función de utilidad
- Función de deseabilidad
- Función multiobjetivo

La función de utilidad, son algoritmos matemáticos, donde cada criterio se transforma independientemente en una utilidad u_r , mediante una función matemática que transforma el valor actual de cada elemento en un valor comprendido entre 0 y 1.

$$U_{ir} = f_{ir}(y_{ir}) \quad 0 \leq U_{ir} \leq 1$$

r es el criterio seleccionado, f la función seleccionada y y_{ir} el valor de la i -ésima elemento para r -ésimo criterio. Una vez que el tipo de función y tendencia para cada criterio, se definió la utilidad general del alcance U i -ésimo como:

$$U_i = \frac{\sum_{r=1}^R U_{ir}}{R} \quad 0 \leq U_i \leq 1$$

en el caso de la ponderación de funciones de utilidad general se calcula como:

$$U_i = \sum_{r=1}^R W_{ir} \cdot U_{ir}$$

La finalidad es obtener un puntaje general que represente la mayor aceptación sobre un producto (Pavan, 2003).

1.5 Evaluación sensorial

Según el Instituto de Alimentos de EEUU (IFT), la evaluación sensorial es una disciplina de carácter científico, encargada de evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones sobre las características de alimentos y otras sustancias, percibidas por los sentidos del ser humano

(Hernández, 2005). De tal manera, para que un producto sea deleitable debe poseer ciertas características sensoriales de color, sabor, aroma y textura. En este proceso participan los cinco sentidos básicos: vista, gusto, olfato, oído y tacto. Además, influyen otras percepciones secundarias.

1.5.1 Escalas de evaluación

Las escalas de medición se aplican con el objetivo de cuantificar los datos de las pruebas sensoriales. Dependiendo del tipo de análisis que se llevará a cabo existen escalas nominales, ordinales, de intervalo, racionales o hedónicas (Watts, Ylimaki, & Jeffery, 2009). La escala hedónica consiste en pedir a los catadores que informen sobre el nivel de satisfacción que tienen con el producto a evaluar, asignando un valor a cada atributo según la categoría indicada en la escala hedónica, que se considere apropiada en el estudio. Sus resultados indican la aceptación del producto que se está evaluando y si su consumo se puede aplicar en el mercado al que se dirige (Hernández, 2005).

1.5.2 Tipos de catadores

Los panelistas se clasifican en función al tipo de estudio, por ejemplo: catadores expertos, entrenados o panelistas de laboratorio (se emplean en control de calidad para el desarrollo de nuevos productos) y panelistas consumidores o no entrenados (determinan la reacción del consumidor con respecto al nuevo producto). Para la elección de los panelistas, se tienen en cuenta algunas características fundamentales, tales como: interés, disponibilidad, habilidad y rendimiento. El catador que va a efectuar una evaluación sensorial debe estar dispuesto, reposado y con una mente clara (Hernández, 2005).

1.6 Pruebas reológicas sobre sólidos y semisólidos

Según Osorio, Ciro y Mejía (2005), la reología constituye la rama de la física que estudia el flujo y la deformación de la materia, específicamente en el campo de las propiedades mecánicas de los sólidos y semisólidos. Los fines de aplicar este tipo de pruebas consisten en el conocimiento de materia prima, productos semiterminados y el análisis de la relación entre composición, estructura química y condiciones reológicas. Por su parte, Rojas (2012) considera que es la ciencia del flujo y la deformación de la materia que describe la asociación entre fuerzas, deformaciones y tiempo. La reología se emplea para estudiar la consistencia de diversos fluidos a través de la viscosidad y la elasticidad.

1.6.1 Pruebas de compresión

Es el medio más popular para derivar las propiedades de tensión-deformación de los alimentos blandos y de los materiales biológicos en general (Charalambides, Goh, Wanigasooriya, & Williams, 2005). La prueba de compresión mide la fuerza comprimiendo la muestra a una cierta distancia, el alimento se deforma y la cantidad de estiramiento y resistencia ofrecida por la muestra se registra y se utiliza como un índice de la textura del alimento. La sonda de uso común es una placa cilíndrica o plana, estos deben tener el mismo

diámetro o un diámetro mayor; si la muestra tiene una superficie mayor que el diámetro de la sonda, la sonda puede perforar o penetrar el alimento. La prueba de compresión se denomina compresión uniaxial, esto significa que la muestra está comprimida en una dirección y no está restringida en las otras dimensiones. Se utiliza para medir la textura del instrumento (Castro, 2007).

1.6.2 Pruebas de penetración

Se basan en la medida de la distancia o la fuerza de penetración de un cono, eje cilíndrico, bola o una aguja en el alimento, a una distancia dada, en un intervalo de tiempo. La penetración en los alimentos se produce a una profundidad que provoca aplastamiento o flujo de material que puede ser irreversible. En general, la "fuerza de penetración máxima" se valora como una medida de la resistencia o consistencia del producto, pero otros parámetros se pueden calcular a partir de las curvas de fuerza: módulo aparente de elasticidad o deformabilidad (Castro, 2007).

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Proceso de elaboración producto

Para la elaboración del producto se realizó el siguiente diagrama de flujo el cual se presenta en la figura 3.

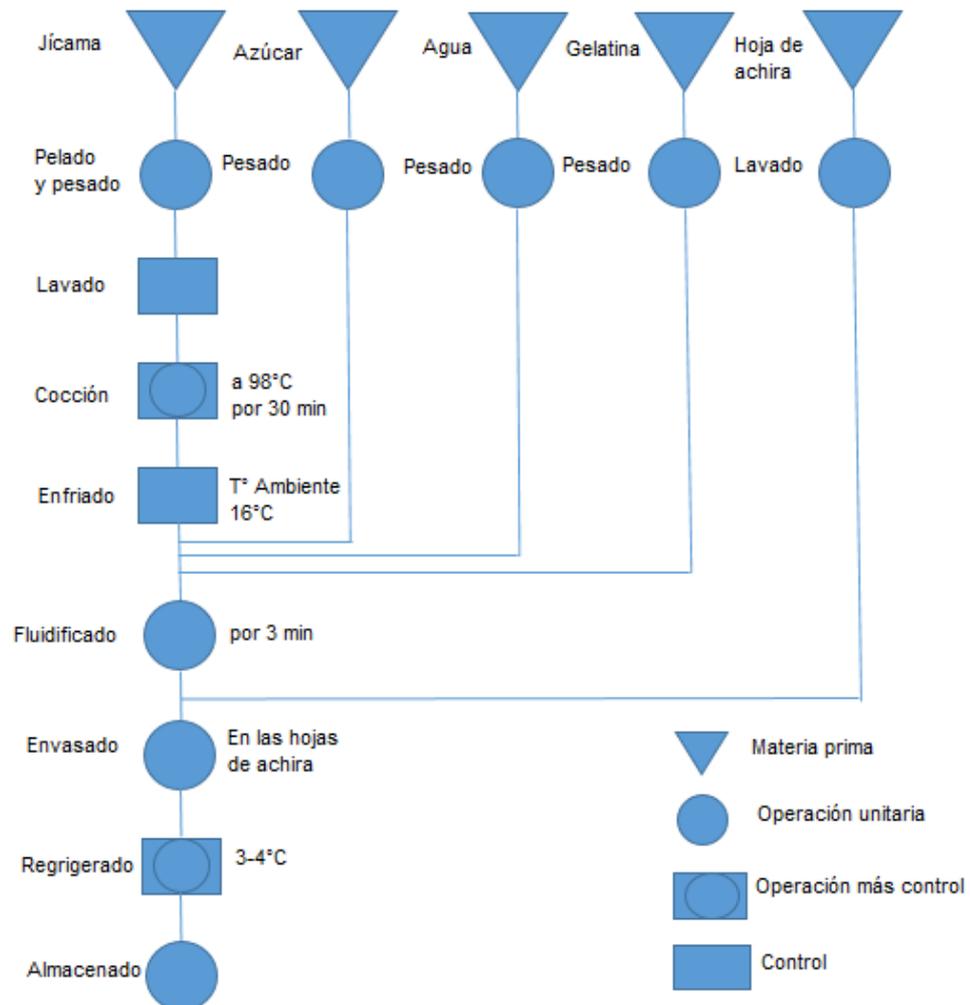


Figura 3. Diagrama de flujo para la elaboración de un producto a base de jícama.

2.2 Análisis bromatológico

Se realizó el análisis bromatológico completo de la jícama como materia prima y del producto a base de jícama por triplicado para obtener un mejor nivel de confianza de los resultados obtenidos.

2.2.1 Humedad

Se utilizó el método termogravimétrico de la AOAC *Official Method 934.01 Loss on Drying (Moisture) at 95°-100°C for Feeds Dry Matter on Oven Drying at 95°-100°C for Feeds* (AOAC,

2012), se trabajó en una estufa marca Continental Equipment a una temperatura de 100°C durante 24 horas.

2.2.1.2 Cenizas

Se utilizó el método termogravimétrico de la AOAC *Official Method 942.05 Ash of Animal Feed* (AOAC, 2012), se trabajó en una mufla marca Nabertherm a una temperatura de 550°C durante 24 horas.

2.2.1.3 Grasa

Se utilizó el método de extracción de grasa de la AOAC *Official Method 963.15, Determination of total fat in meat, fish, coca, and derived products* (AOAC, 2012), se trabajó en un equipo modelo SER 148 de marca VELP Scientifica (VELP, 2006), se utilizó como solvente éter de petróleo para realizar el análisis.

2.2.1.4 Fibra

Se utilizó el método químico gravimétrico de la AOAC *Official Method 978.10, Fiber (Crude) in Animal Feed and Pet Food* (AOAC, 2012), se trabajó en un equipo modelo *Raw Fiber Extractor* (FIWE) de marca VELP Scientifica (VELP, 2006); se utilizó un tratamiento de ácido y álcalis secuencial en un entorno estandarizado para obtener la fibra total mediante diferencia de pesos.

2.2.1.5 Proteína

Se utilizó el método kjeldahl de la AOAC *Official Method 960.52, Microchemical determination of nitrogen- Micro-Kjeldahl method* (AOAC, 2012), se trabajó en un equipo modelo UDK 129 de marca VELP Scientifica (VELP, 2006).

2.2.1.6 Carbohidratos

Para el cálculo de carbohidratos se obtuvo mediante diferencia de porcentajes.

2.3 Diseño experimental

Se realizó un diseño factorial completo de 2 niveles y 4 factores, con tres réplicas en el centro. En cuanto al procesamiento de datos, se utilizó el software Minitab para la optimización y análisis del diseño experimental, en donde las variables son los ingredientes del producto. Para establecer una formulación media del producto a base de jícama, se realizó 5 experimentos preliminares. A partir de estos experimentos, se definió los valores de variación para cada factor los cuales se detallan en la tabla 3. En la tabla 4 se encuentra el diseño experimental que se aplicó, sin considerar el orden aleatorio con el que se trabajó.

Tabla 3. Factores y niveles para el diseño experimental factorial 2^4 .

Factores	Nombre	Unidad	Niveles experimentales		
			Bajo	Medio	Alto
			-1	0	1
A	Jícama	g	45	50	55
B	Agua	ml	31,5	35	38,5
C	Azúcar	g	11,25	12,5	13,75
D	Gelatina	g	2,25	2,5	2,75

Tabla 4. Esquema del diseño factorial completo 2^4 .

Diseño experimental factorial				
	Jícama	Agua	Azúcar	Gelatina
Exp 1	-1	-1	-1	-1
Exp 2	1	-1	-1	-1
Exp 3	-1	1	-1	-1
Exp 4	1	1	-1	-1
Exp 5	-1	-1	1	-1
Exp 6	1	-1	1	-1
Exp 7	-1	1	1	-1
Exp 8	1	1	1	-1
Exp 9	-1	-1	-1	1
Exp 10	1	-1	-1	1
Exp 11	-1	1	-1	1
Exp 12	1	1	-1	1
Exp 13	-1	-1	1	1
Exp 14	1	-1	1	1
Exp 15	-1	1	1	1
Exp 16	1	1	1	1
Blanco 1	0	0	0	0
Blanco 2	0	0	0	0
Blanco 3	0	0	0	0

2.4 Evaluación sensorial

A cada uno de los experimentos se caracterizó sensorialmente a través de un panel de catadores no entrenado de 13 personas en la Universidad del Azuay, para la cual se utilizó una escala hedónica de 5 puntos. En el caso de los atributos de sabor y aceptación general, 0 fue muy malo y 5 excelente; en los otros atributos (textura, palatabilidad, firmeza, amargo, salado, aroma e impresión visual), se tomó como 0 la ausencia y 5 el valor más alto de agrado.

A cada uno de los parámetros de catación, se le dio una ponderación para poder hacer la valoración total del producto. La ponderación se muestra en la tabla 5 y para el registro de las evaluaciones se utilizó la ficha de cata presentada en la figura 4.

Tabla 5. Ponderación evaluación sensorial.

Parámetro	Ponderación
Impresión visual	0,1
Textura	0,05
Palatibilidad	0,05
Firmeza	0,1
Aroma	0,1
Sabor	0,1
Dulce	0,1
Aceptación general	0,4
TOTAL	1

ATRIBUTOS	CALIFICACIÓN					
	0	1	2	3	4	5
Impresión visual						
Textura						
Palatibilidad						
Firmeza						
Aroma						
Sabor						
Ácido						
Dulce						
Salado						
Amargo						
Aceptación general						

Figura 4. Ficha de cata de un producto a base de jícama.

2.5 Estudio reológico

2.5.1 Pruebas de Penetración

Se trabajó en un penetrómetro construido en el laboratorio de la Universidad del Azuay que utiliza un cono de dimensiones 5.3cm de lado, 1.75cm de radio y 5cm de altura, un eje cilíndrico de 31.005cm de largo, teniendo los dos elementos un peso combinado de 488.9g. El movimiento del eje se registra utilizando un detector electromagnético el cual envía una señal eléctrica a una tarjeta de adquisición de datos National Instruments. Los datos de la tarjeta son registrados en una aplicación del software LabView. Los resultados obtenidos del

software son procesados utilizando Microsoft Excel. Las dimensiones de las muestras utilizadas fueron las siguientes: 29.75mm de largo, 18.14mm de ancho y 16.8mm de alto para insertarla en el equipo. Luego se inició el programa, en el que se liberó el cono, para llevar a cabo la medición respectiva de la muestra.



Figura 5. Penetrómetro de cono.

2.5.2 Pruebas de Compresión

Se trabajó en un plastómetro construido en el laboratorio de la Universidad del Azuay que utiliza un plato de dimensiones 6cm de radio y 0.5cm de espesor, un eje cilíndrico de 31.005cm de largo, teniendo los dos elementos un peso combinado de 1033.1g. El movimiento del eje se registra utilizando un detector electromagnético el cual envía una señal eléctrica a una tarjeta de adquisición de datos National Instruments. Los datos de la tarjeta son registrados en una aplicación del software LabView. Los resultados obtenidos del software son procesados utilizando Microsoft Excel. La muestra se cortó en un cubo de dimensiones 31.77 mm de alto, 66.05 mm de ancho, 66.05mm de largo para insertarla en el equipo. Luego se inició el programa, en el que se liberó el plato, para llevar a cabo la medición respectiva de la muestra.



Figura 6. Penetrómetro de plato.

2.5.3 Viscosidad

El análisis se realizó en un viscosímetro rotativo de cilindros concéntricos modelo Evo experto, marca Fungilab, que está conectado a un dispositivo de baño maría para mantener la temperatura constante a la que se va a trabajar, en este caso se trabajó a una temperatura de 20 °C controlado con termostato y tolerancia de $\pm 0.1^\circ\text{C}$. Al ser un viscosímetro rotacional, consiste en un cilindro hueco exterior y un cilindro interno sólido. El cilindro gira dentro de una superficie paralela en la cual se encuentra la muestra. Para determinar la viscosidad del líquido, se midió la velocidad de rotación causada.



Figura 7. Viscosímetro rotacional de cilindros concéntricos modelo Evo expert, marca Fungilab y baño maría.

2.6 Análisis multivariante

Los resultados del diseño experimental serán evaluados utilizando el Análisis de la varianza (ANOVA) para el diseño experimental. Se utilizó el software Minitab 16, en la cual las tablas de resultados (tablas 7,8 y 11), que se obtienen del software, se observan 6 columnas, las cuales son:

Fuente de variabilidad, Grados de Libertad (GL), la suma de los cuadrados de las medias de variación (SC Ajust.), los cuadrados medios ajustados (CM Ajust), valor F de la prueba de Fisher (F), y el valor p de la probabilidad de cumplimiento de la hipótesis (p)(Gutiérrez & Salazar, 2012).

CAPÍTULO 3

RESULTADOS

3.1 Diseño experimental y evaluación sensorial

Después de aplicar el diseño experimental calculado con el software Minitab, se tabularon los datos de los 13 catadores. La puntuación de cada atributo sobre la evaluación sensorial se promedió y multiplicó por la ponderación que se muestra en la tabla 5; todos estos valores ponderados se sumaron para registrar la puntuación de cada experimento. Utilizando los mismos criterios, se calculó la mediana como respuesta al diseño experimental.

Los resultados se muestran en la tabla 6, la cual indica la organización del diseño experimental; la primera columna es el orden estandarizado del diseño, la segunda muestra el orden aleatorio para el desarrollo de los experimentos y el nombre asignado a cada uno de ellos, en la tercera, está el número de bloques con los que se trabajó, de la cuarta a la séptima se encuentran los factores de diseño y por último, en la octava y novena columna, se muestra las medianas y promedios del diseño desarrollado.

Tabla 6. Resultados diseño experimental evaluados con la mediana y promedio.

OrdenEst	OrdenCorrida	Bloques	Jícama	Agua	Azúcar	Gelatina	Mediana	Promedio
1	J5	1	-1	-1	-1	-1	4.6	4.477
2	J8	1	1	-1	-1	-1	3.2	3.118
3	J16	1	-1	1	-1	-1	3.6	3.4
4	J15	1	1	1	-1	-1	3.25	3.277
5	J10	1	-1	-1	1	-1	3.8	3.677
6	J14	1	1	-1	1	-1	3.5	3.309
7	J13	1	-1	1	1	-1	2.8	2.904
8	J7	1	1	1	1	-1	3.2	3.35
9	J18	1	-1	-1	-1	1	4.1	3.727
10	J4	1	1	-1	-1	1	3.3	3.34
11	J11	1	-1	1	-1	1	4	3.836
12	J19	1	1	1	-1	1	3.6	3.313
13	J6	1	-1	-1	1	1	3.9	3.636
14	J9	1	1	-1	1	1	3.9	3.669
15	J2	1	-1	1	1	1	3.8	3.604
16	J3	1	1	1	1	1	4	4.068
17	J12	1	0	0	0	0	3	3.156
18	J1	1	0	0	0	0	3.8	3.626

Se realizó el análisis de la varianza para determinar el significado de las variables. El valor de p se usó como valor de referencia, siendo $p = 0.05$. En la tabla 7, los factores se codificaron con A para jícama, B para agua, C para azúcar y D para gelatina. La respuesta utilizada en este análisis fue la mediana.

Tabla 7. Análisis de varianza para Mediana (unidades codificadas).

Fuente	GL	SC Ajust	CM Ajust	F	p
Efectos Principales	4	1.175	0.293	1.34	0.47
A	1	0.439	0.439	2	0.293
B	1	0.262	0.262	1.19	0.388
C	1	0.035	0.035	0.16	0.728
D	1	0.439	0.439	2	0.293
2º orden	6	1.663	0.277	1.26	0.505
A*B	1	0.345	0.345	1.57	0.337
A*C	1	0.660	0.660	3	0.225
A*D	1	0.026	0.026	0.12	0.762
B*C	1	0.019	0.019	0.09	0.797
B*D	1	0.375	0.375	1.71	0.321
C*D	1	0.237	0.237	1.08	0.408
3º orden	4	0.115	0.029	0.13	0.957
A*B*C	1	0.019	0.019	0.09	0.797
A*B*D	1	0.082	0.082	0.38	0.602
A*C*D	1	0.012	0.012	0.06	0.833
B*C*D	1	0.001	0.001	0.01	0.944
4º orden	1	0.001	0.001	0.01	0.944
A*B*C*D	1	0.001	0.001	0.01	0.944
Error residual	2	0.439	0.219		
Curvatura	1	0.119	0.119	0.37	0.651
Error puro	1	0.32	0.32		
Total	17				

En la tabla 8 se muestra el análisis de la varianza efectuado sobre el promedio como respuesta.

Tabla 8. Análisis de varianza para Promedio (unidades codificadas).

Fuente	GL	Sc Ajust	MV Ajust	F	p
Efectos Principales	4	0.477	0.119	1.57	0.425
A	1	0.206	0.206	2.71	0.241
B	1	0.090	0.090	1.19	0.39
C	1	0.004	0.004	0.06	0.829
D	1	0.176	0.176	2.32	0.267
2º orden	6	1.445	0.241	3.17	0.259
A*B	1	0.343	0.343	4.52	0.167
A*C	1	0.550	0.550	7.23	0.115
A*D	1	0.061	0.061	0.81	0.464
B*C	1	0.013	0.013	0.18	0.711
B*D	1	0.275	0.275	3.62	0.197
C*D	1	0.200	0.200	2.64	0.246
3º orden	4	0.195	0.049	0.64	0.683
A*B*C	1	0.001	0.001	0.02	0.907
A*B*D	1	0.192	0.192	2.53	0.253
A*C*D	1	0.001	0.001	0.02	0.902
B*C*D	1	0.001	0.001	0.01	0.937
4º orden	1	0.061	0.061	0.8	0.465
A*B*C*D	1	0.061	0.061	0.8	0.465
Error residual	2	0.152	0.076		
Curvatura	1	0.041	0.041	0.38	0.649
Error puro	1	0.110	0.110		
Total	17				

Si se acepta un error del 10% se puede decir que la interacción AC es significativa; sin embargo, al 5% de error, que es el que se utiliza normalmente, ninguna variable es significativa.

Por lo tanto, cuando se determinó que ninguna de las variables utilizadas en el desarrollo del diseño experimental fue significativa, se decidió utilizar técnicas de *ranking* para cambiar la ponderación de los resultados de la evaluación sensorial la cual se muestra en la tabla 9. Para ello se utilizó el software DART.

Tabla 9. Ponderación de la evaluación sensorial para aplicar técnicas de *ranking*.

Pesos deseabilidad	Establecidos	Estandarizados
Impresión visual	0.1	0.07692308
Textura	0.05	0.03846154
Palatabilidad	0.05	0.03846154
Firmeza	0.25	0.19230769
Aroma	0.1	0.07692308
Sabor	0.25	0.19230769
Dulce.	0.1	0.07692308
Aceptación general	0.4	0.30769231
TOTAL	1.3	1

Debido a la similitud de las respuestas y sus altas calificaciones, se utilizó una transformación exponencial para cada una de las variables. Esto se aplicó a cada uno de los experimentos, generando los valores de utilidad para cada catador, siendo la respuesta final, la suma de las funciones de utilidad calculadas de cada catador. La matriz del diseño experimental se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Matriz del diseño experimental.

OrdenEst	OrdenCorrida	Jícama	Agua	Azúcar	Gelatina	Utilidad
1	J5	-1	-1	-1	-1	0.714
2	J8	1	-1	-1	-1	0.572
3	J16	-1	1	-1	-1	0.570
4	J15	1	1	-1	-1	0.564
5	J10	-1	-1	1	-1	0.691
6	J14	1	-1	1	-1	0.615
7	J13	-1	1	1	-1	0.507
8	J7	1	1	1	-1	0.493
9	J18	-1	-1	-1	1	0.659
10	J4	1	-1	-1	1	0.683
11	J11	-1	1	-1	1	0.647
12	J19	1	1	-1	1	0.692
13	J6	-1	-1	1	1	0.637
14	J9	1	-1	1	1	0.656
15	J2	-1	1	1	1	0.536
16	J3	1	1	1	1	0.547
17	J12	0	0	0	0	0.496
18	J1	0	0	0	0	0.491

Con los datos de la función de utilidad, se realizó el análisis de la varianza, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Análisis de varianza para utilidad (unidades codificadas).

Fuente	GL	Sc Ajust	CM Ajust	F	p
Efectos Principales	4	0.477	0.119	1.57	0.425
A	1	0.206	0.206	2.71	0.241
B	1	0.090	0.090	1.19	0.39
C	1	0.004	0.004	0.06	0.829
D	1	0.176	0.176	2.32	0.267
2º orden	6	1.445	0.240	3.17	0.259
A*B	1	0.343	0.343	4.52	0.167
A*C	1	0.550	0.550	7.23	0.115
A*D	1	0.061	0.061	0.81	0.464
B*C	1	0.013	0.013	0.18	0.711
B*D	1	0.275	0.275	3.62	0.197
C*D	1	0.200	0.200	2.64	0.246
3º orden	4	0.195	0.049	0.64	0.683
A*B*C	1	0.001	0.001	0.02	0.907
A*B*D	1	0.192	0.192	2.53	0.253
A*C*D	1	0.001	0.001	0.02	0.902
B*C*D	1	0.001	0.001	0.01	0.937
4º orden	1	0.061	0.061	0.8	0.465
A*B*C*D	1	0.061	0.061	0.8	0.465
Error residual	2	0.152	0.076		
Curvatura	1	0.041	0.041	0.38	0.649
Error puro	1	0.110	0.110		
Total	17				

También en este caso se pudo observar lo dicho anteriormente sobre el %de error, si se acepta un error del 10% la interacción AC es significativa.

Se determinó la ecuación del modelo, utilizando como respuesta el promedio de las calificaciones de la evaluación sensorial:

$$\begin{aligned}
 \text{Respuesta} = & 0.065 - 0.1136A - 0.0751B - 0.0169C + 0.1051D + 0.1466A * B \\
 & + 0.1854A * C + 0.0619A * D + 0.0294B * C + 0.1312B * D + 0.1121C \\
 & * D + 0.0091A * B * C - 0.1097A * B * D - 0.0096A * C * D + 0.0062B * C \\
 & * D + 0.0618A * B * C * D
 \end{aligned}$$

De esta forma, se determinó que no hay factores significativos en el diseño admitiendo un error del 5%; si se hubiera determinado con el 10% de error, se pudo notar que la interacción AC es sinérgica porque su coeficiente es positivo. Teniendo en cuenta los resultados, la

mediana, el promedio y la función de utilidad, se pudo observar que el mejor experimento es el J5. La formulación con el mejor experimento se muestra en la tabla 12.

Tabla 12. Formula del mejor experimento del producto a base de jícama.

Jícama	45g
Agua	31,5ml
Azúcar	11,25g
Gelatina	2,25g

Es importante mencionar que en la configuración de un diseño experimental factorial, debido a sus propias características, las variables quedan siempre abiertas y no necesariamente tienen que sumar el 100% de formulación. Es decir, por la naturaleza de este diseño se puede utilizar n-ésimas variables para estudiarlas.

Después del diseño, la formulación se optimizó utilizando el método de máxima pendiente. Un paso que sigue la tendencia del mejor experimento, con todos los factores en el nivel más bajo. Se obtuvo como respuesta del promedio un valor de 4.28, menor al mejor experimento del diseño, por lo que no es necesario continuar con la optimización. Se utilizó solo el promedio, ya que todas las demás respuestas calculadas dieron la misma tendencia.

En la figura 8 se presenta el mejor experimento obtenido en su presentación final.



Figura 8. Producto a base jícama empaquetado en hoja de achira.

3.2 Análisis bromatológico

Se caracterizó la materia prima y el producto mediante análisis bromatológico. En la tabla 13 se detalla el análisis de la jícama y en la tabla 14, el del producto a base de jícama, obtenido del diseño experimental.

Tabla 13. Análisis bromatológico de jícama.

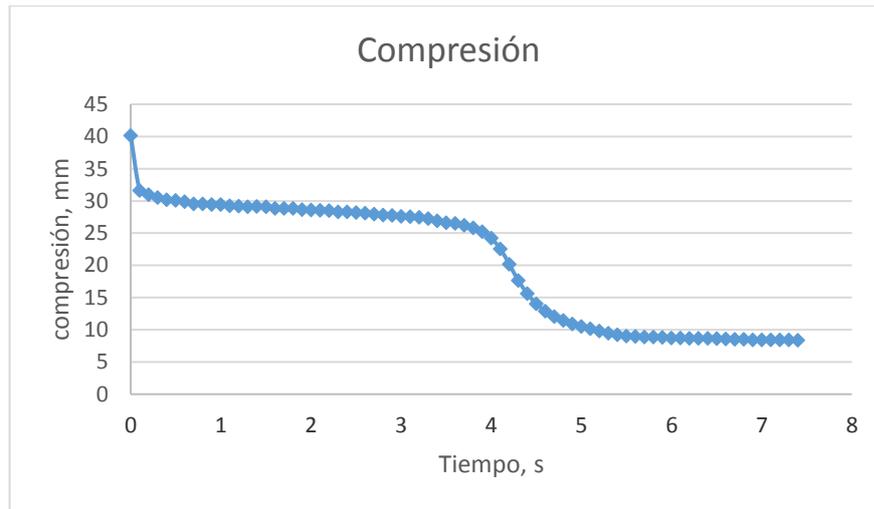
Jícama	
Componentes	Porcentaje %
Humedad	82
Ceniza	0,15
Grasa	0,029
Fibra	0,77
Proteína	1,25
Carbohidratos	15,801

Tabla 14. Análisis bromatológico del producto a base de jícama.

Producto a base de jícama	
Componentes	Porcentaje %
Humedad	79
Ceniza	0,24
Grasa	0,07
Fibra	1,04
Proteína	3,75
Carbohidratos	15,9

3.3 Prueba de compresión

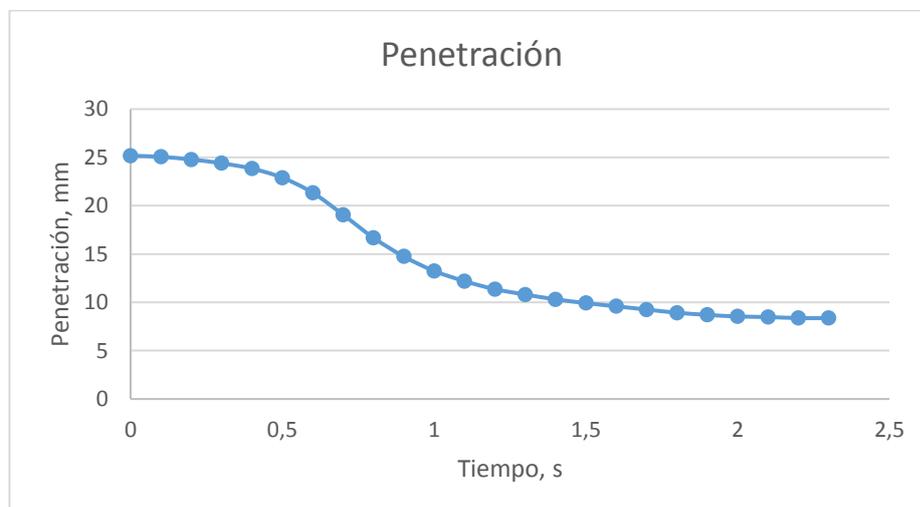
En la gráfica 1 se observa los resultados del ensayo de compresión utilizando un sistema de plato que aplica una fuerza constante de 10134 Newton. El efecto de la compresión se observó como una razón de cambio entre el espesor de la muestra y el tiempo, mostrándose 3 secciones en la gráfica, donde se evidencia un cambio en dicha razón.



Gráfica 1. Diagrama de Compresión.

3.4 Prueba de penetración

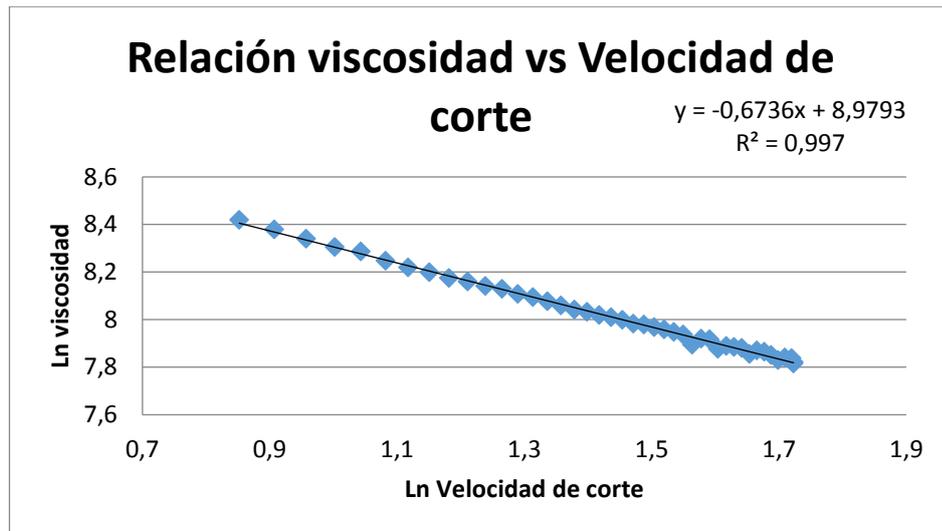
En la gráfica 2 se presenta los resultados de la prueba de penetración utilizando un cono de bronce con un ángulo de 19.29 grados. El efecto de la penetración, al igual que el efecto de la compresión, indican una razón de cambio entre la distancia que ingresa el cono del penetrómetro, y el tiempo.



Gráfica 2. Diagrama de Penetración.

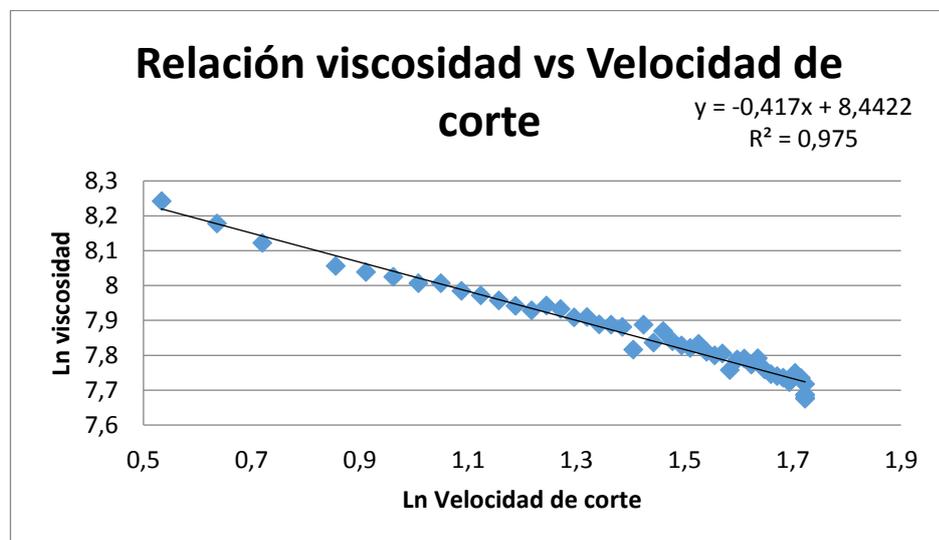
3.5 Medición de viscosidad

En la gráfica 3 se observó los resultados de la medición de viscosidad del producto a base de jícama antes de someter a refrigeración, se utilizó una muestra sin gelificar. Se trabajó a una temperatura de 20°C a una velocidad de 20 revoluciones por minuto durante 300 segundos.



Gráfica 3. Relación del Logaritmo Natural de la viscosidad con el Logaritmo Natural de la velocidad de corte en el producto antes de gelificar.

De igual manera se realizó la medición del producto a base de jícama gelificado, a una temperatura de 20°C, con una velocidad de 25 rpm durante 600 segundos. Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica 4.



Gráfica 4. Relación del Logaritmo Natural de la viscosidad con el Logaritmo Natural de la velocidad de corte en el producto gelificado.

DISCUSIONES

En el diseño experimental se identificaron dos catadores que no realizaron una contribución objetiva a la evaluación. Por esta razón se utilizó los test de *ranking* para así minimizar este tipo de contratiempos. Dado que todas las muestras del diseño experimental fueron bien recibidas, los resultados obtenidos de la media y la mediana tuvieron que ser confirmados utilizando la función de utilidad (técnicas de *ranking*). De esta manera, se confirmó los resultados deseados de la evaluación sensorial, puesto que presentaban mucha semejanza entre sí.

El mejor experimento obtenido del diseño que corresponde al experimento 1 (tabla 3), tuvo las siguientes características: baja cantidad en jícama, agua, azúcar y gelatina. Por esta razón, se realizó la optimización del diseño experimental con el método de máxima pendiente, siguiendo la tendencia del mejor experimento. El primer paso de optimización consistió en disminuir en una cantidad proporcional a cada uno de los factores del diseño, donde se encontró que el experimento optimizado no fue superior que el mejor diseño experimental. Por lo tanto, la formulación óptima fue el mejor experimento. Sobre este se hizo la evaluación bromatológica y la evaluación de las propiedades físico químicas.

Se observó que la grasa, cenizas y fibra tenían la misma proporción de nutrientes que tiene el tubérculo. La cantidad de azúcar se debe a los agregados y a la contribución de los fructooligosacáridos, aproximadamente del 4%. Para las proteínas, el aumento es proporcional a la presencia de gelatina en el producto.

La prueba de viscosidad se realizó en el producto gelificado y no gelificado para ver si esta condición favorecía el cambio de comportamiento. En ambos casos, la comparación de los logaritmos naturales de viscosidad con los logaritmos naturales de la velocidad de corte (Gráfico 3 y 4), manifestaron una tendencia lineal, característica de los cuerpos pseudoplásticos. *Italiana Società Ceramica* (1900) indica en su libro sobre los principales comportamientos reológicos sobre los cuales, por la relación entre los logaritmos naturales de la viscosidad y velocidad del corte, afirma que es un tipo de comportamiento pseudoplástico. Ambos estados del producto, dieron como resultado un comportamiento pseudoplástico, observándose la diferencia entre ellos en la pendiente de la curva. Así el producto gelificado, de mayor magnitud, fue la razón del aumento atribuido a la gelificación de las proteínas presentes.

La prueba de compresión muestra 4 secciones (Gráfico 1): la primera sección, se observó la compresión elástica a un esfuerzo constante; la segunda parte, se debe a como este esfuerzo provoca una compresión dilatada, característica de un cuerpo viscoso; la tercera parte, es el colapso de la estructura causado por el tiempo de esfuerzo constante y la última parte, es la parte incompresible del cuerpo. Por lo tanto, en el gráfico 1, se presentó una parte elástica y una viscosa la cual tiene un comportamiento viscoelástico. La forma de la gráfica 2 de la

prueba de penetración muestra, al igual que la prueba de compresión, que el cuerpo responde al comportamiento de un cuerpo viscoelástico.

Comparando los datos obtenidos de las pruebas de viscosidad, compresión y penetración se puede concluir que el producto a base de jícama desarrollado tiene comportamiento viscoelástico, un comportamiento muy común en los alimentos tanto semisólidos como semilíquidos.

CONCLUSIÓN

En la presente investigación se pudo minimizar los procesos de pardeamiento enzimático y no enzimático de la jícama, al desarrollar un producto a base de la misma, aplicando un diseño experimental factorial completo. Como respuesta para el diseño experimental, se realizó la interpretación de la evaluación sensorial sobre los experimentos, por parte del panel de catadores no entrenados. Teniendo una buena aceptación general del producto.

Se pudo determinar que el mejor experimento obtuvo una formulación a un nivel del -10%, a comparación de la formulación base, en todos sus 4 factores, es decir, baja en azúcar, agua, gelatina y jícama, además se observó que este producto no afecta a las características organolépticas y nutricionales del tubérculo.

Con respecto a los datos del análisis bromatológico y calculando se aporte calórico, se puede concluir que aporta 79.23 Kcal/100 gramos de producto, por lo que este alimento podría consumirse como tipo snack.

Se evaluó las propiedades físico químicas mediante pruebas de compresión, penetración y viscosidad en la cual, se observó el comportamiento del producto a base de jícama, lo que dio como resultado un cuerpo viscoelástico que sería un comportamiento normal de los alimentos con propiedades como el producto desarrollado.

RECOMENDACIÓN

De los resultados, obtenidos se ha visto que la jícama puede utilizarse para el desarrollo de productos utilizados en dietas especiales: bajas en azúcar, grasa o que no consuman productos de origen animal. Razón por la cual puede considerarse una materia prima explotable industrialmente con estos fines.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. (2012). *Official Methods of Analysis*. Maryland. USA.: AOAC.
- Aristóteles, C., Ramírez, Y., & Guzman, Y. (2017). *Estudio comparativo de técnicas de toma decisiones multicriterio para la jerarquización de tecnologías de energías renovables a utilizar en la producción de electricidad*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Arrobo, J. (2013). La fruta de jícama una alternativa de nutrición y salud. *Revista científica YACHANA*, 219-223.
- Badui, S. (2012). *La ciencia de los alimentos en la práctica*. México D. F: Cámara Nacional de la Industria.
- Balladares, M., & Travez, B. (2009). *Evaluación de seis morfotipos (ecu-1247, ecu-1251, ecu-9109, ecu12767 del banco germoplasma del INIAP; Sanbuenaventura y Loco) de Jícama (smallanthus sonchifolius poep. & endl) con tres fertiliza*. Cotopaxi.
- Britto, B., & Arana, C. (2014). *Corotipos preliminares de Perú basados en la distribución de la familia Asteraceae*. Perú.
- Cárdenas, J. C., Pinto, K. T., & López, O. J. (2011). ESTUDIO REOLÓGICO DE LOS FLUIDOS VISCOELÁSTICOS SURFACTANTES UTILIZADOS EN OPERACIONES DE FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO. *Revista Fuentes: El Reventón Energético*, 6-7.
- Castro, E. (2007). *Parámetros Mecánicos y Textura de los Alimentos*. La Habana.
- Charalambides, M., Goh, S. M., Wanigasooriya, L., & Williams, J. G. (2005). Effect Of Friction On Uniaxial Compression Of Bread Dough. *JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE*.
- Cuadras, C. (2018). *Nuevos modelos de análisis multivariante*. Barcelona, España: CMC Editions.
- Espinosa, J. (2007). *Evaluación Sensorial de los Alimentos*. La Habana, Cuba: Editorial Universitaria.
- Estrada, J. (2017). *Obtención de una Bebida Nutraceutica de jícama Smallanthus sonchifolius y Evaluación de su vida útil*. Ibarra.
- Ferré, J. (2004). El diseño factorial completo 2k. *Universidad Rovira*.
- Gutiérrez, H., & Salazar, R. (2012). *Análisis y Diseño de Experimentos*. México, D.F.: F.T.S.A DE C.V.
- Hernández, E. (2005). *Evaluación Sensorial*. Bogotá, Colombia: UNAD.
- INIAP. (2004). *Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador*. Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- INIAP. (2013). *Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias*. Retrieved from <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2816/1/iniapsc302.pdf>
- Italiana Società Ceramica. (1900). *Reologia Ceramica Applicata*. Italy: FAENZA EDTIRICE.
- Manrique, I., Párraga, A., & Hermann, M. (2003). *Jarabe de yacón: Principios y procesamiento*. Lima: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Martínez, A. (2012). *Hierba mora, chipilín, jícama y bleado*. Guatemala: Editorial Universitaria.
- Montoya, J., Sánchez, L., & Torres, P. (2011). Diseños experimentales ¿qué son y cómo se utilizan en las ciencias acuáticas? *UMAR*.

- Ortiz, M. (2014). *Diseño de un proceso para la obtención de un caramelo dietético a partir de la jícama (smallanthus sonchifolia)*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Osorio, J., & Héctor Ciro, L. M. (2005). Caracterización reológica y textual del queso EDAM. *Dyna*, 33-45.
- Pava, M., & Todeschini, R. (2008). *Scientific data ranking methods: theory and applications*. Ispra, Italia: Elsevier.
- Pavan. (2003). Total and partial ranking methods in chemical science. Italy: University of Milano-Bicocca.
- Pavan, M., & Worth, A. (2008). *A set case studies to illustrate the applicability of DART Decision Analysis by Ranking Techniques in the ranking of chemicals*. Europa.
- Rodas, D. E. (2010). *Elaboración de una bebida alcohólica de Jícama (Smallanthus sonchifolius) y manzana (Pyrus malus L)*. . Quito: EPN.
- Rojas, C., Tripaldi, P., & Dután, H. (2010). *Desarrollo y optimización de una infusión aromática tipo tisana aplicando diseño de plackett-burman y optimización de máxima pendiente*. Cuenca.
- Rojas, O. (2012). *Fundamentos de reología*. Mérida, Venezuela: FIRP.
- Sceni, P., Capello, M., & Igartúa, D. (2017). *Emulsiones y espumas*. Retrieved from <http://alimentos.web.unq.edu.ar/wp-content/uploads/sites/57/2016/03/07-Emulsiones-y-espumas.pdf>
- Sharma, S., Mulvaney, S., & Rizvi, S. (2003). *Ingeniería de Alimentos Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio*. D.F. México: Editorial Limusa, S.A.
- Tamayo, G. (2017, junio). *Efecto del consumo de jícama sobre los parámetros lipídicos en pacientes diabéticos tipo 2*. Retrieved from <http://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2444/1/T-UIDE-1741.pdf>
- Torres, O., & Barat, J. (2009). Relación entre la medida de densidad y la composición de diferentes carnes. *Universidad del Quindío*.
- Tufiño, G. (2014). *Diseño de una planta para la elaboración de tres productos a base de jícama, Smallanthus sonchifolius para la provincia de Pichincha*. Quito.
- Valvidia, M. (2014). Espuma en alimentos. *Revista digital universitaria*.
- VELP. (2006). *Operation Manual FIWE Raw Fiber Extractors*. Italy: VELP.
- VELP. (2006). *Operation Manual SER 148 Extraction Unit*. Italy: VELP.
- VELP. (2006). *Operation Manual UDK 129 Distillation Unit*. Italy: VELP.
- Villavicencio, R. (2002). Cultivo de la Jícama. *La granja*, 31-32.
- Watts, B., Ylimaki, G., & Jeffery, L. (2009). *Métodos sensoriales básicos*. Ottawa, Canadá.