

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



T E S I S

**“INFLUENCIA DE LOS DIFERENTES VALORES DE PH Y LA
CONCENTRACIÓN DE PROTEÍNA EN LA DETERMINACIÓN DE LAS
PROPIEDADES TECNOFUNCIONALES DE LA HARINA DE PAJURO
(*Erythrina edulis*)”**

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por el Bachiller:

KAREN LISETH TINGAL CHILON

Asesor:

Ing. M.Sc. JIMY OBLITAS CRUZ

CAJAMARCA - PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Norte de la Universidad Peruana
Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaria Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Cajamarca, a los **diez** días del mes de **Julio** del Año dos mil diecinueve, se reunieron en el ambiente **2H-204** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los integrantes del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 157 -2019-FCA-UNC, Fecha 31 de mayo del 2019, con el objeto de Evaluar la sustentación de la Tesis titulada: **“INFLUENCIA DE LOS DIFERENTES VALORES DE PH Y LA CONCENTRACIÓN DE PROTEÍNA EN LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LA HARINA DE PAJURO (*Erythrina edulis*)”**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**, del Bachiller: **KAREN LISETH TINGAL CHILÓN**.

A las **once** horas y **quince** minutos y de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el acto. Después de la exposición del trabajo de Tesis, la formulación de preguntas y de la deliberación del Jurado, el Presidente anunció la **aprobación** por **unanimitad** con el calificativo de **Dieciséis (16)**

Por lo tanto, el graduando queda expedita para que se le expida el **Título Profesional** correspondiente.

A las **doce** horas y **quince** minutos, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Cajamarca, **10 de julio** de 2019.



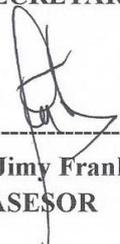
Ing.M.Sc. José Gerardo Salhuana Granados
PRESIDENTE



Ing.M.Sc. Fanny L. Rimarachín Chávez
VOCAL



M. Sc. José Salomón Murrugarra Abanto
SECRETARIO



Ing.M.Sc. Jimmy Frank Oblitas Cruz
ASESOR

DEDICATORIA

*La presente Tesis está dedicada a **DIOS**, por haberme acompañado y guiado por el buen camino, darme fuerza para seguir adelante y no desmayar a lo largo de mi vida, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y mi alegría en mis momentos de felicidad y porque gracias a él he logrado concluir mi carrera profesional.*

*A mis padres **Cecilio y Beatriz** quienes por ellos soy lo que soy, por su apoyo, consejos, por todo su amor, dedicación y paciencia, por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, ya que ellos fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional para hacer de mí una mejor persona.*

*A mi asesor de tesis **Ing. M.Cs. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ**, por la orientación y ayuda que me brindó para la realización de esta tesis, por su apoyo, amistad, presencia incondicional, pero sobre todo por sus apreciados y relevantes aportes, críticas, comentarios y sugerencias durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios, el que en todo momento está conmigo, quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el sendero correcto, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento

A mi esposo por la ayuda que me ha brindado por estar en los momentos buenos y malos, por su amor incondicional; a mis hijos ellos son mi principal motivación para seguir con el objetivo de alcanzar mis metas.

A mis padres por el esfuerzo que han hecho para que se realicen mis sueños, por ser siempre la fuente de confianza y formar realmente un núcleo en mi vida.

Un agradecimiento especial a la Universidad Nacional de Cajamarca y a todas las personas que laboran en ella, porque durante este proceso de aprendizaje han sido los mejores.

A todos los mencionados anteriormente, agradecerles de todo corazón por haber llegado a mi vida y el compartir momentos agradables y momentos tristes, pero esos momentos son los que nos hacen crecer y valorar a las personas que nos rodean. Los quiero mucho y nunca los olvidaré.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	2
2.1. Formulación del problema	3
2.2. Justificación de la investigación	3
2.3. Delimitación de la investigación	4
III. REVISIÓN DE LA LITERATURA	5
3.1. Antecedentes teóricos de la investigación	5
3.1.1. Umaña et al. (2005)	5
3.1.2. Arango et al. (2004)	5
3.1.3. Argot y Villada (2005)	6
3.1.4. Zavaleta et al. (2006)	6
3.2. Bases teóricas	7
3.2.1. Generalidades del Pajuro	7
3.2.2. Nombres comunes del pajuro	7
3.2.3. Clasificación taxonómica	9
3.2.4. Composición nutricional del grano de pajuro	10
3.2.5. Proteína del pajuro	11
3.2.6. Aminoácidos del pajuro	11
3.2.7. Composición nutricional de la harina de pajuro	12
3.2.8. Uso común y manejo industrial	13
3.2.9. Papel de las proteínas	13
3.2.9.1. Necesidades de proteínas en la dieta	14

3.2.9.2.	Propiedades funcionales de las proteínas.....	14
3.2.9.3.	Propiedades espumantes de las proteínas.....	16
3.2.9.4.	Capacidad de formación de espuma	17
3.2.9.5.	Estabilidad de la espuma	18
3.2.9.6.	Viscosidad	21
IV.	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	24
4.1.1.	Hipótesis alternativa (<i>H1</i>).....	24
4.1.2.	Hipótesis nula (<i>H0</i>)	24
V.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	25
5.1.	Objetivo general de la investigación	25
5.2.	Objetivos específicos de la investigación.....	25
VI.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
6.1.	Ubicación geográfica del trabajo de investigación	26
6.2.	Materiales.....	26
6.2.1.	Materia prima	26
6.2.2.	Reactivos.....	26
6.2.3.	Materiales y Equipos de laboratorio	26
6.2.4.	Otros materiales	26
6.3.	Métodos de análisis	27
6.3.1.	Capacidad de Formación de Espuma (CFE) (Chau <i>et al.</i> , 1997; Sosa, 2000; Ludeña, 2001)	27
6.3.2.	Estabilidad de la Espuma (EES) (Chau <i>et al.</i> , 1997; Sosa, 2000; Ludeña, 2001).....	27
6.3.3.	Viscosidad (VIS) (Sathe y Salunke, 1981; Sosa, 2000; Ludeña, 2001). 27	
6.4.	Metodología experimental	28
6.4.1.	Tipo y nivel de investigación.....	28
6.4.2.	Método empleado	28

6.5. Identificación de variables.....	28
6.5.1. Variable independiente.....	28
6.5.2. Variable dependiente.....	28
6.5.3. Variable interviniente	28
6.6. Definiciones operacionales.....	29
6.7. Descripciones de operaciones del proceso de obtención de harina de pajuro (figura 7).....	31
6.8. Parte experimental de la investigación	33
6.8.1. Capacidad de Formación de Espuma (CFE) (Chau <i>et al.</i> , 1997; Sosa, 2000; Ludeña, 2001)	33
6.8.2. Estabilidad de la Espuma (EES) (Chau <i>et al.</i> , 1997; Sosa, 2000; Ludeña, 2001).....	34
6.8.3. Viscosidad (VIS) (Sathe y Salunke, 1981; Sosa, 2000; Ludeña, 2001). 34	
6.9. Unidad de análisis, población y muestra	35
6.9.1. Unidad de análisis	35
6.9.2. Población.....	35
6.9.3. Muestra	35
VII. RESULTADOS Y DISCUSIONES	36
7.1. Capacidad de formación de espuma (CFE).....	36
7.2. Estabilidad de la Espuma (EES).....	41
7.3. Viscosidad (VIS)	50
VIII. CONCLUSIONES.....	52
IX. RECOMENDACIONES	52
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación taxonómica del pajuro	9
Tabla 2.	Composición química del Pajuro (<i>Erythrina edulis</i>)	10
Tabla 3.	Análisis fisicoquímico de la semilla, harina y pasta de pajuro del distrito de Chachapoyas, Perú	11
Tabla 4.	Contenido total de aminoácidos comparado con otras leguminosas, (g de AA/16gN)	12
Tabla 5.	Análisis proximal de macronutrientes de la harina de pajuro	13
Tabla 6.	Relaciones entre las propiedades funcionales y sensoriales	15
Tabla 7.	Potencia espumante comparada de disoluciones proteicas	18
Tabla 8.	Parámetros de control para el proceso de determinación de propiedades tecno funcionales de la harina de pajuro	29
Tabla 9.	Resultados de CFE en Harina de Pajuro (<i>Erythrina edulis</i>).....	36
Tabla 10.	Volumen para la formación de espuma	43
Tabla 11.	Viscosidad medida en la investigación	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Representación del fruto del Pajuro (<i>Erythrina edulis</i>).	8
Figura 2.	Necesidades mínimas medias, en función de la edad, de una proteínas balanceada.....	14
Figura 3.	Factores que intervienen en la estructura y las propiedades funcionales de las proteínas y demás macromoléculas.	16
Figura 4.	Representación esquemática de la formación de una espuma	17
Figura 5.	Punto de unión (borde plano) de 3 burbujas donde una depresión provoca drenaje.....	19
Figura 6.	Efecto de la concentración en la viscosidad (o índices de consistencia) de disoluciones de proteínas de soya 7S y 11S, A 20°C.	22
Figura 7.	Diagrama de flujo (Obtención de harina de pajuro).....	30
Figura 8.	Gráfico de interacciones individuales sobre el % CFE	38
Figura 9.	Gráfico de Pareto para interacciones individuales sobre el %CFE	39
Figura 10.	Gráfico de superficie para efecto del pH y concentraciones en el %CFE	39
Figura 11.	Efecto de la concentración sobre la estabilidad de la espuma	44
Figura 12.	Efecto del pH sobre la estabilidad de la espuma	45
Figura 13.	Gráfico de interacciones individuales sobre el %EE	46
Figura 14.	Gráfico de Pareto para interacciones individuales sobre el %EE ..	47
Figura 15.	Gráfico de superficie para efecto del pH y concentración en el %EE	48
Figura 16.	Gráfico de superficie para efecto del tiempo y concentración en el %EE	48
Figura 17.	Gráfico de superficie para efecto del pH y tiempo en el %EE	49
Figura 18.	Gráfico de Efecto de la concentración en la viscosidad en el aislado de harina de pajuro.....	51

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación fue determinar la influencia de los diferentes valores de pH y la concentración de proteína en la determinación de las propiedades tecno funcionales de la harina de pajuro (*Erythrina edulis*). Se utilizó granos frescos de pajuro para la obtención de la muestra, una vez obtenida la harina de pajuro se analizaron 3 parámetros: (capacidad de formación de espuma, estabilidad de la espuma y viscosidad). Para el análisis de capacidad de formación de espuma se preparó soluciones proteicas en un volumen de (100 ml) de (0,5, 0,75 y 1%) con agua destilada, ajustando el (pH a 5, 7 y 9) con NaOH. Para el análisis de estabilidad de la espuma para lo cual se midió el volumen de espuma en la probeta a un tiempo de (1, 10, 20, 30 min), determinándose en función del (pH 5, 7 y 9) y de la concentración proteica (0,5; 0,75 y 1%) y para el análisis de viscosidad se dispersó en agua destilada (50 ml) con agitador magnético por (30 min) a (pH 8,3) a diferentes concentraciones de aislado de proteína de haría de pajuro (4, 5, 7 y 9%), se midió el tiempo en pasar los dos límites marcados en el viscosímetro Cannon-Fenske N° 150. Para el procesamiento de datos se utilizó la metodología de superficie de respuesta para evaluar la optimización del producto mediante un ANOVA. Se obtuvo como resultado lo siguiente: la capacidad de formación de espuma en la harina de pajuro se incrementa en un 50%, utilizando concentraciones de valor 1 y pH de valor 9; en cuanto a la mejor estabilidad de la espuma se obtuvo aplicando un tratamiento de concentraciones de 1%, pH de 9 por un tiempo de batido de 1 minuto y en los resultados de viscosidad se encontró que aplicando concentraciones de 7%, tiempo de 35 segundos se obtiene una viscosidad optima de valor (1,21095034).

Palabras clave: pajuro, propiedades tecnofuncionales, concentración de proteína, pH, capacidad de formación de espuma, estabilidad de la espuma, viscosidad y superficie de respuesta.

ABSTRACT

The main objective of this research was to determine the influence of different pH values and protein concentration in the determination of the techno-functional properties of the wheat flour (*Erythrina edulis*). Fresh pajuro grains were used to obtain the sample, once the paraffin flour was obtained, 3 parameters were analyzed: (capacity of foam formation, foam stability and viscosity). For the analysis of foam capacity, protein solutions were prepared in a volume of (100 ml) of (0.5, 0.75 and 1%) with distilled water, adjusting the (pH to 5, 7 and 9). For the stability analysis of the foam for which the volume of foam in the test piece was measured at a time of (1, 10, 20, 30 min), determined as a function of (pH 5, 7 and 9) and the protein concentration (0.5, 0.75 and 1%) and for the viscosity analysis was dispersed in distilled water (50 ml) with magnetic stirrer for (30 min) to (pH 8.3) at different concentrations of isolate of soy protein (4, 5, 7 and 9%), the time in passing the two limits marked in the Cannon-Fenske viscometer No. 150 was measured. For the data processing the response surface methodology was used to evaluate the optimization of the product by means of an ANOVA. The following was obtained as a result: the capacity of foam formation in the wheat flour increases by 50%, using concentrations of value 1 and pH of value 9; as for the best stability of the foam was obtained by applying a treatment of concentrations of 1%, pH of 9 for a time of beat of 1 minute and in the results of viscosity it was found that applying concentrations of 7%, time of 35 seconds an optimum value viscosity is obtained (1.21095034).

Key words: pajuro, techno-functional properties, protein concentration, pH, foaming capacity, foam stability, viscosity and response surface.

I. INTRODUCCIÓN

El término “propiedad funcional” que se aplica a los ingredientes alimenticios, se define como toda propiedad no nutricional que influencia la utilidad de un ingrediente en un alimento. La mayor parte de las propiedades funcionales influyen sobre el carácter sensorial del alimento (en especial, la textura), pero también pueden tener un papel decisivo en el comportamiento físico de los alimentos o de los ingredientes alimenticios durante su preparación, transformación o almacenamiento (*Cheftel et al., 1989*).

La capacidad espumante de una proteína se refiere a la cantidad de área interfacial que puede ser creada por la proteína. El poder espumante generalmente aumenta con la concentración de la proteína hasta un valor máximo (*Badui, 2006*).

La estabilidad de la espuma es la capacidad de conservar su estructura a lo largo del tiempo. Se evalúa por medida, ya sea del volumen de espuma ya sea del líquido separado a lo largo del tiempo (*Linden y Lorient 1994*).

La viscosidad es la propiedad de un fluido que da lugar a fuerzas que se oponen al movimiento relativo de las capas adyacentes en el fluido. Estas fuerzas viscosas se originan de las que existen entre las moléculas del fluido y son de carácter similar a las fuerzas cortantes de los sólidos (*Geankoplis, 1998*). La Viscosidad en las proteínas no solo depende de su concentración sino también del tipo de proteína (*Chau et al., 1997*).

II. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

Gutteridge y Col., (1999) mencionan que el género *Erythrina* posee 112 especies, y específicamente la *Erythrina edulis* es la única especie que produce semillas comestibles y esta suele crecer en regiones andinas de Colombia y Perú. *Escamilo (2008)*, citando un artículo de El Comercio, señala que esta legumbre era consumida en el antiguo Perú, sin embargo, actualmente se presta poca importancia a su cultivo. La presencia de pajuro en el Perú es mencionado por *Brako & Zarucchi (1993)*, en los departamentos de Amazonas, Ancash, Apurímac, Ayacucho, Cajamarca, Huánuco, Junín, Loreto, Madre de Dios, Pasco, Piura y San Martín.

Con respecto al contenido de proteínas del pajuro, *Escamilo (2008)*, también reporta que el contenido de proteínas del pajuro es apreciable, llegando a alcanzar hasta 25% (por cada 100 gramos de legumbre). Para *Morales (2007)*, el aporte de la calidad biológica de proteínas, procedentes del pajuro, es superior a la del frijol, lenteja, arvejas o garbanzo.

El valor biológico de la proteína del pajuro es de 70.9% que, en comparación con otras legumbres como la lenteja 44%, la del frijol 58%, o la de la arveja 63.7%, es mucho mayor, según menciona *Acero (2002)*. En el análisis de las fracciones proteicas, se pudo apreciar una mayoritaria presencia de glutelinas (13.29% de 18.24% de proteínas totales), según lo publicado por *Arango et al. (2012)*. Las glutelinas son uno de los componentes principales del gluten que, a su vez, tiene la propiedad tecnofuncional de formar miga en los productos de panificación.

Beltrán (2009), encuentra potencial en la panificación el uso de la harina de pajuro (chachafruto) y describe el uso de esta harina en arepas, pan, postres, dulces, sopas, galletas. Cabe mencionar que en la actualidad el pajuro es una leguminosa rica en proteína; sin embargo, se encuentra en peligro de extinción debido a que su consumo y cultivo ha disminuido a través del tiempo.

Pero en nuestro país existe un desconocimiento de los subproductos que se pueden elaborar, tanto en su valor nutricional, beneficios para la salud y el

ecosistema. De ahí la importancia de dar a conocer todas las bondades nutricionales y las técnicas culinarias haciendo uso de esta leguminosa. De esta manera se puede incluir en la dieta para el consumo y evitar su extinción, esta situación evidencia la falta de información y aprovechamiento de la riqueza alimentaria de estos frutos andinos.

Es importante, que el alimento milenario ignorado sea conocido y expuesto a la sociedad cuyo consumo persiste en las mesas rurales de algunas regiones del Perú, es por ello que el presente trabajo de investigación tiene por objeto determinar influencia de los diferentes valores de pH y la concentración de proteína en la determinación de las propiedades tecnofuncionales de la harina de pajuro (*Erythrina edulis*), y de esta forma sea una ventana para futuras investigaciones innovando con nuevos productos hechos a base de harina de pajuro, asimismo aportar a la nutrición y alimentación de la sociedad de Cajamarca y del Perú.

2.1. Formulación del problema

¿Cuál es la influencia de los diferentes valores de pH y la concentración de proteína en la determinación de las propiedades tecnofuncionales de la harina de Pajuro (*Erythrina edulis*)?

2.2. Justificación de la investigación

El presente trabajo de investigación, desde el punto de vista teórico, busca contribuir al redescubrimiento del pajuro con el fin de difundir la información sobre los beneficios nutricionales, tanto a los profesionales de alimentos como también a la población en general. Además, servirá como modelo para futuras investigaciones y para la construcción de los conocimientos existentes, ya que parte de la formación de los profesionales es conocer con base científica la realidad sobre la disponibilidad de los alimentos en el país y los avances en la mejora de la calidad de vida.

Por su relevancia metodológica servirá como antecedente para el desarrollo de otras investigaciones similares donde, el flujograma de la obtención de la harina pre cocida de pajuro servirá de guía para la elaboración de otras harinas de manera industrial y artesanal, también podrán hacer uso de la ficha de recolección de datos utilizada en la investigación.

Por su valor social se busca evitar su extinción promoviendo los beneficios nutricionales del pajuro, formulando alternativas culinarias novedosas a partir de esta leguminosa para que futuras generaciones puedan beneficiarse de este alimento. También podría ser empleado como una alternativa de alimentación para personas que tienen un régimen vegano por su aporte de proteína vegetal y podría ser una alternativa para personas con enfermedades celiacas.

Por su relevancia práctica, tiene el propósito de promover su consumo mediante diversas técnicas culinarias, donde la inclusión de la harina precocida de pajuro pueda sustituir parcialmente o en su totalidad a otros tipos de harinas, por sus beneficios nutricionales y económicos. De esta manera se logrará consolidar y mejorar la demanda en el mercado, aumentando su producción y mejorando la calidad de vida de los pobladores donde se cultiva esta leguminosa.

2.3. Delimitación de la investigación

El presente trabajo de investigación está abocado al área de ingeniería y tecnología de los alimentos, la parte experimental se realizó en el 3er piso del laboratorio de Bioingeniería y fermentaciones Industriales de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Cajamarca y tuvo un periodo de duración de dos meses.

III. REVISIÓN DE LA LITERATURA

3.1. Antecedentes teóricos de la investigación

3.1.1. Umaña et al. (2005)

efectuaron una investigación en Medellín, Colombia con el objetivo de caracterizar harinas alternativas de vegetales libres de gluten como; lenteja, frijol, garbanzo, chachafruto, plátano, corteza de piña, pimentón, ahuyama, brócoli y champiñón.

Las materias primas fueron obtenidas en diferentes mercados agropecuarios de la ciudad de Medellín. Se realizó análisis bromatológicos, evaluaciones morfológicas, análisis térmico, índice de solubilidad y absorción, capacidad de retención e hinchamiento y prueba de extensibilidad. Los resultados de análisis proximal del pajuro fueron: 19.3% de proteína, 3.3% humedad, 3.7% cenizas y 73.4% carbohidratos. Según sus características morfológicas los gránulos de almidón del chachafruto son de 55.6 μm , de forma circular, hilum céntrico y superficie estriada. Respecto a su caracterización térmica el % de humedad presenta 3.30 % y la temperatura pico es 51.30°C. Finalmente, se concluye que las harinas analizadas podrían ser buenas alternativas para procesos de panificación respecto a sus valores nutricionales como en el contenido de proteína, carbohidratos y energía. Entonces, no solo el trigo u otros cereales pueden ser utilizados en la panificación, sino también otros vegetales existentes en el mundo, entre ellas el chachafruto.

3.1.2. Arango et al. (2004)

Realizaron una investigación en Nariño, Colombia con el objetivo de obtener un extracto proteico de chachafruto (*Erythrina edulis*). La extracción del aislado proteico de chachafruto fue mediante la técnica de solubilidad y la cuantificación de las proteínas se realizó mediante el método Kjeldahl. Los resultados obtenidos fueron: humedad 8.37% y proteína 18.4%; las fracciones mayoritarias encontradas en la proteína de la harina de chachafruto fueron glutelinas y albúminas. Se obtuvo 62% de extracto proteico en un tiempo de 60 min y una relación harina/solvente 1g y 40 ml, observándose un aumento de 15% en la cantidad de proteína extraída. Por tanto, se demuestra que es posible obtener proteínas de alto valor biológico

a partir de las semillas del chachafruto, las cuales podrían tener múltiples aplicaciones en la industria de alimentos.

3.1.3. Argot y Villada (2005)

Realizaron un estudio en Medellín, Colombia tuvieron el objetivo de examinar la inclusión de la harina de chachafruto (pajuro) en la elaboración de un pastel y evaluar sus propiedades sensoriales. En la formulación de los pasteles se utilizó cuatro proporciones de harina de chachafruto y trigo, muestra 4: 85% y 15%; muestra 3: 70% y 30%; muestra 2: 55% y 45%; muestra 1: 40% y 60%; respectivamente; muestra 0: 100% trigo (testigo). La evaluación sensorial fue desarrollada con 20 catadores entrenados, ellos evaluaron sabor, color, olor y textura de los pasteles en una unidad muestra de 60 g. Los resultados muestran el sabor de la prueba (muestra 4) 85% y 15% es aceptable; el olor más aceptable fue la prueba (muestra 1) 40% y 60%; en el color no se encontró diferencias significativas (muestra 2) 55% y 45%, y respecto a la textura no se encontró diferencias significativas Finalmente la prueba (muestra 4) 85% y 15% presentó puntuaciones iguales al tratamiento testigo. En conclusión, la proporción mejor valorada por los catadores por el sabor y textura fueron la combinación 85% chachafruto (*Erythrina edulis*) y 15% trigo. Respecto al color no se encontró diferencias significativas y el olor presentó una percepción característica la cual es muy marcada en los pasteles elaborados a partir de esta harina.

3.1.4. Zavaleta et al. (2006)

Ejecutaron un estudio en Amazonas, Perú donde los objetivos fueron determinar la sustitución parcial de la harina de trigo por la harina pasta de pajuro (*Erythrina edulis*) para la elaboración de un pan enriquecido; así mismo, evaluar sensorialmente para determinar el grado de aceptación y realizar la caracterización física química de los mejores productos evaluados. Para la obtención de harina de pajuro fue mediante las semillas rosadas de pajuro proveniente de Santo Domingo, distrito de Chachapoyas (Perú). Los resultados mostraron que el peso y volumen del pan enriquecido con harina y pasta de pajuro fueron similares en todos los tratamientos evaluados al compararlos con el testigo (100% harina de trigo); los tratamientos T1 (10% de harina de pajuro) y T5 (10% de pasta de pajuro) presentaron volúmenes

similares al testigo; asimismo, los tratamientos T1 y T5 presentaron las mejores preferencias en cuanto a color, aroma, sabor y textura, obteniéndose las mayores calificaciones. El análisis proximal en el T1 fue 11.96% de proteínas; 10% de grasa; 2.72% de cenizas y 60.77% de carbohidratos; el T5 tuvo 10.65% de proteínas. 9.6% de grasa, 2.58% de ceniza y 58.78% de carbohidratos. Este estudio muestra la posibilidad tecnológica de diversificar el uso de semillas de pajuro en forma de harina y pasta para la industria de la panificación mejorando el valor nutricional en cuanto al contenido de proteínas, cenizas y carbohidratos.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Generalidades del Pajuro

El pajuro (*Erythrina edulis*) se encuentra distribuido en áreas tropicales y sub tropicales de América hasta el norte de Argentina. En el Perú se encuentra en los valles interandinos desde los 900 a 3200 m.s.n.m., como son las regiones de Cajamarca, Amazonas, Loreto, Áncash, Huánuco, Pasco, Junín, Ayacucho, Cuzco y Apurímac, la Libertad, Madre de Dios (Escamilo Cárdenas, 2012; Méndez, 1999). El chachafruto (*Erythrina edulis*) es una de las 112 especies de árboles y arbustos (Marín, 1998; Pérez, 1995; Escamilo Cárdenas, 2012; Takhtajan, 2009). La erythrina es la única especie que produce semillas comestibles (figura 1) entre la familia Fabaceae y esta suele crecer en regiones andinas de Colombia, Uruguay y Perú (Naranjo, 2011). Zavaleta et al. (2010) informan que los incas lo cultivaban desde antes de la llegada de los europeos, también indica que este fruto ya fue cultivado por los amerindios. Roca Rey (2014) y Araujo Abanto (2005) lo llaman frejol del inca, porque este frejol en aquel tiempo les daba vigor y muchos años de vida.

3.2.2. Nombres comunes del pajuro

El pajuro (*Erythrina edulis*) quiere decir árbol de flores rojas y frutos comestibles. El pajuro es una leguminosa propia del norte de Sudamérica que recibe varios nombres en cada país de origen. En **Venezuela**: chachafruto, frijol mompás, nopás y bucaré. **Ecuador**: Pashurro, pashullo,

poroto, porotón, pisonay, pajuro, guato, sachaporoto, fríjol de monte, cañaro. camporoto, zapote de cerro y la etnia Cañari le llama Kañaro. **Perú:** Pajuro, basul, antiporoto, pashuro, pisonay, pashigua, pasugua, sachaporoto, pisonay, pajuro, frejol gigante y chachafruto. **Bolivia:** sachahabas y en **Colombia:** chachafruto, balú, baluy, basul, chaporuto, sachafuto, fríjol de árbol, frijol nopaz, nupo, habijuela, guimo, poruto y sachapuruto (Gómez zuluaga, 2012).



Figura 1. Representación del fruto del Pajuro (*Erythrina edulis*). A: fruto con cáscara; B: fruto sin cáscara.

En la (figura 1) se puede observar el fruto con cascara y sin cascara.

3.2.3. Clasificación taxonómica

En la (tabla 1) se muestra la clasificación taxonómica de la (*Erythrina edulis*) según *Takhtajan (2009)* y *Barrera Marín (1998)* y *Araujo Abanto (2005)*.

Clasificación taxonómica (<i>Erythrina edulis</i>)	
Reino	Plantae
División	Magnoliopsida
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fabales
Género	<i>Erythrina</i>
Familia	Fabaceae
Nombre científico	<i>Erythrina edulis</i>

Tabla 1. Clasificación taxonómica del pajuro

Fuente: *Takhtajan (2009)* y *Barrera Marín (1998)* y *Araujo Abanto (2005)*

Roa (2004) menciona que es un árbol con altura de promedio de 8 m y un diámetro de tronco de 24 cm, pero se han encontrado un promedio de 14 m de altura y 47 cm de grosor. Posee espinas en casi todo el árbol. Los frutos poseen unas vainas de 32 x 33 cm con seis semillas dentro, estas poseen la mitad de peso de las vainas. La semilla tiene la forma de frejol gigante, con un tamaño de promedio de 5.2 a 2.5 cm.

Su color es marrón o rojo oscuro, también hay de color amarillo, pero no es muy agradable. Es un árbol que prefiere las zonas húmedas con lluvias anuales superior a 1400 mm. Por la información anterior se podría asociar al cultivo de café (*Acero Duarte, 2007; Ruiz Montiel et al., 2012*). *Vargas Cuba (2013)* reporta que un árbol maduro produce entre 160-195 Kg de frutos, el número por unidades de semillas frescas por kilo es 150 y secas 280. No es recomendable aprovechar semillas de frutos caídos en forma natural, debido a que son susceptibles al ataque de insectos, daños mecánicos, de organismos patógenos, etc. (*Acero Duarte, 2007; Género & Leguminosae, 2010*).

Argote-Vega y Villada-Castillo (2012) señalan que hay una necesidad de viabilizar los componentes principales de esta leguminosa y de esta forma, se decide industrializar el pajuro en harina para su uso en panificación. *Gregorio Roa (2010)* menciona de acuerdo a la ONU, entre los granos que aportan proteínas están la quinua, amaranto y pajuro, en ellos las proteínas y aminoácidos a excepción del triptófano son más altos comparados con los del trigo.

3.2.4. Composición nutricional del grano de pajuro

Los estudios estiman por cada 100 g, de semilla de pajuro, presenta de 51 a 52% de carbohidratos (28), de 21 a 25% de proteína. Se ha demostrado que la cáscara o vaina contiene un buen aporte de minerales como calcio, magnesio, sodio, potasio, fósforo, azufre, hierro, molibdeno, cobre, magnesio y zinc. Además, ostenta un alto contenido de agua 80,5 g por cada 100g (8) e isoflavonoides, fitoestrogenos y lectinas.

Por su composición (Tabla 2) el pajuro puede completar y enriquecer alimentos como panes, tortas, entre otros (*Jyothirmayi, Prabhakara Rao, & Walde, 2006*).

Composición química	Sin cáscara	Con cáscara y hojas	Fuente
Proteína	20 – 25%	23 – 40%	García Burbano, 2008; Jurado et al., 2010; Zavaleta et al., 2010
Grasa cruda	1 – 2%	1 – 6%	Arango Bedoya et al., 2012; Acero Duarte, 2000; Sadowska et al., 2003
Ceniza	1.2 – 2%	2 – 3.5%	Sadowska et al., 2003; Von Humboldt, 2003
Fibra cruda	1 – 1.8%	3 – 23%	Zavaleta et al., 2010; Roa, 2004
Carbohidratos	42 – 55%	20 – 40%	Ortega et al. 1990; Natalia & Casta. 2014

Tabla 2. Composición química del Pajuro (*Erythrina edulis*)

El pajuro es una leguminosa que puede ser aprovechado al máximo. Además, *Hernández Bermejo (1994)* señala que el poroto o pajuro andino, conocido como frejol del inca está siendo olvidado. Además, de ser un árbol perenne y longevo, es un notable fijador de nitrógeno, no requiere cuidados ni tratamiento fitosanitario, controla la erosión del suelo, se adapta a terrenos áridos, soporta largos períodos de sequía, proporciona néctar de sus abundantes flores, entre otras cualidades (*Escamilo Cárdenas, 2012*).

3.2.5. Proteína del pajuro

Es considerado como una legumbre con muchas cualidades nutricionales en la (tabla 3) se muestran los análisis físicos químicos principalmente en la semilla seca. Según análisis bromatológicos, su contenido en proteína es de 19 a 29% por 100 g de semilla (Tabla 3) Contiene cuatro tipos de proteína: albúminas 11,52%, globulinas 8,83%, prolaminas 0,01% y glutelinas 1,29%(38). Además, presenta un valor biológico de 70.9 a 90% (39) de mejor calidad, a diferencia de las arvejas con 63.7%, frijoles 58% y lentejas con 44%.

Muestra	Humedad	Sólidos totales	Proteínas
Pajuro fresco	78.53%	21.47%	29.53%
Pasta de pajuro	68.35%	31.65%	12.90%
Harina de pajuro	11.73%	88.27%	20.02%

Tabla 3. Análisis fisicoquímico de la semilla, harina y pasta de pajuro del distrito de Chachapoyas, Perú

Fuente: *Zavaleta V, Wagner et al.(2000,2006)*

3.2.6. Aminoácidos del pajuro

El pajuro, como toda legumbre, es deficiente en metionina y triptófano (Tabla 4). Para hacer de esta legumbre un alimento completo en aminoácidos, se propone realizar preparaciones culinarias con cereales como el maíz, arroz, avena y semilla de sésamo.

Aminoácido	Pajuro	Frijol	Arveja	Soya	Haba
Lisina	6.91	6.24	6.96	6.38	6.46
Histidina	5.38	2.5	2.38	2.53	2.37
Treonina	5.84	3.87	3.58	3.86	3.36
Valina	5.57	4.62	4.08	4.8	4.4.
Metionina	1.31	1.17	0.88	1.26	0.74
Isoleucina	5.2	3.73	3.2	4.54	4
Leucina	8.24	6.51	6.37	7.78	7.09
Fenilalanina	4.99	4.72	4.22	4.94	4.32
Triptófano	0.66	0.56	0.74	1.28	N.D
Tirosina	5.5	2.7	3.34	3.14	3.2
Arginina	5.63	5.87	9.46	7.23	8.9
Ácido Aspártico	19.47	11.1	11	11.7	11.2
Serina	5.71	5.57	4.75	5.12	4.48
Ácido Glutámico	17.42	16.2	18.4	18.7	15
Prolina	5.25	3.97	3.87	5.45	3.98
Glicina	5.44	3.31	4.14	4.18	4.13
Alanina	7.73	3.74	4.18	4.26	4.14

Tabla 4. Contenido total de aminoácidos comparado con otras leguminosas, (g de AA/16gN)

Fuente: *Pérez B, Oswaldo (2016)*

3.2.7. Composición nutricional de la harina de pajuro

En la (Tabla 5) se muestran el análisis proximal de la harina de pajuro, en la cual se observan el contenido de proteína con 18.5%, grasa 2.50 %, almidón 13.1 y fibra 0.50%.

Análisis	Harina de pajuro (%)
Humedad	12.5
Cenizas	1.5
Proteínas	18.5
Grasas	2.5
Fibra	0.5
% Almidón	13.1

Tabla 5. Análisis proximal de macronutrientes de la harina de pajuro

Fuente: *Quintero Castaño, et al.*

3.2.8. Uso común y manejo industrial

Silva, Crisóstomo, Álvarez, y Mendoza (2015) informan que según las investigaciones realizadas del pajuro, es apto para el manejo industrial en la producción de harinas para la panificación (muffin, postres, galletas, panetones, dulces), fritos, encurtidos, potajes y concentrados. Además, indica que es usado en la medicina tradicional como: regulador de la función renal, hipotónica y osteoporosis

(Ceroni Estuvo, 2003; Zavaleta et al., 2010). Además, *Umaña et al. (2013)* mencionan que el pajuro es una especie económicamente importante por su fruto y semillas empleadas en la elaboración de alimentos.

Vargas Cuba (2013) señala que las semillas generalmente son conocidas como las papas e indica que puede ser industrializado en harina, para uso en panaderías y dar un mayor valor nutricional a las harinas de trigo. Los autores resaltan que la harina de pajuro es una alternativa, para mejorar los diversos productos en panificación.

3.2.9. Papel de las proteínas

El papel de las proteínas de los alimentos es suministrar los aminoácidos necesarios para la biosíntesis de las proteínas del organismo; parte de ellas para la renovación de los tejidos y parte para el desarrollo de los órganos en crecimiento. El exceso no consumido para la biosíntesis proteica se usa como alimento calórico y su N se excreta en forma de urea por la orina (*Primo, 1997*).

Los aminoácidos que forman parte de las proteínas son un número estrictamente limitado y la composición aminoacídica de las diversas proteínas es esencialmente común. Las propiedades y funciones de un tipo particular de proteína dependen por completo de la secuencia de sus aminoácidos, que es singular en cada proteína (Coulter, 2002).

3.2.9.1. Necesidades de proteínas en la dieta

En la (figura 2) se muestra las proteínas son necesarias para la formación y renovación de los tejidos. Los organismos que están en periodo de crecimiento necesitan un adecuado suministro de proteínas para su aumento de peso. Los organismos adultos que tienen su peso estabilizado están en equilibrio dinámico, en el que sus proteínas se degradan y se regeneran continuamente, aunque su composición permanece constante (Primo, 1997)

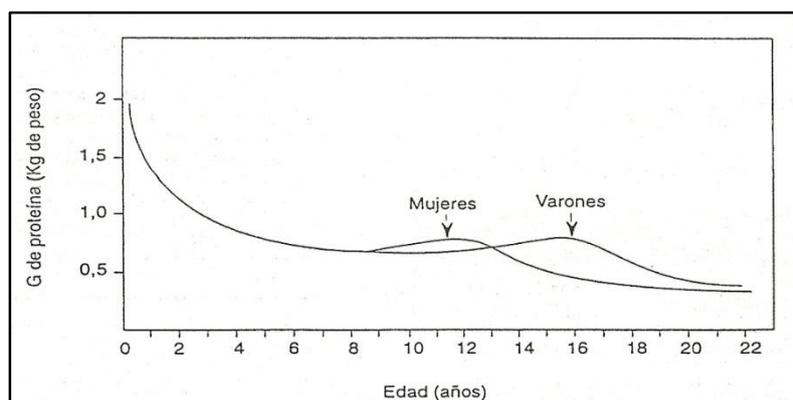


Figura 2. Necesidades mínimas medias, en función de la edad, de una proteína balanceada.

Fuente: *Primo, (1997).*

3.2.9.2. Propiedades funcionales de las proteínas

Además de las características nutricionales que se trata de proteger en el curso de la elaboración del alimento, las propiedades sensoriales deben poder ser caracterizadas, ya sea directamente por degustación, ya sea ligándolas a propiedades tecnofuncionales (tabla 6) cuya medida es más sencilla (Linden y Lorient, 1994). Las propiedades funcionales de las proteínas, son propiedades físico químicas que le permiten contribuir a las características deseadas de un alimento. Son variadas las propiedades funcionales que intervienen habitualmente en cada alimento (Cheftel et al., 1989).

	Propiedades funcionales	Estado físico	Propiedades sensoriales
ADSORCIÓN	Retención de aromas Retención de lípidos Adsorción de agua	Gas	Aroma
INTERFACIALES	Esponjamiento Emulsificación	Espuma Líquido	Sabor
HIDRATACIÓN	Retención de agua Solubilidad Viscosidad	Pasta	Propiedades kinestésicas
TEXTURA	Porosidad Agregación Gelificación Coagulación Elasticidad Microestructura (celular)	Sólido dispersado Sólido compacto	Tocar Reología Oído

Tabla 6. Relaciones entre las propiedades funcionales y sensoriales

Fuente: *Linden y Lorient, (1994).*

La dispersabilidad, la humectabilidad, el hinchamiento, la solubilidad, “el espesamiento” o aumento en viscosidad, la capacidad de atrapamiento de agua, la gelación, la coagulación, la emulsificación y el espumado, dependen todas de las interacciones proteína– agua. Las moléculas de agua se unen a diferentes grupos en las proteínas, como los grupos cargados mediante interacciones ion – ion dipolo. Así mismo, se unen al esqueleto del enlace peptídico, a los grupos amida de Asn y Gln, y al grupo hidroxilo de los residuos Ser, Thr y Tyr por interacciones dipolo- dipolo.

En el caso de unión a los residuos no polares se induce una interacción dipolo-dipolo o bien una “hidratación” hidrofóbica (Cheftel *et al.*, 1989). En la (Figura 3) se muestran los factores que intervienen en la estructura y las propiedades funcionales.

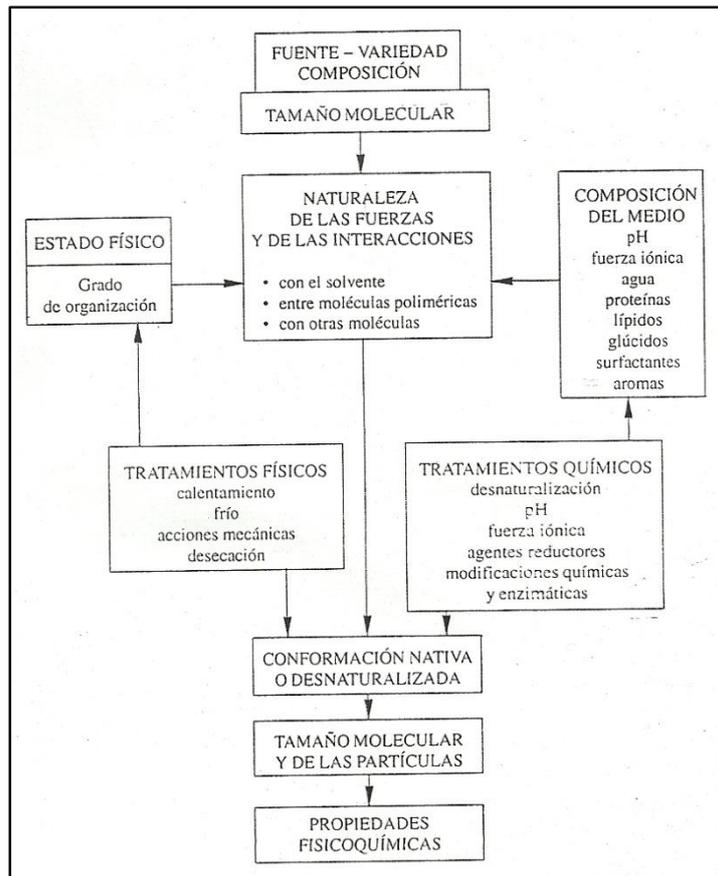


Figura 3. Factores que intervienen en la estructura y las propiedades funcionales de las proteínas y demás macromoléculas.

Fuente: *Linden y Lorient, (1994)*.

3.2.9.3. Propiedades espumantes de las proteínas

Se produce una espuma cuando un gas es introducido en un líquido, ya sea por uno o varios orificios o a través de vidrio que ha sufrido una vitrificación preparatoria destinada a eliminar los elementos volátiles (burbujeado), ya sea cuando gas o líquido son agitados juntos simultáneamente (batido agitación) (*Linden y Lorient, 1994*).

Muchos alimentos procesados son productos tipo espumas: crema batida, helados de crema, pasteles, merengues, pan, soufflés, mousses y malvaviscos. Las propiedades de textura son únicas debido a la dispersión de numerosas burbujas de aire pequeñas y a la formación de una película delgada en la interface líquido – gas llamada frecuentemente lamela. En la mayoría de estos productos, las proteínas son los principales agentes con actividad superficial que ayudan en la formación y estabilización de la fase

gaseosa dispersa. Generalmente, las espumas estabilizadas por proteínas se forman por burbujeo, batido o agitación de una solución proteica (*Badui, 2006*). Las propiedades espumantes de las proteínas derivan de su capacidad de formar una película delgada y tenaz en las interfaces gas-líquido, lo que permite la incorporación y estabilidad de múltiples burbujas de gas (Figura 4) (*Fennema, 2000*).

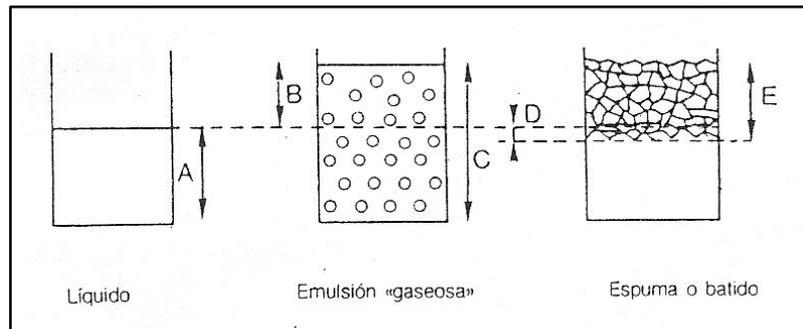


Figura 4. Representación esquemática de la formación de una espuma o batido A = Volumen del líquido; B = volumen del gas incorporado; C = volumen total de la dispersión; D = volumen del líquido en la espuma (D = E-B); E = Volumen de la espuma

Fuente: *Cheftel et al., (1989)*.

3.2.9.4. Capacidad de formación de espuma

Corrientemente las espumas o batidos alimenticios son dispersiones de gas en fase continua líquida o semi- sólida que contienen un surfactante soluble. Para conseguir una espuma satisfactoria es preciso que la duración e intensidad de la agitación logre un desdoblamiento y absorción adecuada de proteína. Sin embargo, una agitación demasiado intensa, puede disminuir el crecimiento y estabilidad de la espuma (*Cheftel et al., 1989*). La capacidad espumante de una proteína se refiere a la cantidad de área interfacial que puede ser creada por la proteína. El poder espumante generalmente aumenta con la concentración de la proteína hasta un valor máximo (*Badui, 2006*).

El poder espumante a una determinada concentración de proteína suele utilizarse como base para comparar las propiedades espumantes de diversas proteínas. En la (Tabla 7) se recoge el poder espumante de diversas proteínas a pH 8 (*Fennema, 2000*).

Tipo de proteína	Potencia espumante al 0.5% de concentración de proteína
Seroalbúmina bovina	280%
Refinado de proteínas de lactosuero	600%
Albúmina de huevo	240%
Ovoalbúmina	40%
Plasma bovino	260%
β - Lacto globulina	480%
Fibrinógeno	360%
Proteína de soja (hidrolizada enzimáticamente)	500%
Gelatina (corteza de cerdo; procesado ácido	760%

Tabla 7. Potencia espumante comparada de disoluciones proteicas
Fuente: *Fennema, (2000)*.

3.2.9.5. Estabilidad de la espuma

Hace referencia a la capacidad de estabilizarla frente a esfuerzos mecánicos o gravitatorios. La estabilidad de la espuma se suele expresar en términos del tiempo necesario para que drene el 50% del líquido que contiene o para que el volumen de la espuma se reduzca al 50%. La medida más directa de la estabilidad de la espuma es la de la reducción de su área interfacial a lo largo del tiempo (*Badui, 2006*). Para que la espuma sea estable, la proteína debe tener un balance entre la habilidad para emplear una limitada cohesión intermolecular requerida para formar una membrana elástica estable y la tendencia a asociarse entre sí excesivamente, lo que ocasionaría una agregación y colapso de la espuma (*Sosa, 2000*).

Según *Cheftel et al., (1989)*, la rotura de la laminilla líquida que separa las burbujas de gas, provoca un aumento del tamaño de estas burbujas por coalescencia y conduce a un derrumbe de la espuma en un determinado periodo o tiempo. Surge también esta rotura cuando las películas proteicas absorbidas se aproximan la una a la otra a una distancia de unos 50 – 150 Å como resultado de la pérdida de líquidos o de un debilitamiento producto de las colisiones.

La estabilidad de la espuma depende de la agitación, una agitación demasiado intensa, puede disminuir el crecimiento y la estabilidad de la espuma. Las espumas formadas a partir de proteínas pasan por un proceso de desnaturalización, o sea se desdobra el polímero quedando los aminoácidos hidrófobos al interior de la burbuja y los hidrófilos al exterior.

Un calentamiento gradual puede estabilizar la espuma, ya que la proteína se coagula y forma lamelas más rígidas (*Badui, 2006*). Las espumas son generalmente menos estables que las emulsiones y que las películas que las forman, pues bajo la influencia de la gravedad el líquido comprendido entre las dos laminillas (borde plano) fluye a lo largo de un canal central (fenómeno de drenaje) (figura 5). En este punto, la reducción de la presión aspira el líquido de las laminillas y puede inhibir las fuerzas estabilizadoras de la película: se obtiene una espuma seca muy poco homogénea y que no forma una red continua y cuando el espesor de la película pasa de 100 µm a menos de 10 µm se produce una rotura de la película (*Linden y Lorient, 1994*).

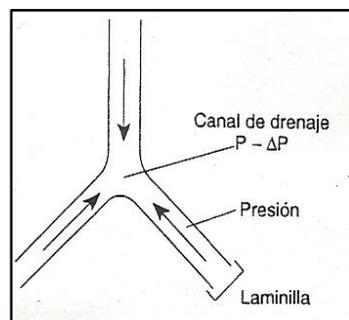


Figura 5. Punto de unión (borde plano) de 3 burbujas donde una depresión provoca drenaje.

Fuente: *Linden y Lorient, (1994)*.

3.2.9.5.1. Factores ambientales que influyen en la estabilidad de la espuma.

a) pH:

Las espumas estabilizadas por proteínas son más estables al punto isoeléctrico de estas que a ningún otro, siempre que la proteína no se insolubilice. En el punto isoeléctrico, o en una región de pH próximo, la inexistencia de interacciones repulsivas facilita el establecimiento de interacciones favorables proteína- proteína y la formación de una película viscosa en la interface. Si la proteína es poco soluble a su pI , como le ocurre a la mayoría, en la formación de espuma solo participara la fracción soluble. Generalmente la adsorción de partículas hidrófobas aumenta la estabilidad de la espuma. A pHs cercanos al punto isoeléctrico la capacidad espumante suele ser buena, pero la estabilidad de la espuma es mala (Fennema, 2000).

b) Sales:

La capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la mayoría de proteínas globulares aumenta conforme se incrementa la concentración de NaCl. Sin embargo, algunas proteínas como las del suero presentan efecto opuesto (Badui, 2006).

c) Azúcares:

La adición de sacarosa, lactosa, soluciones azucaradas pueden perjudicar la capacidad espumante, pero mejorar la estabilidad de la espuma, pues incrementan la viscosidad de la fase “*bulk*” y se reduce la velocidad de drenado del fluido de la lamela (Fennema, 2000).

d) Lípidos:

Los lípidos especialmente los fosfolípidos, cuando se presentan en una concentración mayor al 0.5% afectan desfavorablemente las propiedades espumantes de las proteínas, debido a que su superficie es más activa que la de las proteínas, se adsorben en la interface aire- agua compitiendo con las proteínas e inhiben su adsorción durante la formación de espuma (Badui, 2006).

e) Concentración proteica:

Son varias las propiedades de las espumas que se ven influidas por la concentración proteica. Cuando más elevada sea la concentración de proteína más resistente es la espuma. La resistencia de la espuma mejora aumentando la concentración de proteína, porque esto aumenta la viscosidad y facilita la formación de una película cohesiva formada por varias capas de moléculas proteicas en la interface. Las propiedades espumantes alcanzan un valor máximo a una determinada concentración de proteína (Fennema, 2000).

3.2.9.6. Viscosidad

La aceptación por el consumidor de varios alimentos líquidos o semisólidos (por ejemplos: sopas, bebidas, caldos, etc.) dependen de la viscosidad y la consistencia del producto (Fennema, 2000). La viscosidad es la propiedad de un fluido que da lugar a fuerzas que se oponen al movimiento relativo de las capas adyacentes en el fluido. Estas fuerzas viscosas se originan de las que existen entre las moléculas del fluido y son de carácter similar a las fuerzas cortantes de los sólidos (Geankoplis, 1998).

La viscosidad de las proteínas es la manifestación de complejas interacciones entre diversas variables, entre las que cabe citar el tamaño, la forma, las interacciones proteína disolvente, el volumen hidrodinámico y la flexibilidad molecular en estado hidratado. El coeficiente de viscosidad de la mayor parte de las disoluciones proteicas guarda relación exponencial con la concentración, debido a las interacciones proteína – proteína y las interacciones entre las esferas de hidratación de las moléculas proteicas. En la (figura 6) se ejemplifica este hecho con fracciones de proteína de soya. A concentraciones elevadas, o en geles proteicos, donde las interacciones proteína – proteína son fuertes y abundantes, las proteínas muestran un comportamiento plástico visco elástico (Fennema, 2000).

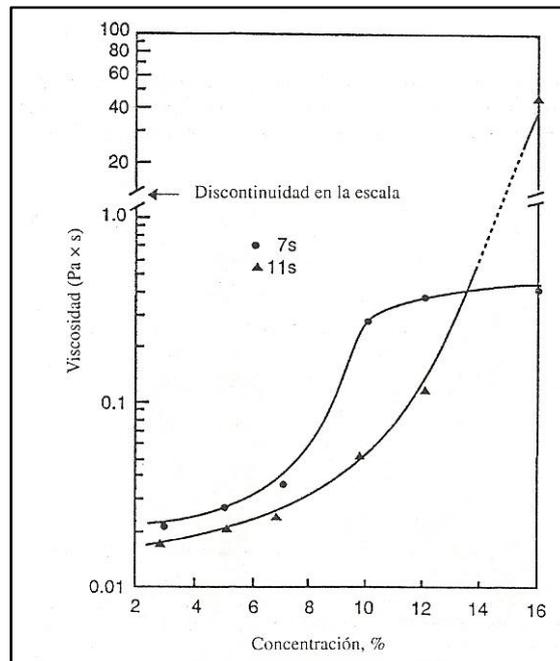


Figura 6. Efecto de la concentración en la viscosidad (o índices de consistencia) de disoluciones de proteínas de soya 7S y 11S, A 20°C.

Fuente: *Fennema, (2000).*

3.3. Definición de términos:

3.3.1. Definición de punto isoeléctrico:

El punto isoeléctrico se define como el pH en el cual el número de cargas positivas se iguala al número de cargas negativas que aportan los grupos ionizables de una molécula. En el punto isoeléctrico la carga neta de la molécula es cero (0). En los aminoácidos los grupos ionizables corresponden a grupos carboxilos, amino, fenólicos.

3.3.2. Punto isoeléctrico de aminoácidos y proteínas:

Los puntos isoeléctricos proporcionan información útil para razonar sobre el comportamiento de los aminoácidos y proteínas en solución. Así, la presencia de grupos ionizables en éstas moléculas tiene importantes consecuencias sobre la solubilidad. Los aminoácidos y las proteínas son menos solubles en su punto isoeléctrico si las demás condiciones permanecen iguales. Esto se debe a que los iones dipolares no presentan carga neta y cristalizan en forma de sales insolubles a ese pH.

3.3.3. El pH:

Es una medida de acidez o alcalinidad que indica la cantidad de iones de hidrógeno presentes en una solución o sustancia. Las siglas pH significan potencial hidrógeno.

3.3.4. La Espuma:

Puede ser líquida o semisólida. Está formada por una fase continua acuosa y una fase dispersa gaseosa.

Las espumas formadas a partir de las proteínas pasan por un proceso de desnaturalización, se desdoblán en polímeros quedando los aminoácidos y estos tienen un comportamiento Anfipático (afinidad por el agua)

3.3.5. Unidad de centistokes:

Se obtiene como cociente de la viscosidad dinámica (o absoluta) y la densidad. La unidad en el SI es el (m²/s). La unidad física de la viscosidad cinemática en el sistema CGS es el *stoke* (abreviado S o St), cuyo nombre proviene del físico irlandés George Gabriel Stokes (1819-1903). A veces se expresa en términos de *centistokes* (cS o cSt).

$$1 \text{ stoke} = 100 \text{ centistokes} = 1 \text{ cm}^2/\text{s} = 0,0001 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$1 \text{ cSt} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}^3$$

IV. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. HIPÓTESIS GENERAL

4.1.1. Hipótesis alternativa (H_1)

La influencia de los diferentes valores de pH y la concentración de proteína ejercen un efecto significativo en la determinación de las propiedades tecno funcionales de la harina de pajuro (*Erythrina edulis*).

4.1.2. Hipótesis nula (H_0)

La influencia de los diferentes valores de pH y la concentración de proteína no ejercen un efecto significativo en la determinación de las propiedades tecno funcionales de la harina de pajuro (*Erythrina edulis*).

V. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Objetivo general de la investigación

- Determinar la influencia de los diferentes valores de pH y la concentración de proteína en la determinación de las propiedades tecno funcionales de la harina de pajuro (*Erythrina edulis*).

5.2. Objetivos específicos de la investigación

- ❖ Evaluar la propiedad tecno funcional (**capacidad de formación de espuma**) del Harina de Pajuro (*Erythrina edulis*) a diferentes valores de pH y concentración de aislado de harina de pajuro.
- ❖ Evaluar la propiedad tecno funcional (**estabilidad de formación de espuma**) del Harina de Pajuro (*Erythrina edulis*) a diferentes valores de pH y concentración de aislado de harina de pajuro.
- ❖ Evaluar la propiedad tecno funcional (**viscosidad**) del Harina de Pajuro (*Erythrina edulis*) a diferentes concentraciones de aislado de harina de pajuro.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

La presente investigación se llevó a cabo en el 3er piso del laboratorio de Bioingeniería y Fermentaciones Industriales, de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca.

6.2. Materiales

6.2.1. Materia prima

- Harina de Pajuro (*Erythrina edulis*).
- Agua destilada (3 l).

6.2.2. Reactivos

- Solución de NaOH 1N (200 ml).
- Solución de HCl 1N (200 ml).

6.2.3. Materiales y Equipos de laboratorio

- Vasos de precipitados de 150 - 250 ml (15).
- Probeta de 200 - 250 ml (09).
- Espátulas (02).
- Pipeta volumétrica de 10 ml (04 de c/u).
- Balanza analítica.
- Agitador magnético y magneto (03).
- Licuadora (02).
- Baguetas (09).
- pH metro.
- Viscosímetro Cannon - Fenske #150.
- Cronómetro

6.2.4. Otros materiales

- Laptop y Memoria USB de 4 GB
- Cámara fotográfica digital
- Útiles de escritorio

6.3. Métodos de análisis

6.3.1. Capacidad de Formación de Espuma (CFE) (Chau *et al.*, 1997; Sosa, 2000; Ludeña, 2001)

- a. Se preparó soluciones de harina de pajuro en un volumen de 100 ml de 0,5, 0,75 y 1% con agua destilada, ajustando el pH a 5, 7 y 9 con NaOH.
- b. Una vez realizada la dispersión se licuó por 2 minutos a una velocidad media.
- c. El batido o agitado se transfirió a una probeta graduada y se calculó el porcentaje de volumen incrementado, según la ecuación 1.

$$CFE (\%) = \frac{(\text{Volumen despues del batido} - \text{Volumen antes del batido})}{\text{Volumen antes del batido}} * 100 \% \quad (1)$$

6.3.2. Estabilidad de la Espuma (EES) (Chau *et al.*, 1997; Sosa, 2000; Ludeña, 2001)

- a. Después de medir el volumen total del batido, se midió el volumen de espuma en la probeta a un tiempo de 1, 10, 20, 30 min, determinándose en función del (pH 5, 7 y 9) y de la concentración de harina de pajuro (0,5; 0,75 y 1%).
- b. Los resultados fueron calculados aplicando según la ecuación 2.

$$EES (\%) = \frac{(\text{Volumen de la espuma en un tiempo determinado})}{\text{Volumen total de espuma}} * 100 \% \quad (2)$$

6.3.3. Viscosidad (VIS) (Sathe y Salunke, 1981; Sosa, 2000; Ludeña, 2001).

- a. Se dispersó en agua destilada (50 ml) con agitador magnético por 30 min a pH 8,3 a diferentes concentraciones de aislado de harina de pajuro 4, 5, 7 y 9%.
- b. Se midió el tiempo en pasar los dos límites marcados en el viscosímetro Cannon-Fenske N° 150, los resultados se presentaron en unidades de viscosidad cinemática (centistokes) mediante la siguiente ecuación 3.

$$VIS (\text{Centistokes}) = K * \theta - \left(\frac{0,5}{\theta}\right) \quad (3)$$

Donde:

$K = 0,035$ centistokes / Segundo

θ = tiempo (segundos)

6.4. Metodología experimental

6.4.1. Tipo y nivel de investigación

Investigación científica aplicada y de alto grado de correlación basado en las propiedades tecnofuncionales del pajuro.

6.4.2. Método empleado

Se aplicó el método analítico y comparativo de superficie de respuesta. Se hizo uso de ensayos para determinar las propiedades tecnofuncionales en el pajuro al nivel de laboratorio en el orden y número que señalado en el software utilizado.

6.5. Identificación de variables

6.5.1. Variable independiente

Determinación de propiedades tecnofuncionales en la harina de pajuro

Indicadores:

- Harina de pajuro.
- Métodos de análisis: capacidad de formación de espuma, estabilidad de espuma y viscosidad.
- Diferentes valores de pH y concentración aislado de harina de pajuro.

6.5.2. Variable dependiente

Optimización de las propiedades tecnofuncionales en la harina de pajuro

Indicadores:

- Rangos de operación de las variables de análisis
- Optimización a través de superficie de respuesta

6.5.3. Variable interviniente

Método estadístico de superficie de respuesta

Indicadores: Software STATGRAPHICS

6.6. Definiciones operacionales.

En las (Tablas 8) se muestra las dimensiones e indicadores de las variables independientes y de las variables dependientes. Los parámetros de control para el proceso de determinación de propiedades tecno funcionales de la harina de pajuro, se exponen en la tabla 8.

Indicadores	Soluciones proteicas (%)	pH	Tiempo de batido o licuado (min)
	0.5%	5	
Capacidad de formación de espuma	0.75%	7	2 minutos
	1%	9	
	0.5%	5	1 minuto
Estabilidad de la espuma	0.75%	7	10 minutos
	1%	9	20 minutos
			30 minutos
Viscosidad de la espuma	4%		
	5%	8.3	30 minutos
	7%		

Tabla 8. Parámetros de control para el proceso de determinación de propiedades tecno funcionales de la harina de pajuro.

Fuente: *(Elaboración propia)*

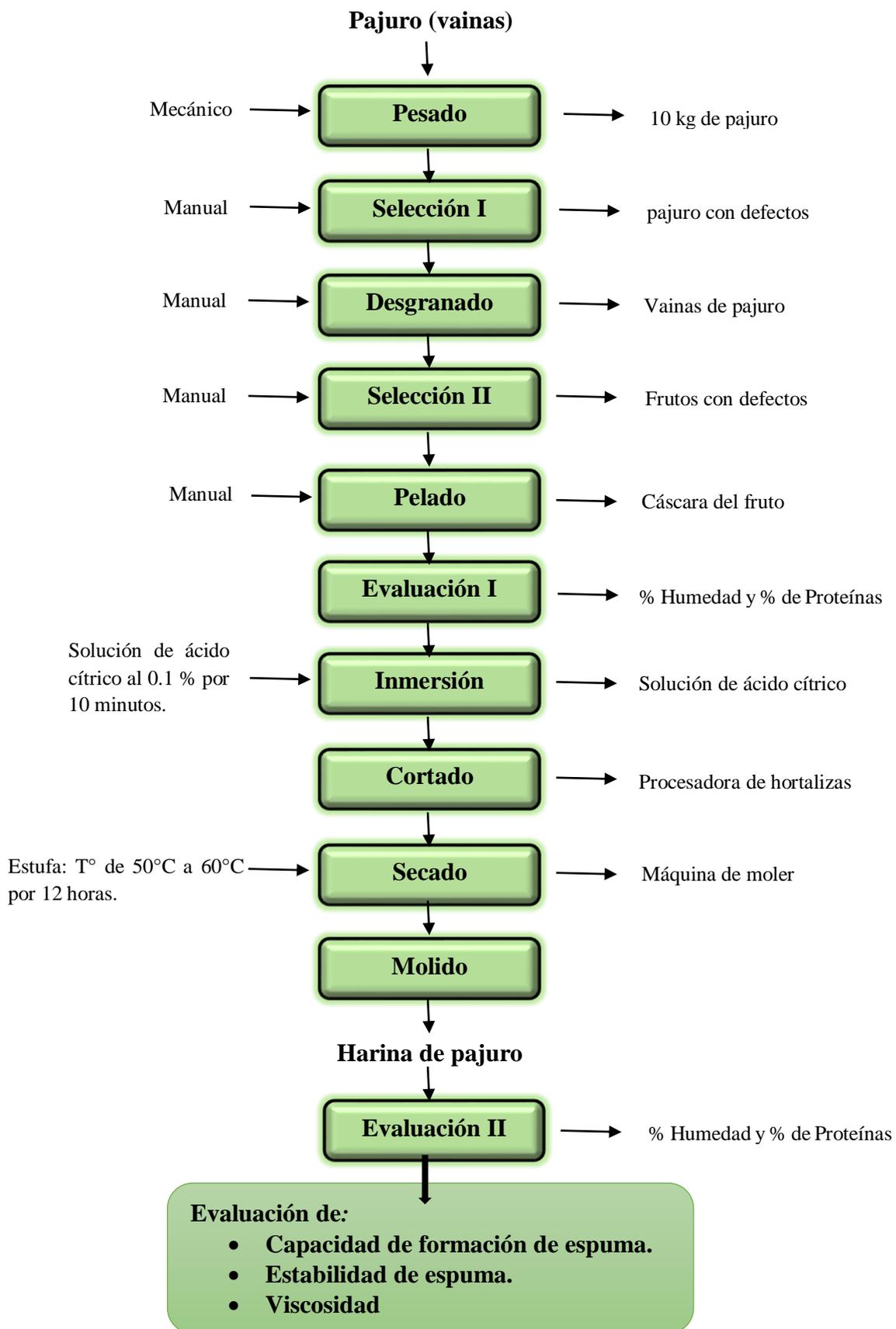


Figura 7. DIAGRAMA DE FLUJO (OBTENCIÓN DE HARINA DE PAJUERO)
 Fuente: *Elaboración propia, adaptada de (Yousseff, Salem, Hamid, & Abdel-Rahman 2006).*

6.7. Descripciones de operaciones del proceso de obtención de harina de pajuro (figura 7).

a) Pajuro fresco (vainas):

Para todas las pruebas experimentales y de proceso se utilizará el pajuro en estado de maduración “tierno”.

b) Pesado:

Se realizó de manera mecánica, utilizando una balanza digital de marca PRECISA se pesará un total de 10 kg de pajuro.

c) Selección I:

Se realizó de manera manual, en esta operación se separaron las vainas de pajuro que tenían defectos físicos, donde temos:

Peso de vainas sin defectos: 8.6kg

d) Desgranado:

Fue de manual, en esta operación consiste en retirar las vainas del pajuro y obtener únicamente el fruto, su rendimiento fue de 40% de vainas y 60% de fruto, donde obtuvimos los siguientes pesos:

Peso de grano de pajuro: 7.2kg

e) Selección II:

Se realizó de forma manual, en esta operación se separarán los frutos que tengan defectos físicos.

Peso de frutos sin defectos: 7.2 kg

f) Pelado:

En esta operación se retiró de manera manual la cáscara de los frutos.

Donde se obtuvo:

Peso de pulpa de pajuro: 5.200kg

g) Evaluación I:

Se evaluará el % de humedad y el % de proteínas (etapa inicial), de acuerdo al análisis realizado por cada 100g de pajuro obteniendo los siguientes resultados:

% de humedad	% de proteína
67.25 %	25.12 %

h) Inmersión:

Se realizó en una solución de ácido cítrico al 0.1 % por 10 minutos.

i) Cortado:

El proceso de cortado se realizó utilizando una cortadora de hortalizas.

j) Secado:

La etapa de secado se realizó en una estufa, a una temperatura de 50°C a 60°C. por un tiempo de 12 horas, donde obtuvimos:

Peso de pulpa seca: 2.300kg

k) Molido:

Esta operación se efectuó en una máquina moladora de granos por el lapso de 1 hora, donde obtuvimos 2.300 kg de harina de pajuro.

Se calcula el rendimiento mediante la ecuación 1.

$$\text{Rendimiento de harina}(\%) = \frac{\text{peso de harina final (g)}}{\text{peso bruto de pajuro en (g)}} * 100 \% \quad (1)$$

$$\text{Rendimiento de harina}(\%) = \frac{2300}{10000} * 100 \%$$

$$\text{Rendimiento de harina}(\%) = 23\%$$

l) Evaluación II

Se evaluó el % de humedad y el % de proteínas (etapa final). El % de proteínas se realizó por el método de kjeldahl en el laboratorio de la Molina Calidad Total, de acuerdo al análisis realizado por cada 100g de harina de pajuro tenemos 17.6 g de proteinana.

% de humedad	% de proteína
10.35%	17.6%

Se realizó a evaluar la cantidad de proteína que contiene dichas concentraciones a analizar Y se obtuvo los siguientes resultados:

Peso de Aislado proteico (%)	Concentración de proteína obtenida. (%)
0.5	0.088
0.75	0.132
1	0.176
4	0.704
5	0.88
7	1.232

6.8. Parte experimental de la investigación

Luego de obtener la harina de pajuro se procedió a determinar la parte experimental en la cual se determinó (Capacidad de formación de espuma, Estabilidad de la espuma), para esto utilizamos dos instrumentos de batido como es una licuadora y un agitador magnético, para realizar las pruebas mencionadas solo se utilizó para el batido la licuadora a una velocidad media y para medir la (Viscosidad) se utilizó el agitador magnético por 30 minutos a una velocidad de 500 rpm (revolución por minuto).

6.8.1. Capacidad de Formación de Espuma (CFE) (Chau *et al.*, 1997; Sosa, 2000; Ludeña, 2001)

- Se preparó una concentración de aislado de harina de pajuro de 100% en un volumen de 100 ml adicionándole 100g de harina de pajuro.
- Luego se sacó concentraciones de 0,5, 0,75 y 1% en un volumen de 100ml con agua destilada, ajustando el pH a 5, 7 y 9 con NaOH y HCL.
- Una vez realizada la dispersión se licuó por 2 minutos a una velocidad media.
- El batido o agitado se transfirió a una probeta graduada y se calculó el porcentaje de volumen incrementado, según la ecuación 2.

$$CFE (\%) = \frac{(\text{Volumen despues del batido} - \text{Volumen antes del batido})}{\text{Volumen antes del batido}} * 100 \% \quad (2)$$

6.8.2. Estabilidad de la Espuma (EES) (Chau et al., 1997; Sosa, 2000; Ludeña, 2001)

- a. Después de medir el volumen total del batido, se midió el volumen de espuma en la probeta a un tiempo de 1, 10, 20, 30 min, determinándose en función del (pH 5, 7 y 9) con NaOH y HCL y en concentraciones de aislado proteico de harina de pajuro en concentraciones (0,5; 0,75 y 1%).
- b. Los resultados fueron calculados aplicando según la ecuación 3.

$$EES (\%) = \frac{(\text{Volumen de la espuma en un tiempo determinado})}{\text{Volumen total de espuma}} * 100 \% \quad (3)$$

6.8.3. Viscosidad (VIS) (Sathe y Salunke, 1981; Sosa, 2000; Ludeña, 2001).

- a. Se dispersó en agua destilada (50 ml) con agitador magnético por 30 min a pH 8,3 a diferentes concentraciones de aislado de harina de pajuro 4, 5, 7%.
- b. Se midió el tiempo en pasar los dos límites marcados en el viscosímetro
- c. Cannon-Fenske N° 150, los resultados se presentaron en unidades de viscosidad cinemática (centistokes) mediante la siguiente ecuación 4.

$$VIS (\text{Centistokes}) = K * \theta - \left(\frac{0.5}{\theta}\right) \quad (4)$$

Donde:

K = 0,035 centistokes / Segundo

θ = tiempo (segundos)

6.9. Unidad de análisis, población y muestra

6.9.1. Unidad de análisis

Es el producto pajuro (*Erythrina edulis*), cosechado y seleccionado de acuerdo a los siguientes criterios: producto fresco, recién cosechado de los biotipos industriales.

6.9.2. Población

El pajuro (*Erythrina edulis*), tuvo como lugar de procedencia el Provincia de Cajamarca, Departamento de Cajamarca, Región Encañada.

6.9.3. Muestra

Se seleccionaron: 10 kg de pajuro (*Erythrina edulis*)

a) Instrumentos de colecta de datos

Exploración de literatura en general, información y publicaciones relativas al tema de harina de pajuro, superficies de respuesta y optimización. Experimentación directa en los distintos niveles de evaluación. Aplicaciones y mediciones piloto. Los datos fueron almacenados y procesados utilizando el software siguiente: Statgraphic.

b) Procedimiento de análisis de datos

Análisis lógico y estadístico de resultados. Contrastación con los fundamentos y supuestos científicos.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIONES

7.1. Capacidad de formación de espuma (CFE)

Concentración (%)	Proteína contenida (%)	pH	Volumen antes del batido (ml)	Volumen después del batido (ml)	CFE (%)
0,5	0.088	5	100	105	5
		7	100	104	4
		9	100	140	40
0,75	0.132	5	100	120	20
		7	100	110	10
		9	100	150	50
1	0.176	5	100	137	37
		7	100	126	26
		9	100	150	50

Tabla 9. Resultados de CFE en Harina de Pajuro (*Erythrina edulis*)

En la (tabla 9) se presentan los resultados de capacidad de formación de espuma, en donde se puede observar que el mejor tratamiento incrementándose la capacidad de formación de espuma en un 50%, estos resultados se obtienen al utilizar pH de 9 y concentraciones de aislado de harina de pajuro en % de (0.75 y 1%).

Para poder observar la forma de interacción en el %CFE se graficó utilizando el software *Statgraphic Plus* las interacciones individuales (figura 8), donde se observa que a mayor concentración de aislado de pajuro el %CFE aumenta en una tendencia lineal creciente, mientras que en el pH se forma una U ya que el % de CFE se ve está influenciado por el punto isoeléctrico de la proteína.

Para que ocurra la capacidad de formación de espuma, la proteína debe ser soluble, flexible, tener baja masa molecular y poseer un balance adecuado lipofílico-hidrofílico. No todas las proteínas pueden espumar, y aquellas que lo hacen varían ampliamente en su capacidad espumante (*MacRitchie, 1998*).

Paralelamente, para que el sistema resulte estable, esta película creada debe mantenerse en el tiempo; para lo cual, debe poseer determinadas propiedades reológicas que le confieran resistencia, cierta rigidez y flexibilidad e involucran la estructura secundaria y terciaria de la proteína (*Tang et al., 2003*).

Las moléculas de proteína tienen que asociarse entre sí ya sea por interacciones hidrofóbicas o por puentes disulfuro para formar agregados de gran tamaño, mínima carga superficial y alta capacidad de absorción de agua (*Wagner, 2000*). Debido a que el sistema es termodinámicamente inestable se produce la destabilización de la espuma. Este proceso involucra mecanismos como: drenaje de líquido por efecto de la fuerza de gravedad; acumulación de burbujas en la parte superior del recipiente por flotación y maduración de Ostwald, las burbujas grandes crecen a expensas de las pequeñas.

Las burbujas de gas pueden diferir sustancialmente en volumen, con diámetros que oscilan entre 1 μm a varios centímetros (generalmente de 0,1 a 3mm), lo cual implica 10^3 de burbujas hay por ml, siendo en general tres órdenes más grandes que las gotas de una emulsión (diámetro 0,1-100 μm , 10^{11} burbujas por ml). Presentan una compresibilidad cinco órdenes de magnitud mayor que las gotas de las emulsiones, pues el gas es mucho más soluble en agua que el aceite o la grasa. (*Halling, 1981*).

La función de las micelas es fundamental en algunos procesos biológicos y químicos. Gracias a sus funciones se las utiliza en numerosas aplicaciones.

Las micelas tienen una parte hidrofóbica, que está en el interior y otra hidrofílica en su exterior. La gran ventaja está en que pueden transportar moléculas insolubles en un medio acuoso. Sin las micelas ninguna sustancia insoluble en agua podría transportarse a través de un solvente polar como el agua. Esta dualidad convierte a las micelas en estructuras anfipáticas. El nombre anfipático o anfipático hace referencia a tener la parte hidrófila e hidrófoba a la vez.

La función micela en el aislado de harina de pajuro es muy buena y nos sirve para poder realizar los diferentes procesos térmicos en los alimentos quiere decir que es resistente a diversas temperaturas, como su comportamiento con diferentes valores de PHSegún *Fennema (2000)* a pHs cercanos al punto isoeléctrico la capacidad espumante de las proteínas suele ser buena, pero la estabilidad de la espuma es deficiente.

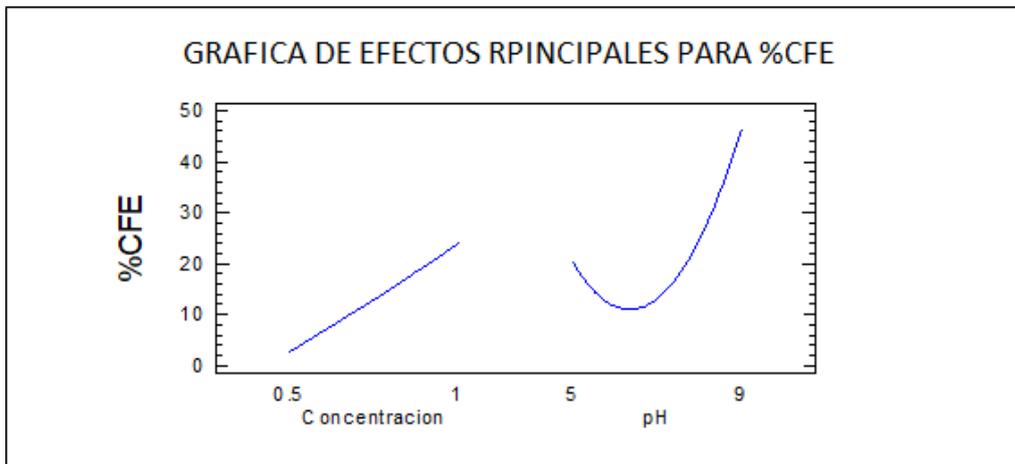
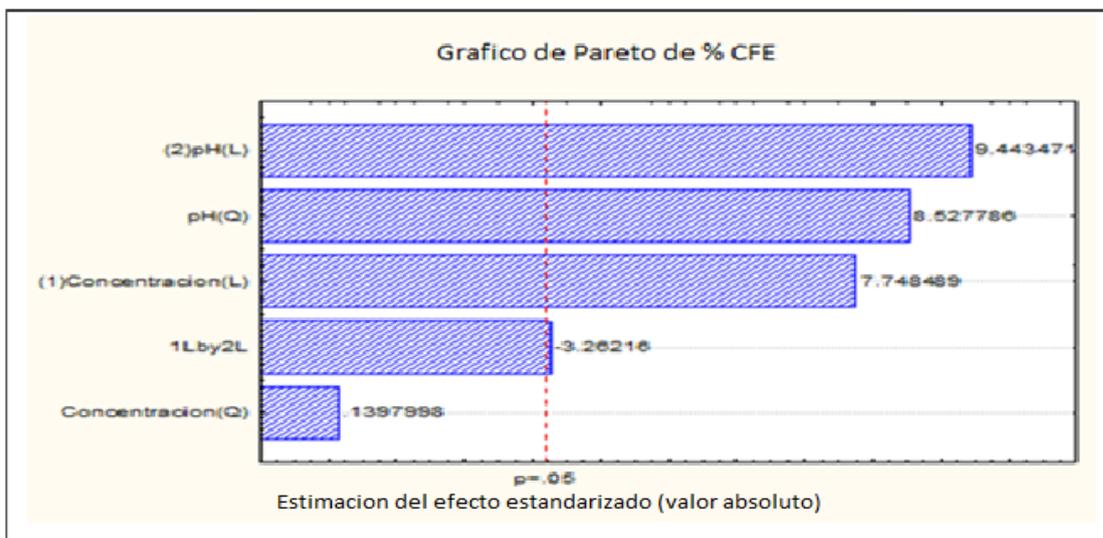


Figura 8. Gráfico de interacciones individuales sobre el % CFE

En la (figura 8) se puede observar que utilizando peso de la harina de pajuro de valor 1 y pH de valor 9, la capacidad de formación de espuma en la harina de Pajuro se incrementa en un 50%.



Análisis de Varianza para CFE (%)

R-cuadrada = 98.7267 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 96.6045 por ciento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Concentración	682.667	1	682.667	60.04	0.0045
B:pH	1014.0	1	1014.0	89.18	0.0025
AA	0.222222	1	0.222222	0.02	0.8977
AB	121.0	1	121.0	10.64	0.0471
BB	826.889	1	826.889	72.72	0.0034
Error total	34.1111	3	11.3704		
Total (corr.)	2678.89	8			

Error estándar del est. = 3.372

Error absoluto medio = 1.58025

Estadístico Durbin-Watson = 3.37948 (P=0.8772)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.747376

Figura 9. Gráfico y tabla de Pareto para interacciones individuales sobre el %CFE

Podemos ver en el gráfico de Pareto y la tabla de la (figura 9), que el pH y la concentración de harina de pajuro son estadísticamente significativos esto debido a que, las proteínas globulares producen películas adsorbentes solidas muy estables, con excelentes propiedades reológicas superficiales y con una buena difusión de las proteínas solubles hacia la interface aire – agua donde se desdoblán, se concentran y se extienden rápidamente para así rebajar la tensión superficial.

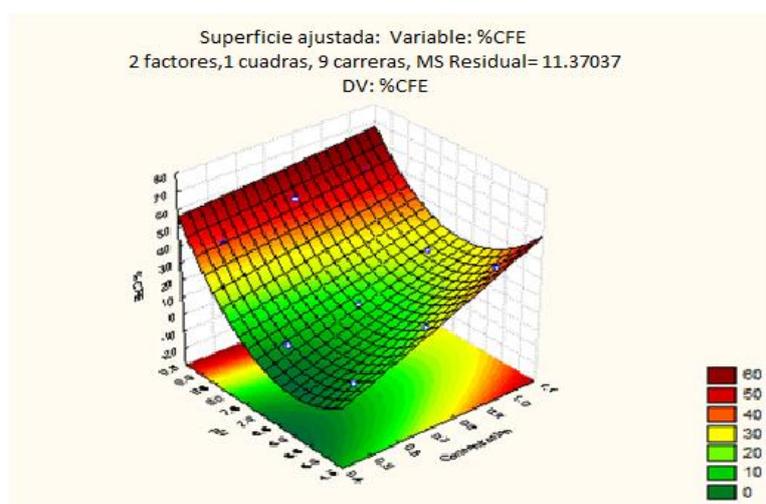


Figura 10. Gráfico de superficie para efecto del pH y concentraciones en el %CFE.

Se presenta también el gráfico en superficie de respuesta (Figura 10), donde se observa las regiones de mayor formación de espuma por efecto combinado de pH y concentración de harina de pajuro (zonas rojas).

En lo que se refiere a la capacidad espumante, dicha propiedad hace referencia a la capacidad que tienen las proteínas de formar capas estables rodeando las gotitas de gas en una fase líquida (*Rangel y col., 2003*).

Las proteínas con una buena capacidad de formar espumas deberían ser solubles en la fase acuosa, difundir y concentrarse en la fase aire-agua, extenderse parcialmente para formar capas cohesivas alrededor de las burbujas de gas y poseer una viscosidad y fuerza mecánica suficiente para prevenir la ruptura y coalescencia de las gotas (*Kinsella, 1979*).

Sin embargo, *Diwakar y col. (1996)* afirman que esta propiedad depende exclusivamente de la configuración de las moléculas de proteína. Las proteínas flexibles facilitan una buena capacidad de formar espumas, mientras que las moléculas globulares proporcionan una baja capacidad espumante porque éstas no son capaces de reducir la tensión superficial de la interfase aire-agua.

En este sentido varios autores han sugerido una relación directa entre la capacidad espumante y la solubilidad del nitrógeno de las harinas de leguminosas (*Narahana y Narasinga-Rao, 1982*).

La capacidad de formar espumas en las harinas de legumbres es una característica deseable para la producción de algunos alimentos tradicionales, tales como los productos de repostería (*Singh, 2001*).

Muchos alimentos procesados tales como la crema batida, los helados, las tortas, los merengues y el mouse, son espumas o sistemas mixtos. En todos estos productos las proteínas son uno de los principales agentes tensoactivos que ayudan en la formación y estabilidad de la fase gaseosa dispersa (*Damodaran y Paraf, 1997*).

Las espumas se pueden considerar como dispersiones de burbujas de gas en una fase continua que puede ser líquida o semisólida; la función de las proteínas, al igual que en las emulsiones, es reducir la tensión interfacial orientando sus grupos hidrofílicos hacia el exterior de la burbuja en contacto con el agua, y los hidrofóbicos hacia el interior, con el aire (*Murria y Ettelaie, 2004*).

Las proteínas son indudablemente los principales agentes espumantes en muchos productos alimentarios, debido a que son fuertemente adsorbidas en la interfase agua-gas, brindan una buena estabilización estérica y electrostática, y la película adsorbida presenta cierta coherencia estructural evitando la coalescencia y desproporción de la estructura. Sin embargo, sus propiedades de formación y estabilidad de espumas pueden ser modificadas por diversos factores.

Se pueden mencionar, los factores dependientes del medio como la concentración y solubilidad proteica, el pH, la concentración y tipo de sales e hidratos de carbono y los factores intrínsecos de la proteína como la hidrofobicidad total y superficial, la carga neta y superficial, la flexibilidad, la conformación molecular y la susceptibilidad al trabajo mecánico durante el espumado.

7.2. Estabilidad de la Espuma (EES)

El método utilizado es por disminución del volumen de espuma en el tiempo (*Wang y Kinsella, 1976*).

En las espumas recién formadas y diluidas, predominan los mecanismos de drenaje y flotación, en tanto que en las espumas poliédricas predominan la desproporción y el colapso. A medida que la película se hace más fina la rapidez de drenaje disminuye, típicamente de manera proporcional al cubo del espesor de la película e inversamente proporcional a la viscosidad de la fase continua y al área de la película. El drenaje, por lo tanto, puede ser muy lento si la fase continua contiene sustancias que aumentan la viscosidad y si las burbujas poliédricas son de gran dimensión.

Si el espesor de las películas intra-burbuja llega a disminuir por debajo del décimo de micrones (200 \AA), aparecen nuevos fenómenos que corresponden a las interacciones “coloidales” (es decir a muy poca distancia) entre las superficies. En esta situación aparecen dos efectos que se oponen: a) las fuerzas intermoleculares atractivas de Van der Waals, que actúan a corta distancia y tienden a atraer las burbujas vecinas y por lo tanto a producir drenaje de la película. b) diversas fuerzas repulsivas que se oponen al acercamiento de las burbujas y por tanto al drenaje de las películas. Estas últimas se deben a la presencia de una capa adsorbida de tensos activos sobre cada una de las superficies de una parte y de la otra de la película delgada (*Salager et al., 2003*).

Se considera como volumen total de espuma, el volumen medido a 1 minuto. En la (tabla 10). Se muestran los datos obtenidos para la estabilidad de espuma en la presente investigación.

Concentración (%)	Proteína contenida (%)	pH	Tiempo (min)	Vol. Espuma a un tiempo determinado (ml)	Total de la Espuma (ml)	EE (%)
0,5	0.088	5	1	26	30	86,67
			10	24	30	80,00
			20	22	30	73,33
			30	21	30	7,00
0,5	0.088	7	1	16	16	100,00
			10	12.5	16	78,13
			20	10	16	62,50
			30	10	16	62,50
0,5	0.088	9	1	42	42	100,00
			10	32	42	76,19
			20	32	42	76,19
			30	26	42	61,90
0,75	0.132	5	1	51	51	100,00
			10	41	51	80,39
			20	40	51	78,43
			30	39	51	76,47
0,75	0.132	7	1	32.5	32.5	100,00
			10	30	32.5	92,31
			20	30	32.5	92,31
			30	28	32.5	86,15
0,75	0.132	9	1	50	50	100,00
			10	45	50	90,00
			20	45	50	90,00
			30	40	50	80,00
1	0.176	5	1	70	70	100,00
			10	60	70	85,71
			20	54	70	77,14
			30	52	70	74,29
1	0.176	7	1	44	44	100,00
			10	41,5	44	94,32
			20	38	44	86,36
			30	36	44	81,82
1	0.176	9	1	50	50	100,00
			10	46	50	92,00
			20	45,5	50	91,00
			30	39	50	78,00

Tabla 10. Volumen para la formación de espuma

Fuente: *Elaboración propia*

En las espumas formadas por batido, la susceptibilidad al trabajo mecánico y la distribución del tamaño de burbuja son importantes. La tensión de corte puede producir cierto desdoblamiento e influir en la estructura terciaria y cuaternaria de la proteína. La naturaleza de la fase dispersa, puede ser un factor importante especialmente en burbujeo.

La estabilidad de la espuma refleja las propiedades reológicas, eléctricas y de hidratación de la película proteicas. La formación de una película estable requiere de moléculas largas (para permitir mayores interacciones en la interface fortaleciendo las películas). (*Kinsella y Phillips, 1989*).

La solubilidad sirve para obtener una funcionalidad óptima cuando se realiza una actividad espumante, es necesaria una proteína altamente soluble, ya que las proteínas con baja solubilidad tienen unas propiedades funcionales y utilidades limitadas. Su solubilidad de las proteínas del aislado de harina de pajuro son fáciles en agua por lo que tiene gran capacidad de formación de espuma y estabilidad y esto nos permite utilizarlo en diferentes productos de las industrias alimentarias como panificación, pastas, bebidas, batidos.

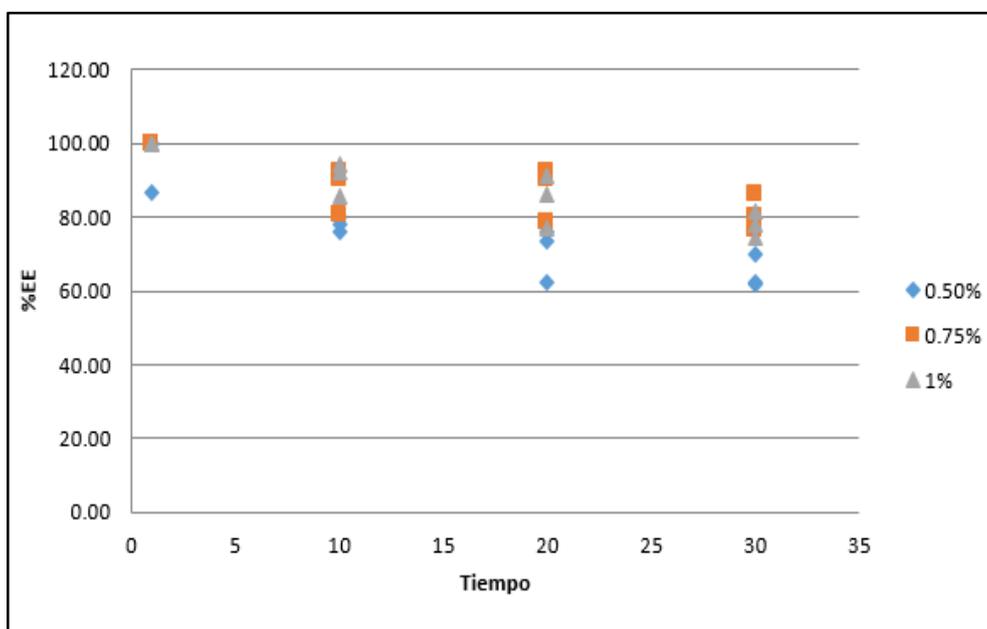


Figura 11. Efecto de la concentración de aislado de harina de pajuro sobre la estabilidad de la espuma

En la (Figura 11) se presenta la estabilidad de la espuma del aislado de la harina de pajuro con un tiempo de colapso de 30 minutos, y se observó que las más estables fueron las de concentraciones de aislado de harina de pajuro 0,75 % y 1%.

Cuando más elevada sea la concentración de aislado de harina de pajuro más resistente es la espuma. La resistencia de la espuma mejora aumentando la concentración de aislado de harina de pajuro, porque esto aumenta la viscosidad y facilita la formación de una película cohesiva formada por varias capas de moléculas proteicas en la interface (*Fennema, 2000*).

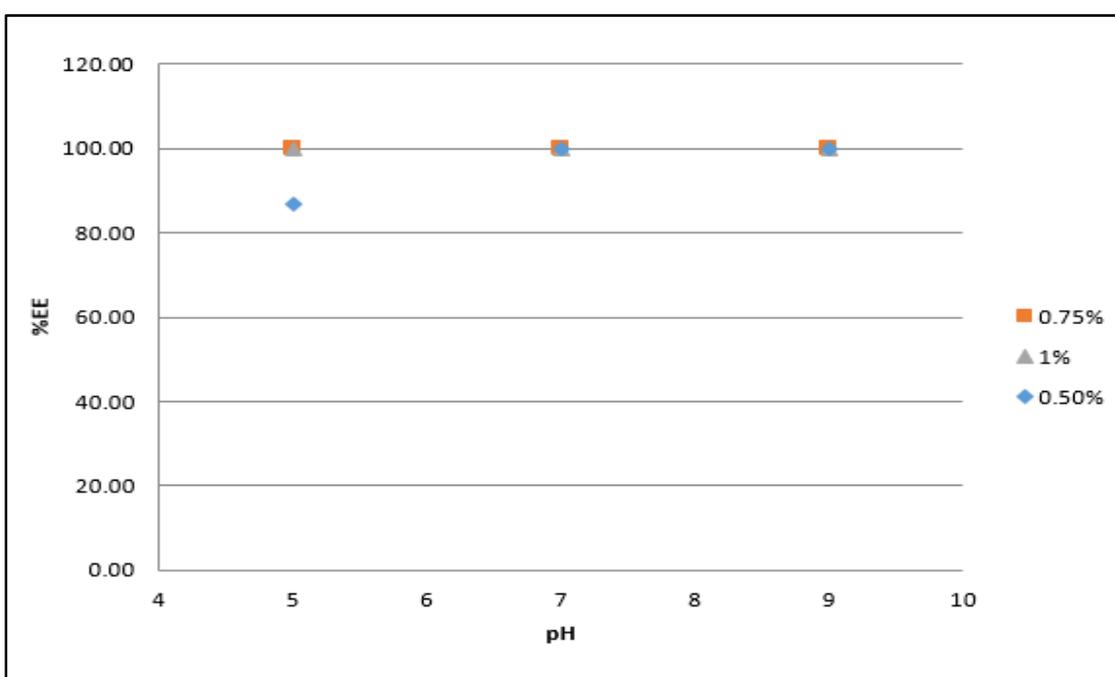


Figura 12. Efecto del pH sobre la estabilidad de la espuma.

Efecto del pH en la estabilidad de la espuma

En el aislado se presentó un ligero incremento a pH 7 y pH 9 y una disminución considerable a pH 5 en el aislado a 0,5% (figura 12) esto debido a que las propiedades espumantes tienen gran relación con la solubilidad, y de esta depende para que en la proteína se presente la interacción aire – agua y conlleve a una buena formación de la propiedad espumante. Por lo general el pH debe estar por encima pero cercano al punto isoeléctrico (*Liu, 1999*).

Según *Fennema (2000)* a pHs cercanos al punto isoeléctrico la estabilidad de la espuma es deficiente.

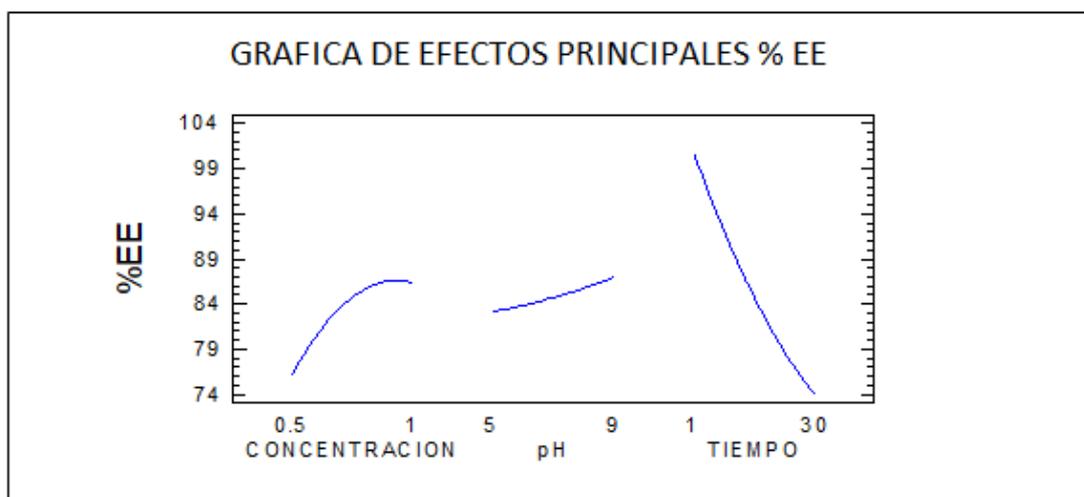
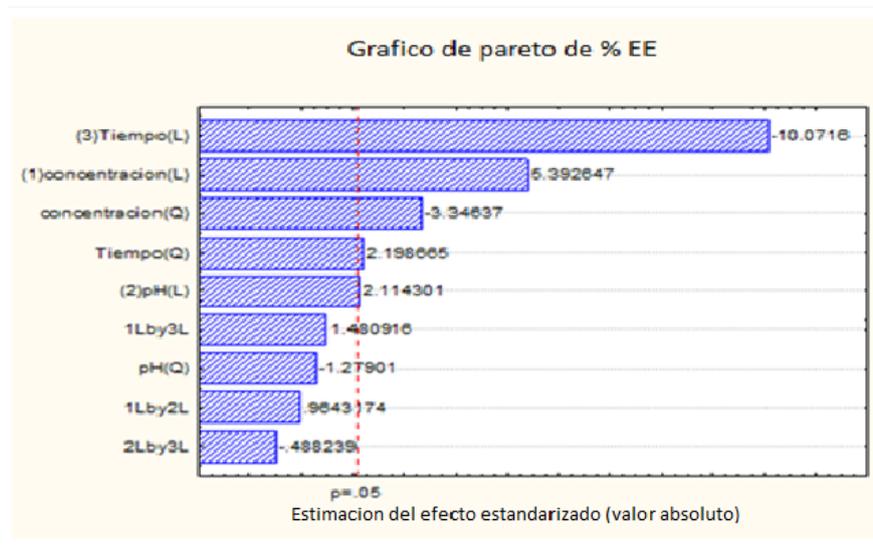


Figura 13. Gráfico de interacciones individuales sobre el %EE

En la presente investigación se usó una combinación de Concentraciones, pH y tiempo se analizó la influencia de estas variables en el % EE. Usando el software *Statgraphic Plus* se halló las interacciones individuales, las que se pueden observar en la (figura 13) se puede observar que para obtener un mejor tratamiento en lo que respecta a la estabilidad de espuma se tiene un óptimo valor aplicando concentraciones de aislado de harina de pajuro 1%, pH de 9 por un tiempo de batido de 1 minuto.

Podemos observar que a mayor concentración de aislado de harina de pajuro aumenta el %EE, con respecto al pH podemos observar que el incremento en el % EE es bajo conforme aumenta el pH, finalmente el tiempo muestra que mientras más pasa, el % EE baja.

Para confirmar estas apreciaciones podemos mostrar el grafico de Pareto (Figura 13) donde se muestra que el tiempo, concentración de aislado de harina de pajuro y pH afectan significativamente al %EES.



Análisis de Varianza para EE(%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Concentración	1620.49	1	1620.49	19.13	0.0002
B:pH	559.218	1	559.218	6.60	0.0163
C:Tiempo	4248.32	1	4248.32	50.14	0.0000
AA	589.904	1	589.904	6.96	0.0139
AB	117.831	1	117.831	1.39	0.2490
AC	634.111	1	634.111	7.48	0.0111
BB	200.167	1	200.167	2.36	0.1364
BC	220.404	1	220.404	2.60	0.1188
CC	0.00780278	1	0.00780278	0.00	0.9924
Error total	2202.87	26	84.7257		
Total (corr.)	10393.3	35			

R-cuadrada = 78.805 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 71.4682 por ciento

Error estándar del est. = 9.20465

Error absoluto medio = 5.4352

Estadístico Durbin-Watson = 2.2468 (P=0.5407)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.136093

Figura 14. Gráfico y tabla de Pareto para interacciones individuales sobre el %EE

En la figura 14 se observa todas las interacciones se grafica en un gráfico XYZ las relaciones de concentración de aislado de pajuro, pH y tiempo con respecto al %EE.

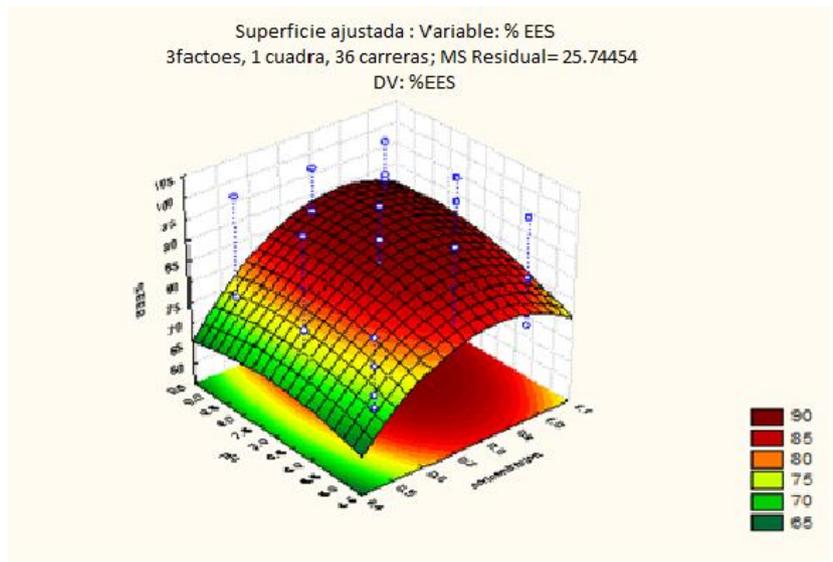


Figura 15. Gráfico de superficie para efecto del pH y concentración de aislado de harina de pajuro en el %EE

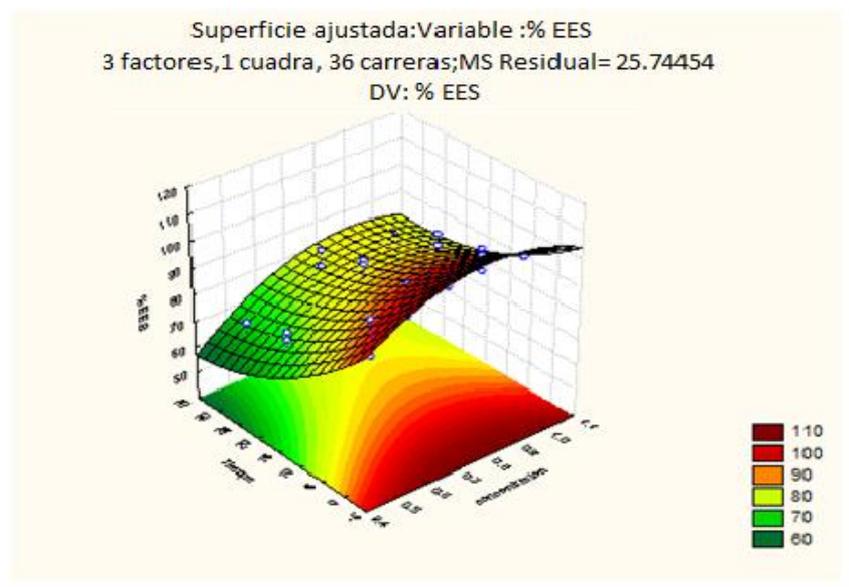


Figura 16. Gráfico de superficie para efecto del tiempo y concentración de aislado de la harina de pajuro en el %EE

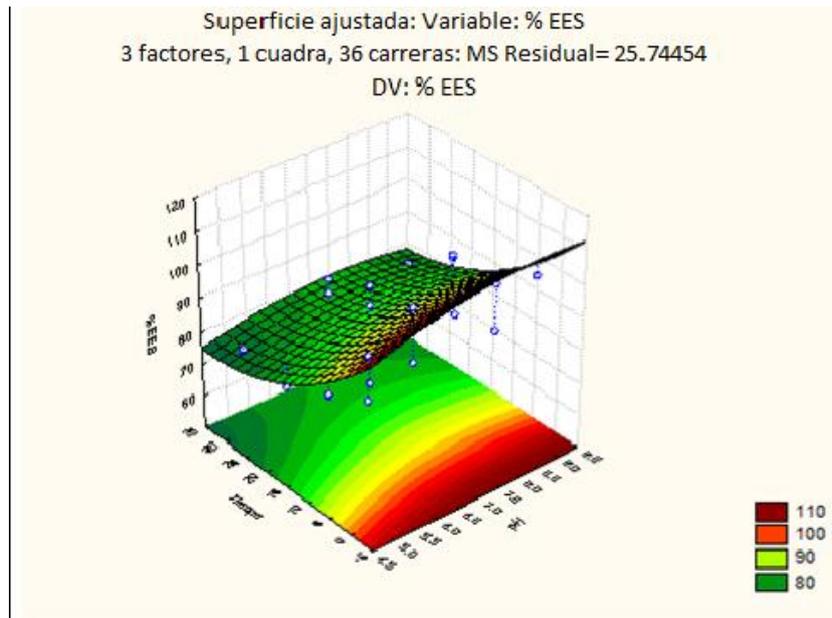


Figura 17. Gráfico de superficie para efecto del pH y tiempo en el %EE

Observamos en las (figuras de 15, 16 y 17) los gráficos de superficie de respuesta, donde muestran también las interacciones combinadas se puede afirmar que el tiempo en la Estabilidad de Espuma es la variable más importante en este tipo de estabilidad.

Cuando se formula una espuma, el interés primordial es el aumento de volumen respecto al volumen inicial y la estabilidad de la misma a lo largo del tiempo (*Cheftel et al., 1989*).

El tamaño de las burbujas también es de gran importancia para las propiedades de las espumas, ya que influyen en la textura, palatabilidad y estabilidad de los productos aireados (*Balerin et al., 2007*).

En el proceso de formación de espumas a partir de una dispersión proteica, la proteína tiene que ser rápidamente adsorbida (difundir, penetrar, reordenarse) en la interface para ejercer acción tensoactiva. Por ello es indispensable que sea soluble y flexible, que tenga un relativamente bajo peso molecular o sea disociable y que posea un adecuado balance lipofílico-hidrofílico dado por la relación hidrofobicidad superficial/ carga superficial.

Por otra parte, la estabilidad de una espuma está determinada por la tensión superficial y viscosidad de la fase continua, las propiedades de la película, la distribución del tamaño de burbuja, la temperatura y el movimiento al que se somete y la naturaleza de la fase gaseosa dispersa.

Los tres primeros factores tienen relación directa con la naturaleza de los solutos presentes en la fase acuosa (proteínas, azúcares, polisacáridos, sales). Para que se forme una película estable que rodee a la burbuja de gas, con determinadas propiedades reológicas (visco elasticidad), las moléculas de proteínas adsorbidas tienen que asociarse entre sí (ya sea por interacción hidrofóbica o puentes de sulfuro) para formar agregados de gran tamaño, mínima carga superficial y alta capacidad de absorción de agua (*Pilosof y Bartholomai, 2000*).

7.3. Viscosidad (VIS)

Se muestran los datos en la (tabla 11) donde se hace el cálculo de viscosidad.

Concentración De aislado de harina de pajuro	Proteína contenida (%)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	t prom (s)	k (centistokes/s)	Viscosidad
4%	0.704	5,05	5,03	5,02	5,03333333	0,035	0,07682892
5%	0.88	23,09	20,07	19,04	20,73333333	0,035	0,70155091
7%	1.232	35,37	35,23	34,42	35,00666667	0,035	1,21095034

Tabla 11. Viscosidad medida en la investigación

En la (tabla 11) se observa que utilizando concentraciones de aislado de harina de pajuro de 7%, tiempo de 35 segundos se obtiene una viscosidad óptima de valor (1,21095034centistokes/segundo). El aislado mantuvo valores altos de viscosidad ya que se evaluó a una velocidad de 500 rpm, debido a que la hidrólisis produce la ruptura de las moléculas proteicas y aumenta la exposición de los grupos hidrófobos de las proteínas globulares. Una elevada masa molecular debido a las interacciones proteína-proteína y un fuerte porcentaje de aminoácidos hidrófobos favorecen a la formación de las redes compactas, que incrementan el coeficiente de viscosidad de las soluciones proteicas (*Nakai, 1983*).

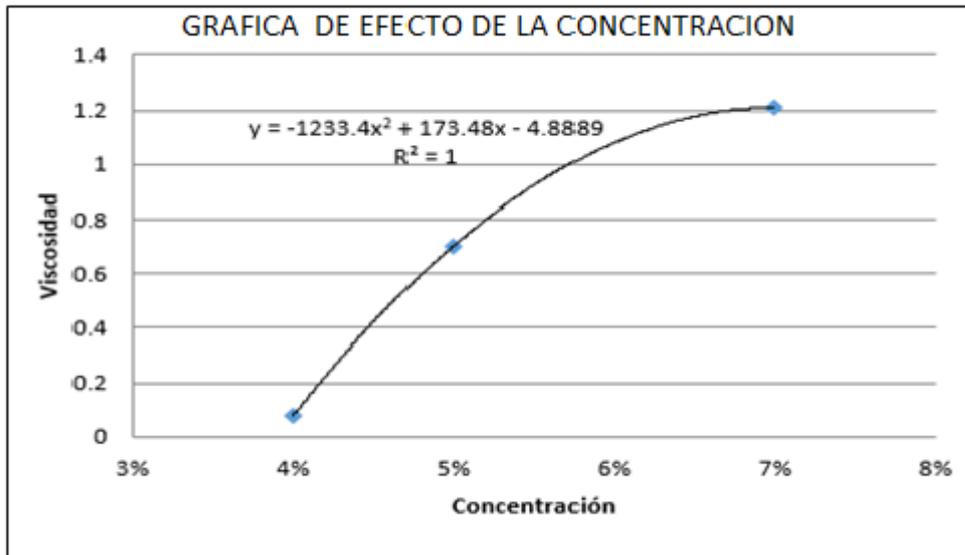


Figura 18. Gráfico de Efecto de la concentración de harina de pajuro en la viscosidad en el aislado de harina de pajuro.

La figura 18 muestra un incremento exponencial de la viscosidad en función de la concentración en el aislado ($y = -1233,4x^2 + 173,48x - 4,8889$ $R^2= 1$). Por estas interacciones el comportamiento refluidificante es, más acusado a altas concentraciones proteicas. Un incremento en la viscosidad se determinó al aumentar los valores de las concentraciones, a temperatura de 20 °C, debido al aumento de las interacciones proteína – proteína.

VIII. CONCLUSIONES

- Evaluamos la propiedad tecnofuncional (**capacidad de formación de espuma**), encontrándose como resultado que utilizando concentraciones de aislado de harina de pajuro de valor 1% donde contiene (0.176% de proteína) y pH de valor 9, la capacidad de formación de espuma en la harina de Pajuro se incrementa en un 50%.
- Evaluamos la propiedad tecno funcional (**estabilidad de formación de espuma**). La mejor estabilidad se obtuvo aplicando un tratamiento de concentraciones de aislado de harina de pajuro de 1% donde contiene (0.176% de proteína), pH de 9 por un tiempo de batido de 1 minuto.
- Evaluamos la propiedad tecnofuncional (**viscosidad**) del Harina de Pajuro, se encontró que aplicando concentraciones de aislado de harina de pajuro de 7% donde contiene (1.232% de proteína), tiempo de 35 segundos se obtiene una viscosidad optima de valor (1,21centistokes/segundo).

IX. RECOMENDACIONES

- Realizar ensayos variando la temperatura para poder observar cómo afecta ésta variable en la viscosidad.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acero Duarte, Luis Enrique. Guía para el cultivo y aprovechamiento del Chachafruto o Balú: *Erythrina edulis*. Ed. ICA. Convenio Andrés Bello 2002.

Arango et al. (2004), Obtención de un extracto proteico a partir de harina de chachafruto (*Erythrina edulis*). *Rev Univ. Salud*, 14(2)

Argot y Villada (2005); inclusión de la harina de chachafruto en la elaboración de un pastel; food; Medellín-colombia; ed. Características sensoriales.

Badui, S., (2006). Química de los alimentos. Cuarta Edición. Editorial Pearson Educación S.A. México. Cap. 1.

Balerin, C., Aymard, P., Ducept, F., Vaslin, S. y Cuvelier, G. (2007). "Effect of formulation and processing factors on the properties of liquid food foams". *Journal of Food Engineering*. v. 78, p. 802–809.

Brako & Zarucchi., (1993). Catálogo de las angiospermas y gimnospermas del Perú. Editorial Missouri Botanical Garden. Missouri.

Coultate, T., (2002). Manual de Química y Bioquímica de los Alimentos. Tercera Edición. Editorial Acribia S.A., Zaragoza España. Cap. 12.

Chau, C.F.; Cheung, P.C.; Wong, Y.S., (1997). Functional properties of protein concentrates from three Chinese indigenous legume seeds. *Journal of food science*, 49: 2500-2503.

Cheftel, J. C.; Cuq, J. L. y Lorient, D. (1989). "Proteínas alimentarias". *Propiedades funcionales*. Ed. Acribia S.A. p. 5-13.

Damodaran, S. y Paraf, A. (1997). "Food Proteins and Their Applications". Marcel Dekker, Inc. New York

Diwakar, P.; Kushwah, A.; M Kushwah, H. S. Effect of processing on the functional properties of some local varieties of horsegram (*Delichos biflorus*, L.) in Madhya Pradesh. *J. Food Sci. Technol.* 1996, 33, 150-152.

Escamilo cárdenas, 2012; El pajuro (*Erythrina edulis*): Alimento andino en extinción. Investigaciones Sociales.UNMSM. Lima, Perú, 16(28), 100-103.

Fennema, O., (2000). Química de los alimentos. 2nd ed. Zaragoza España. Editorial Acribia.

Geankopolis, C.J., (1998). Procesos de transportes y operaciones unitarias. Editorial Continental .S.A.

Gutteridge y Col., (1999). El género Erythrina posee 112 especies, Gregorio Roa , (2010), los granos que aportan proteínas ;menciona de acuerdo a la ONU,

Kinsella, J. E. Functional properties of proteins in foods: a survey. CRC Crit. Rev. Food. Sci. Nutr. 1976, 7, 219-280.

Ludeña, F., (2001). Precipitación de las proteínas de suero de queso con quitosán, evaluación y comparación de sus propiedades funcionales con las del suero concentrado por ultrafiltración. Tesis M. Sc. UNALM. PE.

Liu, K., (1999). "Soybeans: Chemistry, technology and utilization", Editorial Anaspen publication, Estados Unidos, pp. 392 – 406.

Linden, G., Lorient, D., (1994). Bioquímica Agroindustrial. Editorial Acribi S.A. Zaragoza España.

MacRitchie, F. 1998. In: Proteins at liquid interfaces; Moebius, D., Miller, R., Eds.; Elsevier: Amsterdam; 149p

Marín, 1998; Pérez, 1995. El chachafruto Erythrina eudulis T. Barrera Marín N, editor. Palmira; 1998. Barrera Marín, Nancy p.

Murria, B. y Ettelaie, R. (2004). "Foam stability: proteins and nanoparticles". Current Opinion in Colloid & Interface Science. v. 9, p. 314–32.

Nakai, S., (1983). "Structure-function relationship of food proteins with an emphasis on the importance of protein hydrophobicity", J. Agric. Food Chem., 1(31), 676.

Narahana, K.; Narasinga-Rao, M. S. Functional properties of raw and heat processed winged bean flour. *J. Food Sci.* 1982, 47, 1534-1540.

Pilosof, A. M. y Bartholomai, G.B. (2000). "Caracterización funcional estructural de proteínas". Buenos Aires, Ed. Cytod-Eudeba.

Primo, E., (1997). *Química de los alimentos*. Editorial Síntesis S.A. España.
Sosa, C., (2000). Influencia de dos métodos de extracción de un aislado proteico de lupino (*Lupinus mutabilis*) en sus propiedades funcionales. Tesis M. Sc. UNALM.

Rangel, A.; Domont, G. B.; Pedrosa, C.; Ferreira, S. T. Functional properties of purified vicilins from cowpea (*Vigna unguiculata*) and pea (*Pisum sativum*), and cowpea protein isolate. *J. Agric. Food Chem.* 2003, 51, 5792–5797.

Salager, J. L; Anderz, J. M. y Forgiarini, A. (2003). "Influencia de la formulación sobre las espumas". Laboratorio de Formulaciones, Interfase, Reología y Procesos. Cuaderno FIRP N° 263.

Sathe, S; Salunke, D., (1981). Functional properties of the great Northern Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Proteins: emulsion, foaming, viscosity and gelation properties. *Journal of food science*, 46:71-74.

Singh, U.; Veraputhaporan, W.; Rao, P.; Jambunathan, R. Physicochemical characteristics of pigeonpea and mungbean starches and their noodle quality. *J. Food Sci.* 1989, 54, 1293-1297.

Singh, U.; Singh, B. Functional properties of sorghum peanut composite flour. *Cereal Chem.* 1991, 68, 460–463.

Singh, U.; Seetha, R. Oil absorption and sensory properties of a snack food from chickpea genotypes. *J. Food. Sci.* 1993, 58, 853-855.

Singh, U. Functional properties of grain legume flours. *J. Food Sci. Technol.* 2001, 38, 191-199.

Tang, S.; Hettiarachchy, N. S.; Horax, R. and Eswaranandam, S. 2003. Physicochemical properties and functionality of rice bran protein hydrolyzate prepared from heat-stabilized defatted rice bran with the aid of enzymes. *Journal of Food Science*; 68 (1): 152-157.

Umaña et al. (2005), harinas alternativas vegetales libres de gluten, Facultad de Ciencias Administrativas; Medellín, Colombia, 6-20.

Wagner, J. R. 2000. Capítulo III. Propiedades superficiales. In: Pilosof A. M. R. y Bartholomai G.B. *Caracterización funcional y estructural de proteínas*. Ed. CYTED-EUDEBA: 41-74.

Zavaleta et al. (2006) V., Sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum* L.) con harina y pasta de pajuro (*Erythrina edulis*) para la elaboración de pan enriquecido. *Rev. Aporte Santiaguino*, 3 (1). ISSN 2070-836X Amazonas, Perú.

XI. ANEXOS.



1. Selección de grano.



2. Inmersión en ácido cítrico.



3. Cortado de grano.



4. secado.



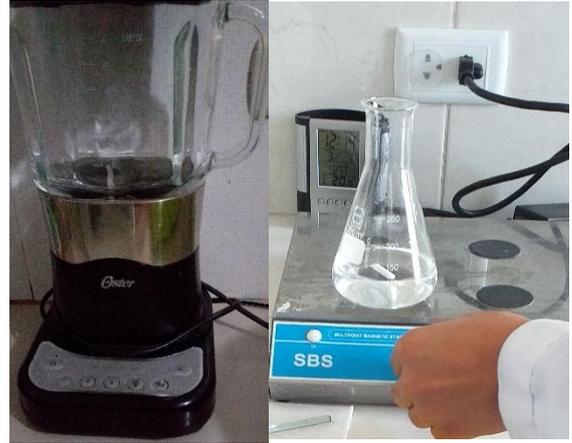
5. Obtención de harina.



6. Determinación de humedad



7. Preparado de muestras.



8. Equipos a utilizar.



9. Preparación de soluciones Buffer.

10. Certificado de calidad total análisis de proteínas.



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



INFORME DE ENSAYOS

N° 006211 - 2019

SOLICITANTE : KAREN LISETH TINGAL CHILÓN
DIRECCIÓN LEGAL : DIRECCIÓN
RUC: 47910771 Teléfono: 991347174
PRODUCTO : HARINA DE PAJUO
NÚMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA. : S.I.
CANTIDAD RECIBIDA : 126,9 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S) : S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN : Envasado, la muestra ingresa en bolsa sellada
SOLICITUD DE SERVICIO : S/S N°EN-004014 -2019
REFERENCIA : ACEPTACION TELEFONICA
FECHA DE RECEPCIÓN : 05/08/2019
ENSAYOS SOLICITADOS : FÍSICO/QUÍMICO
PERÍODO DE CUSTODIA : No aplica

RESULTADOS :

ENSAYOS FÍSICOS/QUÍMICOS :

ALCANCE : N.A.

ENSAYOS	RESULTADO
L- Proteína Total (g / 100 g de muestra original) (Factor: 6.25)	17,6

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO :

1.- AOAC 920.87 Cap. 32, Pág. 14, 20th Edition 2016

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 06/08/2019 Al 12/08/2019.

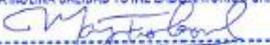
ADVERTENCIA :

- 1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del Solicitante.
- 2.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de La Molina. Calidad Total - Laboratorios.
- 3.- Valido sólo para la cantidad recibida. No es un Certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.

La Molina, 12 de Agosto de 2019



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS-UNALM


Ing. Mg. Quím. Mary Flor Césare Coral
DIRECTORA TÉCNICA
C.Q.P. N° 635

Pág 1/1