

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**INFLUENCIA DEL pH Y TIEMPO EN LA EXTRACCIÓN DEL
AISLADO PROTEICO DE BASUL (*Erythrina edulis*)**

Presentado por:

Bach. EUFEMIA ORIHUELA ROCHA

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

ANDAHUAYLAS - APURÍMAC - PERÚ

2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



Presentado por:

Bach. EUFEMIA ORIHUELA ROCHA

**INFLUENCIA DEL pH Y TIEMPO EN LA EXTRACCIÓN DEL
AISLADO PROTEICO DE BASUL (*Erythrina edulis*)**

Asesor:

Ing. GINA GENOVEVA TORO RODRIGUEZ

ANDAHUAYLAS - APURÍMAC - PERÚ

2017



Universidad Nacional José María Arguedas

Identidad y Excelencia para el Trabajo Productivo y el Desarrollo

FACULTAD DE INGENIERIA

APROBACIÓN DEL ASESOR

Quien suscribe:

Ingeniero Agroindustrial **GINA GENOVEVA TORO RODRIGUEZ**, Identificado con CIP N° 77977, docente **Asociado a Tiempo Completo**, adscrito al Departamento Académico de **Ingeniería y Tecnología Agroindustrial**, por la presente:

CERTIFICA,

Que, la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **EUFEMIA ORIHUELA ROCHA**; ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado: **"INFLUENCIA DEL pH Y TIEMPO EN LA EXTRACCIÓN DEL AISLADO PROTEICO DE BASUL (*Erythrina edulis*)"**, para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Andahuaylas, 27 de enero del 2017


.....
Ing. Gina Genoveva Toro Rodriguez
ASESORA DE TESIS


.....
Br. Eufemia Orihuela Rocha
TESISTA

Sede Administrativa Central: Jr. Juan Francisco Ramos N° 380 - Andahuaylas, Teléfono: 083-421394
Sede Académica - Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial: Av. 28 de Julio N° 1103 - Talavera.
Sede Académica - Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas: Av. Sol Naciente s/n - San Jerónimo.



Universidad Nacional José María Arguedas

Identidad y Excelencia para el Trabajo Productivo y el Desarrollo

FACULTAD DE INGENIERIA

APROBACIÓN DEL JURADO DICTAMINADOR

LA TESIS: "INFLUENCIA DEL pH Y TIEMPO EN LA EXTRACCIÓN DEL AISLADO PROTEICO DE BASUL (*Erythrina edulis*)"; para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, ha sido evaluada por el jurado dictaminador conformado por:

PRESIDENTE: Ing. MSc. Julio César Sichez Muñoz

SECRETARIO: Ing. Fredy Taipe Pardo

VOCAL: Ing. David Juan Ramos Huallpartupa

Habiendo sido aprobado por UNANIMIDAD, en la ciudad de Andahuaylas el día 20 de diciembre del 2016.

Andahuaylas, 27 de enero del 2017

Ing. MSc. Julio César Sichez Muñoz
PRESIDENTE DEL JURADO EVALUADOR

Ing. Fredy Taipe Pardo
SECRETARIO DEL JURADO DICTAMINADOR

Ing. David Juan Ramos Huallpartupa
VOCAL DEL JURADO DICTAMINADOR

Sede Administrativa Central: Jr. Juan Francisco Ramos Nº 380 - Andahuaylas, Teléfono: 083-421394
Sede Académica - Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial: Av. 28 de Julio Nº 1103 - Talavera.
Sede Académica - Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas: Av. Sol Naciente s/n - San Jerónimo.



FACULTAD DE INGENIERIA

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En el salón de grados de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Sede Académica Santa Rosa de la Universidad Nacional José María Arguedas de la ciudad de Andahuaylas, siendo las cinco de la tarde del día martes veinte de diciembre del año dos mil dieciséis; se reunieron el **MSc. Ing. Julio Cesar Sichez Muñoz**, **Ing. Fredy Taipe Pardo** y el **Ing. David Juan Ramos Huallpartupa**; integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final de Tesis intitulado: "Influencia del pH y tiempo en la extracción del aislado proteico de basul (*Erythrina edulis*)", cuya autora es la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **Eufemia Orihuela Rocha**, con el propósito de proceder a la sustentación y defensa de dicha tesis.

Luego de la sustentación y defensa de la tesista, el Jurado Evaluador **ACORDO:** APROBAR por UNANIMIDAD a la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **ORIHUELA ROCHA EUFEMIA** obteniendo la siguiente calificación y mención:

Nota escala vigesimal		Mención
Números	Letras	
16	Dieciséis	Muy Bueno

En señal de conformidad, se procedió a la firma de la presente acta en 03 ejemplares.

MSc. Ing. Julio Cesar Sichez Muñoz
Presidente del Jurado Evaluador

Ing. Fredy Taipe Pardo.
Primer Miembro del Jurado Evaluador

Ing. David Juan Ramos Huallpartupa.
Segundo Miembro del Jurado Evaluador

DEDICATORIA

*A **Dios** quién supo guiarme y darme fuerzas para alcanzar mis objetivos, a mis queridos padres **Lucia y Román**, por brindarme el apoyo incondicional a quienes les debo todo lo que soy, a la razón de mi vida **Khaitlyn Cielo** quien me da valor para seguir adelante y a mis hermanos por su comprensión y motivación.*

Orihuela Rocha, Eufemia

EPÍGRAFE

“Si no puedes volar entonces corre, si no puedes correr entonces camina, si no puedes caminar entonces arrástrate, pero sea lo que sea que hagas, sigue moviéndote hacia adelante”.

Martin Luthr King

AGRADECIMIENTO

- ✓ A la Universidad Nacional José María Arguedas, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EPIA) que me abrió las puertas para mi formación profesional.
- ✓ A mi asesora Ing. Toro Rodriguez, Gina Genoveva por dedicarme su tiempo para la realización de la investigación por sus aportes académicos, consejos y recomendaciones valiosas durante el desarrollo de la Tesis, considero uno de los mejores docentes de la EPIA.
- ✓ A los catedráticos: Ing. MSc. Julio César Sichez Muñoz, Ing. Fredy Taipe Pardo, Ing. David Juan Ramos Huallpartupa, Ing. MSc. Fidelia Tapia Tadeo, Ing. Juvenal Rivas Leguía, Ing. MSc. Carlos Alberto Ligarda Samanez, Ing. MSc. David Choque Quispe, Ing. Mg. Abel Manuel Serna Herrera, Ing. MSc. Thomas Ancco Vizcarra a todos por contribuir en mi formación profesional y a la Bach. Violeta Yupanqui Huacre por su apoyo incondicional.
- ✓ A mis primas, amigos y compañeros Julia, Herlinda, Julio César, Yeny, Maribel, Elizabeth, Iván, Pedro, Rider, Mariluz, Raquel, Yasminia, Sunilda, Yudy Vanessa, Aydee, Aydi, Haydee, Eber Alex, Anny, Diego, Román, Cristian, Abel, Leydi Diana, quienes sin dudar me colaboraron en el desarrollo de la Tesis.

ÍNDICE

	PÁGINA
DEDICATORIA.....	iv
EPÍGRAFE.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
ABREVIATURAS Y UNIDADES.....	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Antecedentes.....	3
2.2. El basul.....	6
2.2.1. Descripción botánica.....	7
2.2.2. Clasificación taxonómica del basul.....	8
2.3. Importancia de basul (<i>Erythrina edulis</i>).....	8
2.3.1. Funciones de los aminoácidos esenciales.....	10
2.3.2. Funciones de los aminoácidos no esenciales.....	14
2.3.3. Funciones de los minerales	17
2.4. Las proteínas.....	19
2.4.1. Aminoácidos.....	20
2.4.2. Estructura y conformación protéica.....	21
2.5. Desnaturalización de las proteínas.....	25
2.6. Efectos en la desnaturalización de la proteína.....	26
2.7. Funciones de las proteínas.....	26

2.8.	Importancia de las proteínas en la industria alimentaria.....	26
2.9.	Método de extracción de proteína.....	29
2.9.1.	Extracción básica/alcalina.....	29
2.10.	Propiedades tecnofuncionales de las proteínas.....	29
2.10.1.	Solubilidad.....	30
2.10.2.	Absorción de agua y grasa.....	31
2.10.3.	Capacidad de retención de agua (CRA).....	32
2.10.4.	Capacidad de Emulsificación (CE).....	33
2.10.5.	Capacidad de Formación de Espuma (CFE).....	33
	CAPÍTULO 3 MATERIALES Y METODOLOGIA.....	35
3.1.	MATERIALES.....	35
3.1.1.	Lugar de ejecución.....	35
3.1.2.	Material de estudio.....	35
1.	Universo y/o población.....	35
2.	Muestra.....	35
3.1.3.	Instrumentos, materiales, reactivos e insumos de laboratorio.....	36
1.	Instrumentos.....	36
2.	Materiales.....	36
3.	Reactivos e insumos.....	37
3.2.	METODOLOGÍA.....	37
3.2.1.	Métodos y técnicas utilizadas para extraer las proteínas presentes de basul a pH de 9 y 11 y tiempos de 60 y 90 minutos.....	37
1.	Preparación de la harina de basul.....	37
2.	Caracterización química de la harina de basul.....	38
3.	Descripción para extraer las proteínas del basul.....	39
4.	Descripción de diseño experimental para la extracción de las proteínas del basul a pH de 9 y 11 y tiempos de 60 y 90 minutos.....	41
3.2.2.	Métodos y técnicas utilizadas para cuantificar las proteínas	

presentes en el aislado proteico de basul (<i>Erythrina edulis</i>).....	43
1. Determinación de humedad del aislado proteico de basul.....	43
2. Cuantificación de proteínas presentes en el aislado proteico de basul.....	43
3. Determinación de rendimiento.....	43
3.2.3. Métodos y técnicas utilizadas para evaluar las propiedades tecnofuncionales del aislado proteico de basul (<i>Erythrina</i> <i>edulis</i>) como son la (CRA), (CE) y (CEF).....	44
1. Capacidad de retención de agua (CRA).....	44
2. Capacidad emulsificante (CE).....	44
3. Capacidad de formación de espuma (CFE).....	45
3.3. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	45
3.3.1. Diseño factorial.....	45
CAPÍTULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	47
4.1. Resultados de la extracción de proteínas de basul a pH de 9 y 11 y tiempos de 60 y 90 minutos.....	47
4.2. Resultados de la cuantificación de las proteínas presentes en el aislado proteico de basul.....	50
4.2.1. Rendimiento en % del aislado proteico de basul.....	55
4.3. Resultados de la evaluación de las propiedades tecnofuncionales del aislado proteico de basul (<i>Erythrina edulis</i> .).....	57
4.3.1. Capacidad de retención de agua(CRA).....	58
4.3.2. Capacidad emulsificante(CE).....	61
4.3.3. Capacidad de formación de espuma (CFE).....	65
CONCLUSIONES.....	70
RECOMENDACIONES.....	71
SUGERENCIAS.....	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
ANEXOS.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Composición química de las semillas de basul en (g/100 g muestra seca).	9
Tabla 2. Composición de aminoácidos esenciales de las semillas de basul en (g/100 g muestra seca).	10
Tabla 3. Composición de aminoácidos no esenciales de las semillas de basul en (g/100 g muestra seca).	13
Tabla 4. Composición de minerales de las semillas de basul en (mg/100 g muestra seca).	17
Tabla 5. Composición de aminoácidos de basul comparado con otras le guminosas (g AA/16gN).	19
Tabla 6. Propiedades tecnofuncionales de las proteínas alimentarias en los alimentos.	28
Tabla 7. Extracción de proteínas de basul en diferentes tratamientos.	47
Tabla 8. ANOVA para el rendimiento por pH y tiempo en la extracción de proteína de basul.	48
Tabla 9. Contenido de proteína y humedad en diferentes tratamientos del aislado proteico de basul.	50
Tabla 10. ANOVA por pH y tiempo del contenido de proteína del aislado proteico de basul.	51
Tabla 11. ANOVA para el contenido de humedad en la proteína de basul.	53
Tabla 12. Rendimiento en diferentes tratamientos.	55
Tabla 13. ANOVA para rendimiento del aislado proteico de basul.	55
Tabla 14. Capacidad de retención de agua CRA (g agua/g proteína).	58
Tabla 15. ANOVA respecto a la CRA del aislado proteico de basul (g de agua/g de proteína).	59
Tabla 16. Capacidad emulsificante (CE) (ml aceite/50 ml solución).	61
Tabla 17. ANOVA para (CE) del aislado proteico de basul (ml de aceite/50 ml de solución).	62
Tabla 18. Capacidad de formación de espuma CFE (%).	65
Tabla 19. Análisis de varianza ANOVA para la (CFE) del aislado proteico de basul.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Fórmula general de un aminoácido.....	20
Figura 2. Niveles de organización de las proteínas.....	24
Figura 3. Desnaturalización de las proteínas.....	25
Figura 4. Etapas de la formación de espuma.....	34
Figura 5. Diagrama de flujo para la extracción del aislado proteico de basul. ..	40
Figura 6. Diagrama de flujo para el diseño experimental del aislado proteico de basul.....	42
Figura 7. Variables independientes y dependientes de la investigación.....	46
Figura 8. Interacción de los factores pH y tiempo respecto al rendimiento de extracción.....	49
Figura 9. Interacción respecto al contenido de proteína.....	52
Figura 10. Interacción respecto al contenido de Humedad.....	53
Figura 11. Interacción de pH y tiempo respecto a humedad.....	54
Figura 12. Interacción de factor pH y tiempo respecto al rendimiento.....	56
Figura 13. Interacción de factores respecto al rendimiento del aislado proteico.....	56
Figura 14. Interacción pH con el tiempo respecto a CRA.....	59
Figura 15. Efectos del pH y tiempo respecto a (CRA).....	60
Figura 16. Interacción del pH con el tiempo respecto a CE.....	63
Figura 17. Interacción para CE.....	63
Figura 18. Interacción del pH con el tiempo respecto a CFE.....	67
Figura 19. Interacción del pH con el tiempo respecto a CFE.....	67

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
Anexo 1. Fotos de la especie basul (<i>Erythrina edulis</i>).....	79
Anexo 2. Fotos de realización de la parte experimental.....	81
Anexo 3. Determinación de humedad de la harina y del aislado proteico de basul.....	91
Anexo 4. Determinación de proteínas de harina y del aislado de basul por el método de kjeldahl.	92
Anexo 5. Contenido de proteína y humedad en la harina de basul (<i>Erythrina edulis</i>).....	94
Anexo 6. Ecuación de optimización de porcentaje de proteína.	94
Anexo 7. Tukey para rendimiento por pH de extracción de proteína de basul..	95
Anexo 8. Tukey para rendimiento por tiempo de extracción de proteína de basul.	96
Anexo 9. Tukey para proteína.....	97
Anexo 10. Tukey para humedad.	98
Anexo 11. Efectos de factores respecto a la humedad.	99
Anexo 12. Tukey para rendimiento.	100
Anexo 13. Tukey para rendimiento por pH.....	101
Anexo 14. Caja para el rendimiento.	102
Anexo 15. Efectos de factores respecto al rendimiento.....	103
Anexo 16. Tukey respecto a la CRA del aislado proteico de basul (g de agua/g de proteína).....	104
Anexo 17. Caja del pH y tiempo respecto a la CRA del aislado proteico de basul (g de agua/g de proteína).	105
Anexo 18. Tukey para la (CE) del aislado de basul (ml de aceite/50 ml de solución).....	106
Anexo 19. Efecto de caja para (CE) del aislado proteico de basul (ml de aceite/50 ml de solución).....	107
Anexo 20. Tukey para la (CFE) por pH y tiempo del aislado proteico de basul (%).	108
Anexo 21. Efectos de pH y tiempo para la (CFE) del aislado proteico de basul (%).	109
Anexo 22. Matriz de consistencia.	110

ABREVIATURAS Y UNIDADES

A	:	Basul (<i>Erythrina edulis</i>).
AA	:	Secuencia de aminoácidos
ANOVA	:	Análisis de varianza.
B	:	Aislado proteico de Basul (<i>Erythrina edulis</i>).
Bm	:	Baño maría.
CRA	:	Capacidad de retención de agua.
CE	:	Capacidad emulsificante.
CEF	:	Capacidad de formación de espuma.
-COOH	:	Ácido Carboxílico
Cm	:	Centímetros.
EPIA	:	Escuela profesional de ingeniería agroindustrial.
FAO	:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
g	:	Gramos.
GI	:	Grados de libertad.
HCl	:	Ácido clorhídrico.
H₂SO₄	:	Ácido sulfúrico
-H	:	Átomo de hidrógeno
HGH	:	Hormona del Crecimiento
kg	:	Kilógramo
l	:	Litros.
M	:	Molar.
m	:	Metros.
ml	:	Mililitros.
mg	:	Miligramos.
min	:	Minuto.
m.s.n.m	:	Metros sobre el nivel del mar.
ml/s	:	Mililitros /segundo.
N	:	Normalidad.
NTP	:	Norma Técnica Peruana
NaOH	:	Hidróxido de sodio.
NaCl	:	Cloruro de sodio.
-NH-	:	Enlace peptídico y el grupo

-NH₂	:	Grupo amino
PDI	:	Índice de proteína dispersible.
pH	:	Potencial de hidrogeniones.
p / v	:	Peso/Volumen
-R	:	Radical
rpm	:	Revoluciones por minuto
SNC	:	Sistema Nervioso Central.
s	:	Segundo
OMS	:	Organización Mundial de Salud
T	:	Temperatura (°C)
UNAM	:	Universidad Nacional Autónoma de México.
v	:	Volumen final en litros.
Wt	:	Peso de la muestra en g

RESUMEN

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en los laboratorios de química y procesos agroindustriales de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas (UNAJMA), ubicada en el barrio de Santa Rosa del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas del departamento de Apurímac, se utilizó los frutos de basul (*Erythrina edulis*) de la comunidad de San Pedro de Umaca, distrito de Ocobamba, provincia de Chincheros.

La investigación presento como objetivo general evaluar la influencia del pH y tiempo en la extracción de aislado proteico de basul; a partir de la harina de basul (*Erythrina edulis*) sin desgrasar, se realizó un análisis proximal del contenido de proteína y humedad por el método descrito por Kjeldahl, luego se realizó la extracción del aislado proteico propuesta por (Arango *et al.*, 2012), para la cuantificación de proteínas se utilizó el método Kjeldahl y las propiedades tecnofuncionales del aislado proteico: La (CRA) se determinó por el método descrito por (Rivera, 2006), la (CE) por el método de (Armenta, 2012) y la (CFE) se siguió el método descrito (Silva *et al.* 2015).

Para evaluar la influencia de los factores en la extracción se aplicó un diseño experimental de dos factores pH y tiempo, dos niveles cada uno con valores de pH de (9,11) y tiempos (60,90 minutos) con 3 repeticiones, los resultados se analizaron estadísticamente mediante el uso de análisis de varianza, prueba de comparación de medias de Tukey a un nivel de confianza del 95 % utilizándose el software estadísticos STATGRAPHICS Plus 5.1. A partir de la harina sin desgrasar con un análisis proximal de: Humedad $9,76 \pm 0,0828$ %, proteínas de $17,97 \pm 0,1912$ %; se logró extraer el aislado proteico con rendimiento de $14,7324$ % en condiciones a pH de 9 y tiempo de 90 minutos; demostró que el pH tiene un efecto estadísticamente significativo a un nivel de significancia del 95 %; sin embargo, el tiempo no influye en la extracción de aislado proteico de basul. El aislado proteico reporto un análisis proximal de proteína de $68,967 \pm 6,0281$ % y humedad $9,659 \pm 0,5453$ %. Se evaluó las propiedades tecnofuncionales del aislado proteico del basul la CRA fue de 2,75 g agua/g proteína, la (CE) de 0,320 ml de aceite/50 ml de solución y la (CFE) fue de 68 %.

Palabras claves: Basul (*Erythrina edulis*), aislado proteico, pH, tiempo y extracción.

ABSTRACT

The research was carried out in the laboratories of chemistry and agroindustrial processes of the professional School of Agroindustrial Engineering of the Universidad Nacional "José María Arguedas" (UNAJMA), located in the Santa Rosa district of Talavera, province of Andahuaylas from department of Apurímac, we used the fruits of basul (*Erythrina edulis*) from the community of San Pedro de Umaca, district of Ocobamba, province of Chincheros.

The objective of the present investigation was to evaluate the influence of pH and time on the extraction of protein isolate from basul; From the basul meal (*Erythrina edulis*) without defatting, a proximal analysis of protein and moisture content was performed by the method described by Kjeldahl, then extraction of the protein isolate proposed by (Arango *et al.*, 2012), for the quantification of proteins the Kjeldahl method and the functional properties of the protein isolate were used: (CRA) was determined by the method described by (Rivera, 2006), (CE) by the method of (Armenta, 2012) and (CFE) followed the method described (Silva *et al.* 2015).

To evaluate the influence of the factors on the extraction, an experimental design of two pH and time factors was applied, two levels each with pH values of (9, 11) and times (60, 90 minutes) with 3 replicates, the results Were analyzed statistically by using analysis of variance, Tukey's mean comparison test at a 95% confidence level using the statistical software STATGRAPHICS Plus 5.1. From the non-defatted flour with a proximal analysis of: Moisture $9.76 \pm 0.0828\%$, proteins of $17.97 \pm 0.1912\%$; It was possible to extract the protein isolate with yield of 14.7324% under conditions at pH of 9 and time of 90 minutes; Showed that pH has a statistically significant effect at a significance level of 95%; However, time does not influence the extraction of basul protein isolate. The protein isolate reported a proximal protein analysis of $68.967 \pm 6.0281\%$ and moisture $9.659 \pm 0.5453\%$. We evaluated the tecnofunctional properties of the protein isolate basul the CRA was 2.75 g water/g protein, the (CE) 0.320 ml oil / 50 ml solution and the (CFE) was 68%.

Key words: Basul (*Erythrina edulis*), protein isolate, pH, time and extraction.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Los aislados proteicos son importantes y en los últimos años se está desarrollando múltiples procesos de extracción y mejora de estas sobre todo de origen vegetal. Estos se utilizan en la tecnología de alimentos para proporcionar o mejorar el perfil de aminoácidos, uso de sus propiedades funcionales tecnológicas y su menor costo comparado con la proteína de origen animal. Los aislados proteicos tiene propiedades funcionales como su capacidad de retención de agua, capacidad emulsificante, capacidad de formación de espuma, solubilización y absorción de agua y grasa, estas propiedades se utilizan como insumo para mejorar la apariencia, gusto, textura de un alimento (Rivera, 2006). La mayoría de organizaciones de salud recomiendan incrementar el consumo de proteínas vegetales en alimentación humana (infantil o tratamiento clínico) las cuales reducen los niveles de colesterol, enfermedad coronaria, diabetes, obesidad, desnutrición crónica y entre otros (FAO y OMS, 2007).

Se considera que mientras menos solubles sean las proteínas más desnaturalizado serán los aislados proteicos, por eso solo obtener un mayor porcentaje de proteína sino asegurar que esta no sufra alteraciones, de allí la importancia de elegir el método y solvente apropiados, ya que una mala decisión implica un daño intenso y modificación notoria de las propiedades funcionales de las proteínas. En el proceso de obtención de un extracto proteico se tienen en cuenta una serie de parámetros, como el tipo de solvente, el tiempo de exposición, el pH, la relación cantidad de muestra/volumen de solvente, entre otros, que permiten separar la proteína en una forma más eficiente. Muchas proteínas tienen una actividad biológica en un intervalo limitado de pH y de temperatura, si se exponen las proteínas a pH y temperaturas extremas ocurre la desnaturalización, que es la causa de la disminución de la solubilidad (Arango *et al.*, 2012).

Considerando investigaciones la importancia de proteínas y especialmente de los aislados proteicos, el basul (*Erythrina edulis*) es un árbol multipropósito, cuya principal función está relacionada con la seguridad alimentaria, debido a que su semilla es rica en vitaminas, minerales y especialmente un 23% de proteínas (Peralta, 2014).

Para lo cual se ha planteado lo siguiente:

El problema, la hipótesis y los objetivos de la tesis.

1.1. Problema de la investigación

¿De qué manera influye el pH y tiempo en la extracción de aislado proteico de basul (*Erythrina edulis*)?

1.2. Hipótesis

El acondicionamiento a diferentes pH y diferentes tiempos influye significativamente en la extracción de aislado proteico de basul (*Erythrina edulis*).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General.

Evaluar la Influencia del pH y tiempo en la extracción de aislado proteico de basul (*Erythrina edulis*).

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Extraer las proteínas del basul a pH de 9 y 11 y tiempos de 60 y 90 minutos.
- ✓ Cuantificar proteínas presentes en el aislado proteico de basul.
- ✓ Evaluar las propiedades tecnofuncionales del aislado proteico de basul como son la capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de emulsificante (CE) y capacidad de formación de espuma (CEF).

CAPÍTULO 2

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Corzo et al. (2000), en su investigación titulada “**Extracción de las fracciones de almidón y proteína del grano de la leguminosa frijol terciopelo (*Mucuna pruriens*)**”, reporta que se utilizó un diseño factorial 2^3 con cuatro réplicas del tratamiento central. Los parámetros evaluados fueron: concentración de bisulfito de sodio (1 y 3 %) tiempo de reposo (4 y 12 h) relación soluto/solvente (1:5 y 1:10). El mejor tratamiento fue concentración SO_2 , 1 %; tiempo de reposo 12 h y relación soluto/solvente, 1:10. La harina de frijol terciopelo contiene una humedad de $11,35 \pm 0,05$ % y proteína de $27,79 \pm 0,27$ % en base seca.

El rendimiento de extracción del aislado proteico de frijol es 11,4 % de proteína. Humedad del aislado proteico de frijol terciopelo es de $8,09 \pm 0,2$ %, proteína $65,98 \pm 0,85$ % en base seca.

Rivera (2006), en su investigación “**Obtención, caracterización estructural y determinación de las propiedades funcionales de un aislado proteico de quinua orgánica (*Chenopodium quinoa*)**”, concluye obteniendo el contenido de proteínas totales del aislado fue de 77,2 %. El estudio de las propiedades funcionales muestra que el aislado de quinua posee un alto nivel de solubilidad, especialmente a un pH de 5, con una solubilidad de 76,6 %, la cual aumentó con el pH hasta alcanzar un máximo de 94,6 %, a pH de 11. La capacidad de retención de agua fue buena entre 2,5 y 3 ml/g aislado proteico.

Silva (2006), en su investigación titulada “**Obtención, caracterización y relación estructura-Funcionalidad de un aislado proteico de quinua (*Chenopodium quinoa*) orgánica proveniente de la VI región de Chile**”, concluye que se utilizó quinua orgánica desgrasada a pH de 11, con materia prima proveniente de la VI Región que los resultados se analizaron estadísticamente mediante el uso de análisis de varianza y test de Tukey y Duncan al 95 % de confianza. El aislado proteico se preparó mediante la extracción a pH de 11 y precipitación a pH de 5. Contenido de proteínas fue del 83,5 % con una humedad del 6,8 % expresado en base seca valor bajo, lo que le confiere estabilidad en el tiempo. La solubilidad tendió a aumentar a pH alcalino siendo máxima a pH de 11 con un 41,4 %, por otro lado, la capacidad de

retención de agua (WHC) no fue afectada por el pH, registrándose una retención de agua entre 3,1/4 ml de agua por g de aislado proteico.

Callisaya (2009), en su investigación titulada **“Aislados Proteínicos de Granos Alto andinos *Chenopodiaceas*; Quinoa “*Chenopodium Quinoa*”- Cañahua “*Chenopodium Pallidicaule*” por precipitación isoeléctrica**”, concluye que en el análisis proximal de los aislados proteicos de la quinoa y cañihua, apreciándose contenidos altos del porcentaje de proteínas. Los resultados de extracción a pH de 10,5 se obtuvo el máximo rendimiento y a pH de 7,5 el mínimo rendimiento, lo que da entender que el rendimiento aumenta con el pH creciente. Por tanto, la mejor condición para aislar las proteínas de quinoa y cañihua es: pH de extracción (alcalino) con adición de sulfito de sodio 0,1 % (p/p) óptima por cantidad y calidad está en el rango de pH de 8 y 8,9. El tiempo de extracción óptimo es de 60 minutos con agitación continua, temperatura ambiente y el pH isoeléctrico óptimo por cantidad y calidad (pH ácido) está en el rango de 4,5 a 5,3 ¼. El secado de las proteínas óptimo es de 30 a 35 °C por un tiempo de 13 horas y la mejor estimación del rendimiento obtenido para la quinoa QIK 85,9; QST 83,6; CAK 87,7 y CVT 82,5 % de los resultados, se observa que hay una correlación en los valores obtenidos, además de haberse aislado un buen porcentaje de las proteínas.

Urrutia (2010), en su investigación titulada **“Determinación de parámetros óptimos de la extracción alcalina para la obtención de aislado a partir de tarwi (*Lupinus mutabilis*)”**, reporta que obtiene un aislado proteico a base de parámetros evaluados, analizados y optimizados para tal fin utilizó HCl 0,1 N y NaOH 0,1 N., dichos valores considerados como óptimos fueron los factores pH de extracción es 9,3 relación harina/solvente es 1:28 y temperatura de extracción 43 °C, el rendimiento fue de 35 %. El aislado obtenido en base a sus parámetros óptimos mostro el siguiente análisis proximal de humedad 4,87 %, proteína 92,83 % respectivamente. Las propiedades funcionales básicas del aislado obtenido de tarwi, tal como la capacidad de absorción de agua tiene 98 %, capacidad de absorción de aceite es 160 % y la capacidad espumante 78 % respectivamente.

Avila (2011), en su investigación titulada **“Determinación de las propiedades físico-químicas y funcionales el aislado hidrolizado/enzimático de la proteína de soya a escala piloto, para aplicación en alimentos”**, concluye utilizó harina desengrasada de soya, reunió las características apropiadas para la elaboración de aislado e hidrolizado de soya, debido a su alto

7 contenido de proteína 54,54 % y bajo porcentaje de grasa 0,49 %. Se realizó la obtención a escala piloto bajo las siguientes condiciones, relación sólida/líquido 1:6, extracción básica a pH de 9,5 con un tiempo de agitación de 30 min y centrifugación a 12000 rpm. El valor de la proteína alcanzado en el aislado 85,45 %, con un índice de proteína dispersible (PDI) del 88,43 %. El rendimiento en peso de 24,55 % debido a la eliminación de carbohidratos solubles. En el aislado los valores de absorción de agua se incrementan en el 68,45 % la mayor capacidad de absorción de agua para el hidrolizado del 2,45 g de agua/g de proteína a pH de 10.

La capacidad emulsificante en el aislado presento valores más altos frente a los del hidrolizado con un máximo 1,60 g de aceite/g de proteína, registrada a los 20 min de reposo.

Arango et al. (2012), en su investigación titulada “Obtención de un extracto proteico a partir de harina de basul (*Erythrina edulis*)”, reporta que utilizando los solventes para evaluar con cuál de ellos se lograba extraer la mayor cantidad de proteínas a partir de la harina de chachafruto se obtuvo un contenido de humedad de 8,37 % y 18,4 % de proteína en base seca. Los rendimientos de extracción con una relación harina/solvente de 1:40 y tiempos de 20 y 60 min fueron de 54 % y 62 % de proteína respectivamente; mientras la relación harina: solvente fue de 1:20, el rendimiento de extracción fue de 37 % y 47 % de proteína para tiempos de 20 y 60 minutos respectivamente. En conclusión, la relación harina/solvente y el tiempo de solubilización tuvieron efectos significativos ($P < 0,001$) sobre el rendimiento de extracción, obteniéndose un máximo de 62 % de extracto proteico con un tiempo de 60 min y una relación harina/solvente de 1:40.

Armenta (2012), en su investigación titulada “Optimización de las variables de extracción para la obtención de aislados proteicos de semillas de *Jatropha curcas* L. no toxica. Caracterización química, fisicoquímica, funcional y nutricional”, concluye que las variables de proceso consideradas fueron: pH de extracción: 8,9; 9,5; 10 y 10,2; pH de precipitación: 3,8; 4; 4,5 y 5. La solubilidad de las proteínas *J. Jurcas* fueron menor a pH de 4 y 5 con 1% y 1,08% respectivamente, el punto isoeléctrico de las proteínas de *J. Jurcas* se encuentra entre el intervalo; la mayor solubilidad se presentó a pH de 12 con 74 %, por lo que se concluye que las proteínas de *J. Jurcas* son más solubles en condiciones alcalinas que acidas.

Las variables óptimas para la obtención de aislados proteicos por precipitación isoeléctrica para la obtención de aislados proteicos a partir de la harina con testa de *J. Jurcas* usando el método numérico fueron pH de 10,2 de extracción y pH de 4,88 de precipitación. Entre los aislados de las semillas de *J. curcas* con y sin testa, estos absorbieron 0,2 y 0,1 ml de agua/g de proteína, respectivamente. Entre los aislados proteicos *J. curcas* obtenidos bajo condiciones óptimas de proceso a partir de las semillas con testa y sin testa, los cuales poseen una capacidad de absorción de aceite de 0,1 ml de aceite/g de proteína y 0,2 ml de aceite/g de proteína.

Entre el aislado proteico procesado a partir de semillas con testa y el procesado sin testa en el rango de pH de 4 y 10, variando este parámetro de 0 hasta 21 %, dentro de este rango la capacidad de formación de espuma fue más baja a pH de 6 y 8, no formando espuma (0 %) a pH de 6. El valor máximo de espuma formada se encontró a pH de 2 siendo significativamente mayor el aislado proteínico de *J. curcas* elaborado de semillas sin testa que, en el elaborado de semillas con testa, con un porcentaje de 71 y 39, respectivamente.

Sandoval 2012), en su investigación titulada “Aislamiento y caracterización de las proteínas de reserva de chíá (*Salvia hispánica L.*) ”, reporta sobre el contenido de proteína fue de 22,7 %. Rendimiento de proceso de extracción es 24,55% con respecto a la harina desengrasada de soya, debido a la eliminación de carbohidratos solubles e insolubles, en donde el contenido de proteína del aislado de soya fue de 85,45 % a una relación 1:6 (p/v). Las propiedades funcionales en el aislado tienen valores de absorción de agua es 68,46 % y en el hidrolizado es 45,83 % respecto a los pH de 2 y 10 debido a la eliminación de carbohidratos, a la ruptura de la estructura cuaternaria, los valores alcanzados de absorción de aceite es 1,60 g aceite/g de proteína, registrado a los 20 min de reposo. La capacidad de formación de espuma en el aislado presento un ligero incremento a pH de 6 y 8 con un porcentaje del 252,4 % y del 284,62 %.

2.2. El basul

El basul (*Erythrina edulis*) es una leguminosa con un amplio espectro de usos, que van desde la alimentación humana (la semilla) y animal (el forraje) hasta la recuperación de nitrógeno en el suelo. Su principal función está relacionada con la seguridad alimentaria debido al alto contenido de proteínas, además de vitaminas y minerales (Peralta, 2014).

2.2.1. Descripción botánica

Según Escamilo (2015) son:

1. Árbol:

Tiene una altura promedio de 8 m y un diámetro de tronco de 24 cm. Sin embargo, se han encontrado ejemplares de 14 m de alto y 47 cm. de grueso, posee espinas en ramas y ramitas, en árboles jóvenes también las hay en el tronco.

2. Hojas:

Están compuestas de tres partes o láminas; tienen espinas en los pecíolos y nerviaciones; son de color verde claro y se caen en buena parte del árbol cuando están iniciando la floración.

3. Flores:

Son de color rojo carmín o anaranjadas, tiene un tamaño de 2.8 por 1.2 cm. y van en racimos de hasta 45 cm. de longitud. Cada racimo con un número de 190 flores en promedio. De estas flores solo se convierten en legumbres maduras unas 14. El Paso de la flor a la legumbre dura 65 días.

4. Fruto:

Son legumbres de 32 por 3.3 cm. con seis semillas en promedio; sin embargo, se encuentran frutos de hasta 55 cm. de longitud. El número de frutos por kilogramo es de 7 a 8. En relación con el fruto la cáscara representa la mitad del peso y el fruto la otra mitad.

5. Semillas:

Tienen la forma de un frijol grande con un tamaño promedio de 5.2 por 2.5 cm., tiene una cascarilla de color rojo oscuro, aunque hay unas variedades de color amarillo, el número promedio de semillas por kilogramos es de 62 maduras unas 14. El Paso de la flor a la legumbre dura 65 días.

En gran parte de Apurímac se presentan dos cosechas, entre abril y junio y entre agosto y octubre (Patricio, 2008). Su clasificación taxonómica es el siguiente:

2.2.2. Clasificación taxonómica del basul.

Se clasifica de la siguiente manera:

Reino	: Plantae
Phylum	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Fabales
Familia	: Fabaceae
Género	: <i>Erythrina</i>
Especie	: <i>edulis</i>

Fuente: Acero (1985).

1. Etimología:

El nombre genérico *Erythrina* proviene del griego *Erythros* que significa rojo por el color predominante de la flor (Patricio, 2008).

2. Nombres comunes:

Basul, Chachafruto, Balú, Nupo, Frijol nopaz, Guimo, Habijuela, Sachafruto, Poruto, en Colombia Guato, Porotón, Cañaro, Camporoto, Frijol de monte, Zapote de cerro, Pajuro en el Ecuador. Pisonay, Anteporoto, Pasugua, Sachaporoto, Pisonay, en Perú. Bucare, Mompás, Frijol Mompás en Venezuela (Silva *et al.*, 2015).

2.3. Importancia de basul (*Erythrina edulis*)

Arango *et al.* (2012) brinda muchos beneficios al sector rural, especialmente en la alimentación del hombre, el valor nutritivo de las semillas maduras de basul constituye un alimento importante por su alto contenido de proteínas como se observa en la tabla 1 detalladamente sobre la composición química de las semillas de basul (*Erythrina edulis*) en (g/100 g muestra seca) lo que es requerida en diferentes recetas alimenticias del consumo humano como: tortas, cremas, coladas, dulces, arepas, sancocho y postres. Se utiliza también como medicina casera para curar el reumatismo, regulador de la función renal, hipotónico, osteoporosis, desinflamar afecciones bucales y respiratorias.

Tabla 1. Composición química de las semillas de basul en (g/100 g muestra seca).

Parte comestible	(g/100 g muestra seca)
Carbohidratos (g / 100 g)	14, 4
Cenizas (g / 100 g)	1, 3
Proteínas (g / 100 g)	4, 0
Agua (g / 100 g)	80, 5
Grasas (g / 100 g)	1, 0
Humedad (g / 100 g)	79, 3
Energía total (Kcal / 100 g)	77, 6
% Kcal proveniente de grasas	1, 0
% Kcal proveniente de proteínas	25, 8
Fibra cruda(g / 100 g)	0, 9
Azúcares reductores totales (g / 100 g)	1, 5
Almidón (g / 100 g)	9, 8
Vitamina A (I.U / 100 g)	0
Vitamina C (mg / 100 g)	7, 8

Fuente: Peralta (2014).

En la tabla 1 se observa la Composición química de las semillas de basul (*Erythrina edulis*) en (g/100 g muestra seca) donde el contenido de proteínas es 4 g esto le confiere al basul una leguminosa importante para el consumo, la grasa es bajo, lo que favorece su conservación. En cuanto al contenido de carbohidratos, fluctúa entre 14,4 g siendo el almidón el principal componente.

Según Callisaya *et al.* (2009) el aislado proteico constituye la forma más refinada de obtención de proteína. Por definición este aislado tiene un mínimo de proteína en base seca de 90 %, llegando normalmente a 95 %. Como viene en polvo en su empaque, un aislado posee, aproximadamente 88 % de proteína, 5 % de humedad, 4,5 % de cenizas y 1,5 % entre carbohidratos, fibra y grasa. Estos productos son ingredientes empleados por la industria alimenticia y no son productos destinados a ser vendidos directamente a los consumidores finales. Un aislado proteico elimina la fracción insoluble y parte no digerible de los carbohidratos (polisacáridos) y la fracción soluble (oligosacáridos) que es causante de la flatulencia, separa sustancias odoríferas, principios amargos y

sustancias dañinas como alcaloides, inhibidores de tripsina, fitatos que perjudican la digestibilidad y utilización de las proteínas.

Tabla 2. Composición de aminoácidos esenciales de las semillas de basul en (g/100 g muestra seca).

Aminoácidos esenciales	(g de aminoácido/100 g muestra seca)
Isoleucina (Ile)	0,37
Leucina (Leu)	0,22
Lisina (Lys)	0,28
Metionina (Met)	0,06
Fenilalanina (Phe)	0,18
Treonina (Thr)	0,19
Triptófano (Trp)	0,07
Valina (Val)	0,25
Histidina (His)	0,14
Arginina (Arg)	0,38

Fuente: Escamilo (2015).

En la tabla 2 muestra la composición de aminoácidos esenciales de las semillas de basul (*Erythrina edulis*) donde se han encontrado los siguientes aminoácidos: arginina, isoleucina, lisina, leucina y valina en cantidad abundante; treonina, Fenilalanina e Histidina en cantidad moderada; poca cantidad de triptófano y metionina. Estos aminoácidos son muy importantes para su uso en la alimentación humana.

2.3.1. Funciones de los aminoácidos esenciales.

1. Isoleucina:

- ✓ La Isoleucina es necesaria para la formación de hemoglobina.
- ✓ Estabiliza y regula el azúcar en la sangre y los niveles de energía.
- ✓ Este aminoácido es valioso para los deportistas porque ayuda a la curación y la reparación del tejido muscular, piel y huesos.
- ✓ La cantidad de este aminoácido se ha visto que es insuficiente en personas que sufren de ciertos trastornos mentales y físicos.

2. Leucina:

- ✓ Imprescindible para la curación de traumatismos y heridas.
- ✓ Ayuda en la formación de tejido muscular.
- ✓ Ayuda a evitar las lesiones hepáticas.
- ✓ Colabora en la síntesis de algunos opiáceos endógenos.
- ✓ Ayuda en el correcto mantenimiento de la salud mental.
- ✓ Participa en el balance del nitrógeno.
- ✓ Ayuda a mantener equilibrados los niveles de azúcar en sangre.
- ✓ Previene la atrofia muscular que precede a una inmovilización.
- ✓ Ayuda a aumentar la producción de la hormona del crecimiento. Indirectamente cumple una función reguladora en la correcta secreción biliar. Indirectamente cumple funciones hormonales en las hormonas sexuales masculinas y femeninas.

3. Lisina

- ✓ Garantizar la absorción adecuada de calcio y mantiene un equilibrio adecuado de nitrógeno en los adultos.
- ✓ Además, la lisina ayuda a formar colágeno que constituye el cartílago y tejido conectivo.
- ✓ La lisina también ayuda a la producción de anticuerpos que tienen la capacidad para luchar contra el herpes labial y los brotes de herpes y reduce los niveles elevados de triglicéridos en suero.

4. Metionina

- ✓ La Metionina es un antioxidante de gran alcance y una buena fuente de azufre, lo que evita trastornos del cabello, piel y uñas.
- ✓ Ayuda a la descomposición de las grasas, ayudando así a prevenir la acumulación de grasa en el hígado y las arterias, que pueden obstruir el flujo sanguíneo al cerebro, el corazón y los riñones.
- ✓ Ayuda a desintoxicar los agentes nocivos como el plomo y otros metales pesados.
- ✓ Ayuda a disminuir la debilidad muscular.
- ✓ Previene el cabello quebradizo.
- ✓ Protege contra los efectos de las radiaciones.
- ✓ Es beneficioso para las mujeres que toman anticonceptivos orales, ya que promueve la excreción de los estrógenos.

- ✓ Reduce el nivel de histamina en el cuerpo que puede causar que el cerebro transmita mensajes equivocados, por lo que es útil a las personas que sufren de esquizofrenia.

5. Fenilalanina

- ✓ Aminoácidos utilizados por el cerebro para producir la noradrenalina, una sustancia química que transmite señales entre las células nerviosas en el cerebro, promueve el estado de alerta y la vitalidad.
- ✓ La Fenilalanina eleva el estado de ánimo, disminuye el dolor, ayuda a la memoria y el aprendizaje, que se utiliza para tratar la artritis, depresión, calambres menstruales, las jaquecas, la obesidad, la enfermedad de Parkinson y la esquizofrenia.

6. Treonina

- ✓ Ayuda a mantener la cantidad adecuada de proteínas en el cuerpo.
- ✓ Es importante para la formación de colágeno, elastina y esmalte de los dientes.
- ✓ Ayuda a la función lipotrópica del hígado cuando se combina con ácido aspártico y la metionina.
- ✓ Previene la acumulación de grasa en el hígado, su metabolismo y ayuda a su asimilación.

7. Triptófano

- ✓ Este aminoácido es un relajante natural, ayuda a aliviar el insomnio induciendo el sueño normal.
- ✓ Reduce la ansiedad y la depresión y estabiliza el estado de ánimo.
- ✓ Ayuda en el tratamiento de la migraña.
- ✓ Ayuda a que el sistema inmunológico funcione correctamente.
- ✓ Ayuda en el control de peso mediante la reducción de apetito.
- ✓ Aumenta la liberación de hormonas de crecimiento y ayuda a controlar la hiperactividad en los niños.

8. Valina

- ✓ Imprescindible para la curación de traumatismos y heridas.
- ✓ Ayuda en la formación de tejido muscular.
- ✓ Ayuda a evitar las lesiones hepáticas y de la vesícula biliar.
- ✓ Colabora en la síntesis de algunos opiáceos endógenos.
- ✓ Ayuda en el correcto mantenimiento de la salud mental.
- ✓ Participa en el balance del nitrógeno.

- ✓ Ayuda a mantener equilibrados los niveles de azúcar en sangre.
- ✓ Previene la atrofia muscular que precede a una inmovilización.
- ✓ Promueve el vigor mental y las emociones tranquilas.
- ✓ Ayuda a reducir el estrés, favorece el sueño.

9. Histidina

- ✓ Esencial para lactantes.
- ✓ Es esencial para el crecimiento y la reparación de los tejidos.
- ✓ Es importante para el mantenimiento de las vainas de mielina que protegen las células nerviosas.
- ✓ Es necesario para la producción de glóbulos rojos y blancos.
- ✓ Ayuda en la eliminación de metales pesados del cuerpo.
- ✓ Ayuda a la excitación sexual.
- ✓ Protege al organismo de los daños por radiación, reduce la presión arterial.

10. Arginina

- ✓ Está implicada en la conservación del equilibrio de nitrógeno y de dióxido de carbono.
- ✓ También tiene una gran importancia en la producción de la Hormona del Crecimiento.
- ✓ Directamente involucrada en el crecimiento de los tejidos y músculos y en el mantenimiento y reparación del sistema inmunológico (Murray *et al.*, 1997).

Tabla 3. *Composición de aminoácidos no esenciales de las semillas de basul en (g/100 g muestra seca).*

Aminoácidos no esenciales	(g de aminoácido/100 g muestra seca)
Alanina (Ala)	0,13
Tirosina (Tyr)	0,20
Ácido aspártico (Asp)	0,65
Cisteína (Cys)	
Ácido glutámico (Glu)	0,69
Glutamina (Gln)	
Glicina (Gly)	0,17
Prolina (Pro)	0,30
Serina (Ser)	0,24
Asparagina (Asn)	

Fuente: Escamilo (2015).

En la tabla 3 muestra la composición de aminoácidos de las semillas de basul (*Erythrina edulis*) donde se han encontrado los siguientes aminoácidos: ácido aspártico, ácido glutámico y prolina cantidad abundante; tirosina y glicina en cantidad moderada; poca cantidad de alanina. Estos aminoácidos son muy importantes para su uso en la alimentación humana.

2.3.2. Funciones de los aminoácidos no esenciales

1. Alanina

- ✓ Es usado como fuente de energía para músculos, cerebro y sistema nervioso.
- ✓ Está involucrada en el metabolismo del Triptófano y de la Vitamina B6.
- ✓ Ayuda a metabolizar el azúcar y los ácidos orgánicos.
- ✓ Puede ayudar en la estimulación de anticuerpos.
- ✓ Puede ayudar a estabilizar los niveles de azúcar en sangre.
- ✓ Ayuda a mantener la próstata en buen estado.
- ✓ Ayuda a eliminar sustancias que pueden resultar tóxicas en el organismo si se concentran en exceso, como ocurre con la acumulación de nitrógeno.

2. Tirosina

- ✓ Es un aminoácido importante para el metabolismo general.
- ✓ La Tirosina es un precursor de la adrenalina y la dopamina, que regulan el estado de ánimo.
- ✓ Estimula el metabolismo y el sistema nervioso.
- ✓ Actúa como un elevador del humor.
- ✓ Suprime el apetito y ayuda a reducir la grasa corporal.
- ✓ La Tirosina ayuda en la producción de melanina (el pigmento responsable del color del pelo y la piel) y en las funciones de las glándulas suprarrenales, tiroides y la pituitaria.
- ✓ Se ha utilizado para ayudar a la fatiga crónica, la narcolepsia, ansiedad, depresión, reducción de la lívido, alergias y dolores de cabeza.

3. Acido aspártico

- ✓ Aumenta la resistencia
- ✓ Bueno para la fatiga crónica
- ✓ Bueno para la depresión
- ✓ Rejuvenece la actividad celular
- ✓ Protege el hígado
- ✓ Ayuda a la función del ARN y ADN

- ✓ Facilita la circulación de ciertos minerales a través de la mucosa intestinal, sangre y células.

4. Cisteína

- ✓ La cisteína funciona como un antioxidante de gran alcance en la desintoxicación de toxinas dañinas.
- ✓ Protege el cuerpo contra el daño por radiación.
- ✓ Protege el hígado y el cerebro de daños causados por el alcohol, las drogas y compuestos tóxicos que se encuentran en el humo del cigarrillo.
- ✓ Se ha utilizado para tratar la artritis reumatoide y el endurecimiento de las arterias.
- ✓ Promueve la recuperación de quemaduras graves y la cirugía.
- ✓ Promover la quema de grasa y la formación de músculos.
- ✓ Retrasar el proceso de envejecimiento.
- ✓ La piel y el cabello se componen entre el 10% y el 14% de este aminoácido.

5. Ácido glutámico:

- ✓ Actúa como un neurotransmisor excitatorio del sistema nervioso central, el cerebro y la médula espinal
- ✓ Es un aminoácido importante en el metabolismo de azúcares y grasas
- ✓ Actúa como combustible para el cerebro, ayuda a corregir los trastornos de personalidad

6. Glutamina

- ✓ Es el aminoácido más abundante en los músculos.
- ✓ La Glutamina ayuda a construir y mantener el tejido muscular, ayuda a prevenir el desgaste muscular que puede acompañar a reposo prolongado en cama o enfermedades como el cáncer y el SIDA.
- ✓ Este aminoácido es un "combustible de cerebros" que aumenta la función cerebral y la actividad mental.
- ✓ Ayuda a mantener el equilibrio del ácido alcalino en el cuerpo.
- ✓ Promueve un sistema digestivo saludable.
- ✓ Reduce el tiempo de curación de las úlceras y alivia la fatiga, la depresión y la impotencia.
- ✓ Disminuye los antojos de azúcar y el deseo por el alcohol y ha sido usado recientemente en el tratamiento de la esquizofrenia y la demencia.

7. Glicina:

- ✓ Ayuda a controlar los niveles de amoniaco en el cerebro.

- ✓ Actúa como un neurotransmisor tranquilizante del cerebro.
- ✓ Ayuda a controlar las funciones motoras del cuerpo.
- ✓ Actúa como un antiácido.
- ✓ Ayuda a aumentar la liberación de la hormona del crecimiento.
- ✓ Retarda la degeneración muscular.
- ✓ Mejora el almacenamiento de glucógeno, liberando así a la glucosa para las necesidades de energía.
- ✓ Promueve una próstata sana.
- ✓ Ayuda a mantener sano el sistema nervioso central.
- ✓ Colabora en la correcta actividad del sistema inmunológico.
- ✓ Es un aminoácido útil para reparar tejidos dañados, ayudando a su curación.

8. Prolina

- ✓ Mejora la textura de la piel.
- ✓ Ayudando a la producción de colágeno y reducir la pérdida de colágeno a través del proceso de envejecimiento.
- ✓ Además, la Prolina ayuda en la cicatrización del cartílago y el fortalecimiento de las articulaciones, los tendones y los músculos del corazón.
- ✓ La Prolina trabaja con la vitamina C para ayudar a mantener sanos los tejidos conectivos.

9. Serina:

- ✓ Este aminoácido es necesario para el correcto metabolismo de las grasas y ácidos grasos.
- ✓ El crecimiento del músculo.
- ✓ Para el mantenimiento de un sistema inmunológico saludable.
- ✓ La Serina es un aminoácido que forma parte de las vainas de mielina protectora que cubre las fibras nerviosas.
- ✓ Es importante para el funcionamiento del ARN y ADN y la formación de células.
- ✓ Ayuda a la producción de inmunoglobulinas y anticuerpos.

10. Asparagina

- ✓ Este tipo de aminoácidos se forma a partir del ácido aspártico.
- ✓ Ayuda también a eliminar el amoníaco del organismo actúa (protegiendo así el sistema nervioso).
- ✓ Mejora la resistencia a la fatiga (Murray *et al.*, 1997).

Tabla 4. *Composición de minerales de las semillas de basul en (mg/100 g muestra seca).*

Minerales	(mg/100 g de muestra seca)
Fosforo	93,0
Magnesio	34,0
Sodio	45,0
Hierro	2,0
Manganeso	0,3
Zinc	0,02
Molibdeno	0,17
Potasio	780,0
Calcio	15,0
Cobre	0,2

Fuente: Hart (1991).

En la tabla 4 muestra los minerales nutritivos que contienen las semillas del basul como son: fósforo, magnesio, sodio, hierro, manganeso, zinc, molibdeno, potasio, calcio y cobre; se trata pues de uno de los pocos árboles que provee al hombre importancia de los cultivos andinos en la seguridad alimentaria.

2.3.3. Funciones de los minerales:

1. Magnesio

- ✓ Interviene en la transmisión del impulso nervioso y en la relajación muscular.
- ✓ Necesario para el mantenimiento del equilibrio ácido-base.
- ✓ Interviene en las acciones de la hormona (hormona que interviene en la regulación del metabolismo del calcio y del fósforo), y la vitamina D del hueso.

2. Sodio

- ✓ Regulación de la osmolaridad o presión osmótica (diferencia de concentración a nivel de membrana celular).
- ✓ Control del balance o equilibrio ácido básico metabólico.

3. Hierro

- ✓ El grupo hemo o hem que forma parte de la hemoglobina y mioglobina está compuesto por un átomo de hierro.

- ✓ La hemoglobina, proteína de la sangre, transporta el oxígeno desde los pulmones hacia el resto del organismo.

4. Manganeso

- ✓ Interviene en la formación de huesos o la producción de hormonas. Una dieta variada y equilibrada es la mejor forma de obtener estos nutrientes.

5. Zinc

- ✓ Es necesario para que el sistema de defensa del cuerpo (sistema inmunitario) funcione apropiadamente.
- ✓ Participa en la división y el crecimiento de las células.
- ✓ Participa en la cicatrización de heridas y en el metabolismo de los carbohidratos.
- ✓ También es necesario para los sentidos del olfato y del gusto.

6. Molibdeno

- ✓ Ayuda a que la xantina-oxidasa (enzima responsable del metabolismo del hierro) funcione correctamente.
- ✓ Interviene en una correcta función sexual en el hombre.
- ✓ Necesario para la producción del ácido úrico, que encontramos en la sangre y la orina.
- ✓ Participa en sistemas enzimáticos relacionados con el metabolismo del alcohol, drogas y toxinas.
- ✓ Participa en el metabolismo del ácido úrico y el azufre.

7. El potasio

- ✓ Participa en la regulación del agua dentro y fuera de las células. Esta ocupación la realiza conjuntamente con el sodio.
- ✓ Esencial para el correcto crecimiento del organismo.

8. El calcio

- ✓ Forma parte de los dientes y huesos y contribuye a mantenerlos sanos.
- ✓ Es necesario para la coagulación de la sangre.
- ✓ Participa en la transmisión del impulso nervioso.

9. Cobre

- ✓ Interviene en la formación de hemoglobina, glóbulos rojos y diversas enzimas.
- ✓ Participa en la degradación de hidratos de carbono, lípidos y proteínas.
- ✓ Interviene en la asimilación de la vitamina C por parte del cuerpo.

Tabla 5. Composición de aminoácidos de basul comparado con otras leguminosas (g AA/16gN).

	Basul	Frijol	Arveja	Soya	Haba
Isoleucina	5.21	3.73	3.20	4.54	4.00
Leucina	8.24	6.51	6.37	7.78	7.09
Lisina	6,91	6.46	6.96	6.38	6.46
Histidina	5.84	2.50	2.38	2.53	2.37
Metionina	1.31	1.17	0.88	1.26	0.74
Tirosina	5.50	2.70	3.34	3.14	3.20
Fenilalanina	4.99	4.72	4.22	4.94	4.32
Treonina	5.84	3.87	3.58	3.86	3.36
Triptofano	0,66	0.56	0.74	1.28	N.D.
Arginina	5.63	5.87	9.46	7.23	8.90
Valina	5.57	4.62	4.08	4.80	4.40
Ácido aspártico	19.47	11.10	11.06	11.70	11.23
Serina	5.71	5.57	4.75	5.12	4.48
Ácido glutámico	17.42	16.27	18.42	18.70	16.07
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

Fuente: Escamilo (2015).

2.4. Las proteínas

Las proteínas son biomoléculas formadas básicamente por aminoácidos unidos mediante puentes peptídicos. A nivel elemental, las proteínas están compuestas por 50-55 % de carbono, 6-7 % de hidrogeno, 20-23 % de oxígeno, 12-19 % de nitrógeno y 0,2-3 % de azufre, la síntesis de las proteínas tiene lugar en los ribosomas (Fennema, 2000).

Los 20 aminoácidos difieren considerablemente en sus propiedades fisicoquímicas, así como en su polaridad, acidez, basicidad, aromaticidad, volumen, flexibilidad conformacional, en su habilidad para realizar entre cruzamientos para formar puentes de hidrógeno y reactividad química. Estas múltiples características, muchas de las cuales están interrelacionadas, son las

responsables de la gran variedad de funciones, estructuras y demás característica de las proteínas (Braverman, 1980).

Entre los alimentos que entregan proteínas de alta calidad biológica (es decir, aportan los aminoácidos esenciales) se encuentran la leche, la carne, el pescado y el huevo (3,2; 20-23; 15-20 y 13,5 %, respectivamente). Sin embargo, los granos de los cereales son una buena fuente de proteína para la mayoría de la población mundial, siendo consumidos en cantidades relativamente grandes en las zonas sub-urbanas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO y OMS, 2007).

Las proteínas tienen carácter anfótero; es decir, se comportan como ácidos débiles frente a las bases y como bases débiles frente a los ácidos. El grupo amino es aceptor de protones y el grupo carboxilo dador de protones (Ávila, 2011).

2.4.1. Aminoácidos

Son las unidades básicas que forman las proteínas. Su denominación responde a la composición química general que presentan, en la que un grupo amino (-NH₂) y otro carboxilo o ácido (-COOH) se unen a un carbono a (-C-). Las otras dos valencias de ese carbono quedan saturadas con un átomo de hidrógeno (-H) y con un grupo químico variable al que se denomina radical (-R).

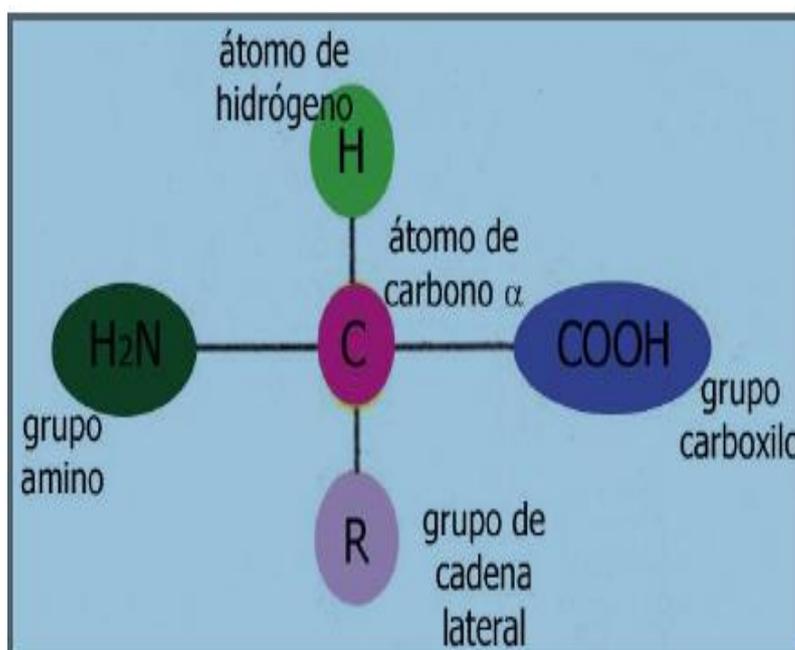


Figura 1. Fórmula general de un aminoácido.

Fuente: Badui (2006).

2.4.2. Estructura y conformación protéica

Según Badui (2006) todas las proteínas poseen una misma estructura química central, que consiste en una cadena lineal de aminoácidos. Lo que hace distinta a una proteína de otra es la secuencia de aminoácidos de que está hecha, a tal secuencia se conoce como estructura primaria de la proteína. La estructura primaria de una proteína es determinante en la función que cumplirá después, así las proteínas estructurales (como aquellas que forman los tendones y cartílagos) poseen mayor cantidad de aminoácidos rígidos y que establezcan enlaces químicos fuertes unos con otros para dar dureza a la estructura que forman.

1. Estructura primaria

La estructura primaria viene determinada por la secuencia de aminoácidos en la cadena proteica, es decir, el número de aminoácidos presentes y el orden en que están enlazados. Las posibilidades de estructuración a nivel primario son prácticamente ilimitadas. Como en casi todas las proteínas existen 20 aminoácidos diferentes, el número de estructuras posibles viene dado por las variaciones con repetición de 20 elementos tomados de n en n , siendo n el número de aminoácidos que componen la molécula proteica (Fennema, 2000).

2. Estructura secundaria

La estructura secundaria de las proteínas es el plegamiento que la cadena polipeptídica adopta gracias a la formación de puentes de hidrógeno entre los átomos que forman el enlace peptídico. Los puentes de hidrógeno se establecen entre los grupos $-CO-$ y $-NH-$ del enlace peptídico (el primero como aceptor de H y el segundo como donador de H). De esta forma, la cadena polipeptídica es capaz de adoptar conformaciones de menor energía libre, y por tanto, más estables (Chang, 2007).

✓ Hélice alfa

En esta estructura se mantiene gracias a los enlaces de hidrógeno intracatenarios formados entre el grupo $-NH$ de un enlace peptídico y el grupo $-C=O$ del cuarto aminoácido (Braverman, 1980).

✓ Hoja beta

Cuando la cadena principal de un polipéptido se estira al máximo que permiten sus enlaces covalentes se adopta una configuración espacial denominada estructura β , que suele representarse como una flecha. En esta estructura las cadenas laterales de los aminoácidos se sitúan de forma alternante a la derecha

y a la izquierda del esqueleto de la cadena polipeptídica. Las estructuras β de distintas cadenas polipeptídicas o bien las estructuras β de distintas zonas de una misma cadena polipeptídica pueden interactuar entre sí mediante puentes de hidrógeno, dando lugar a estructuras laminares llamadas por su forma hojas plegadas u hojas β (Nollet, 1996).

✓ **Giros beta**

Secuencias de la cadena polipeptídica con estructura alfa o beta, a menudo están conectadas entre sí por medio de los llamados giros beta. Son secuencias cortas, con una conformación característica que impone un brusco giro de 180 grados a la cadena principal de un polipéptido (Bartholomai, 2000).

3. Estructura terciaria

Se llama estructura terciaria a la disposición tridimensional de todos los átomos que componen la proteína, concepto equiparable al de conformación absoluta en otras moléculas. La estructura terciaria de una proteína es la responsable directa de sus propiedades biológicas, ya que la disposición espacial de los distintos grupos funcionales determina su interacción con los diversos ligando. Para las proteínas que constan de una sola cadena polipeptídica (carecen de estructura cuaternaria), la estructura terciaria es la máxima información estructural que se puede obtener (Cheftel, 1989).

Tipos de estructura terciaria

Según Fennema (2000) se distinguen dos tipos de estructura terciaria:

Proteínas con estructura terciaria de tipo fibroso en las que una de las dimensiones es mucho mayor que las otras dos. Son ejemplos el colágeno, la queratina del cabello o la fibroína de la seda. En este caso, los elementos de estructura secundaria (hélices α u hojas β) pueden mantener.

✓ **Enlace covalente:**

Consiste en una compartición de electrones, que generan un enlace fuerte, que permite brindar una gran estabilidad a la cadena proteica. El puente disulfuro, es uno de los enlaces más importantes, que se forman entre residuos de cisteína (Badui, 2006).

✓ **Enlace iónico:**

Se refiere a un puente salino, se puede presentar por dos grupos polares de la cadena de aminoácidos, que según el pH tendrán carga eléctrica positiva o negativa. Al formarse iones de carga opuesta estos se atraen por fuerzas

eléctricas intensas, quedan fuertemente unidos y dan lugar a un compuesto iónico (Braverman, 1980).

✓ **Enlace de hidrógeno:**

Las cadenas laterales de los aminoácidos que poseen hidrógeno fijo en oxígeno o nitrógeno, como sucede en los grupos alcohólicos de serina y trionina, pueden formar enlaces de hidrogeno con átomos ricos en electrones. La formación de enlaces hidrógeno generan estabilización de las moléculas y entre grupos polares sobre la superficie de las proteínas y el solvente acuoso aumentan la solubilidad de las proteínas (Bartholomai *et al.*, 2000).

✓ **Enlace por fuerzas de Van der Waals:**

Se forman entre las cadenas laterales que contienen radicales, son sumamente débiles y actúan en distancias extremadamente cortas, poseen componentes de atracción y repulsión. Las fuerzas de atracción son las que interaccionan entre dipolos inducidos formados por las oscilaciones instantáneas en la distribución de electrones en los átomos. En cambio, las fuerzas repulsivas se presentan, cuando 2 átomos se aproximan demasiado y sus orbitales electrónicos se superponen (Braverman, 1980).

✓ **Presencia de cadenas hidrofóbicas:**

Son interacciones que implican a las cadenas laterales no polares de los aminoácidos como leucina, vaina, isoleucina, metionina, fenilalanina, triptófano, etc., dentro de soluciones acuosas. En consecuencia, a lo largo de la o de las cadenas polipeptídicas donde se encuentran estos grupos existe la tendencia de segregarse del contacto con el solvente acuoso y a formar estructuras con características similares (Cheftel, 1989).

4. Estructura cuaternaria

Cuando una proteína consta de más de una cadena polipeptídica, es decir, cuando se trata de una proteína oligomérica, decimos que tiene estructura cuaternaria (Osborne, 1986).

La estructura cuaternaria debe considerar:

La estructura cuaternaria modula la actividad biológica de la proteína y la separación de las subunidades a menudo conduce a la pérdida de funcionalidad. Las fuerzas que mantienen unidas las distintas cadenas polipeptídicas son, en líneas generales, las mismas que estabilizan la estructura terciaria. Las más abundantes son las interacciones débiles (hidrofóbicas, polares, electrostáticas y puentes de hidrógeno), aunque en algunos casos, como en las

inmunoglobulinas, la estructura cuaternaria se mantiene mediante puentes disulfuro. El ensamblaje de los monómeros (Nollet,1996). En la figura 2 se observa los 4 niveles de organización de las proteínas.

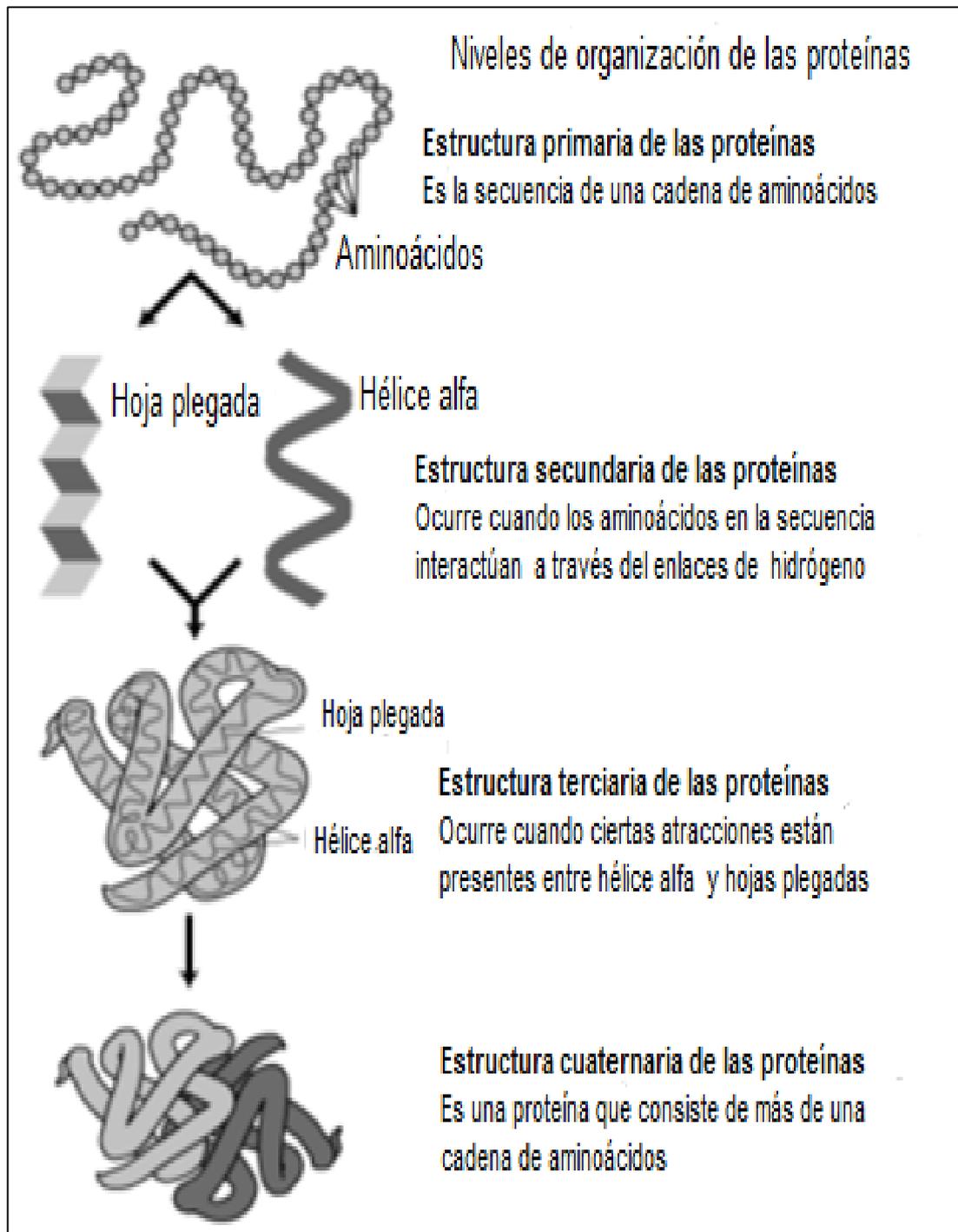


Figura 2. Niveles de organización de las proteínas.

Fuente: Badui (2006).

2.5. Desnaturalización de las proteínas

Según Cheftel (1989) se llama desnaturalización de las proteínas a la pérdida de las estructuras de orden superior (secundaria, terciaria y cuaternaria), quedando la cadena polipeptídica reducida a un polímero estadístico sin ninguna estructura tridimensional fija cuando la proteína no ha sufrido ningún cambio en su interacción con el disolvente, se dice que presenta una estructura nativa (ver figura 3). Cualquier factor que modifique la interacción de la proteína con el disolvente disminuirá su estabilidad en disolución y provocará la precipitación. Así, la desaparición total o parcial de la envoltura acuosa, la neutralización de las cargas eléctricas de tipo repulsivo o la ruptura de los puentes de hidrógeno facilitarán la agregación intermolecular y provocará la precipitación. La precipitación suele ser consecuencia del fenómeno llamado desnaturalización y se dice entonces que la proteína se encuentra desnaturalizada.

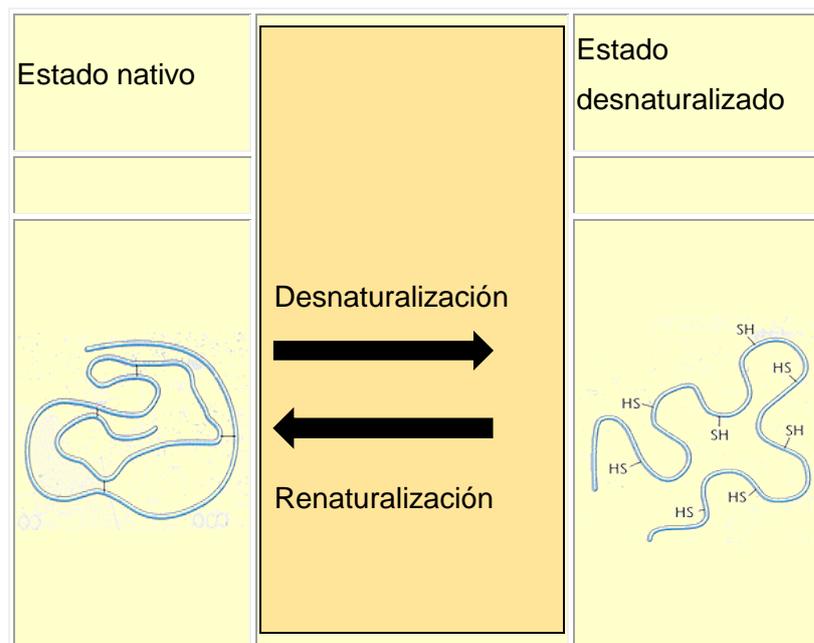


Figura 3. Desnaturalización de las proteínas.

Fuente: Badui (2006).

En una proteína cualquiera, la estructura nativa y la desnaturalizada tan sólo tienen en común la estructura primaria, es decir, la secuencia de AA que la componen. Los demás niveles de organización estructural desaparecen en la estructura desnaturalizada (UNAM, 2008).

2.6. Efectos en la desnaturalización de la proteína

Fennema (2000), los cambios en las propiedades hidrodinámicas de la proteína: aumenta la viscosidad y disminuye el coeficiente de difusión.

Una drástica disminución de su solubilidad, ya que los residuos hidrofóbicos del interior aparecen en la superficie.

Una proteína desnaturalizada cuenta únicamente con su estructura primaria. Por este motivo, en muchos casos, la desnaturalización es reversible ya que es la estructura primaria la que contiene la información necesaria y suficiente para adoptar niveles superiores de estructuración. El proceso mediante el cual la proteína desnaturalizada recupera su estructura nativa se llama renaturalización. Esta propiedad es de gran utilidad durante los procesos de aislamiento y purificación de proteínas, ya que no todas las proteínas reaccionan de igual forma ante un cambio en el medio donde se encuentra disuelta. En algunos casos, la desnaturalización conduce a la pérdida total de la solubilidad, con lo que la proteína precipita. La formación de agregados fuertemente hidrofóbicos impide su renaturalización y hacen que el proceso sea irreversible (Badui, 2006).

2.7. Funciones de las proteínas

- ✓ Proteínas estructurales: Colágeno (cartílago y hueso), cubiertas virales, microtúbulos.
- ✓ Proteínas reguladoras: Insulina, hormonas De crecimiento y receptores de membrana.
- ✓ Proteínas contráctiles: Actina, miosina.
- ✓ Proteínas de transporte: Hemoglobina mioglobina, seroalbúmina, permeasas.
- ✓ Proteínas de almacenamiento o reserva: Ovalalbúmina, caseína y gliadina.
- ✓ Proteínas de defensa: Anticuerpos, complemento.
- ✓ Proteínas catalizadoras (Enzimas): Sacarosa, pepsina.

2.8. Importancia de las proteínas en la industria alimentaria

Acero (2002) estas propiedades cobrarán importancia de acuerdo al sistema alimentario en estudio. Por ejemplo, la capacidad de adsorción de agua puede limitar el tiempo de almacenamiento de los productos proteicos; mientras que la dispersabilidad y la mojabilidad estarían afectando el proceso de rehidratación del polvo proteico, previo a su empleo como aditivo.

La funcionalidad de las proteínas muestra la tabla 6 y es de gran importancia tecnológica y existe un gran interés por conocer los mecanismos implicados en ella.

Actualmente los aislados proteicos más extendidos de las aplicaciones tienen lugar en alimentos tradicionales que ya tienen establecidos una serie de parámetros de utilización y calidad. Para tener éxito en estos productos, los aislados deben mantener esta calidad. Esto quiere decir igual o similar color, sabor, aroma, textura y composición química y nutricional (Escamilo, 2015).

La mejora de la nutrición es la razón primera para el uso de los aislados en carnes magras, fórmulas infantiles, bebidas nutritivas para adultos y suplementos proteicos. Así, en productos de carne magra proporcionan beneficios a personas con un alto nivel de colesterol y triglicéridos en sangre, ya que, además de disminuir el contenido en grasas del producto, las proteínas vegetales tienen efectos beneficiosos en la reducción de los niveles de colesterol (Duarte, 2012). Las fórmulas infantiles basadas en el aislado elaboran para proporcionar una nutrición completa y las calorías especificadas a los niños alérgicos o que no pueden tomar leche de vaca, así como al resto de los niños. Las principales ventajas en las bebidas nutritivas para adultos son la flexibilidad de formulación y los efectos hipolipidémicos.

Pero, en cualquier caso, igual que con los alimentos tradicionales, los beneficios nutritivos tienen que ir acompañados con una calidad funcional adecuada para que sean aceptados por el consumidor.

Así, en un gran número de aplicaciones, los aislados proteicos vegetales se usan también por sus propiedades tecnofuncionales. Así, se emplean para aclarar el color, mejorar la textura de carnes de aves deshuesadas y para unir piezas intactas de músculos (Fennema, 2010). También proporcionan textura a las salchichas, mejoran la funcionalidad de pates y mejoran la textura de los productos de panadería, cárnicas y pastas (Rivera, 2006). Por último, también se han usado en el procesado de quesos

Para tal fin, es frecuente emplear sistemas modelos sencillos y determinar parámetros que brindan información sobre su capacidad de contribuir a la propiedad de interés. Estas determinaciones no reflejan su comportamiento final en el alimento, que es una matriz más compleja, pero resultan una primera aproximación muy importante como paso previo a la formulación de alimentos (FAO y OMS, 2007).

Tabla 6. *Propiedades tecnofuncionales de las proteínas alimentarias en los alimentos.*

Funciones	Mecanismo	Alimento	Tipo de proteína
Solubilidad	Hidrofilia	Bebidas	Proteínas de suero lácteo (lactoalbúminas)
Viscosidad	Fijación de agua, tamaño y forma hidrodinámica	Sopas, caldos, aderezos para ensalada, postres	Gelatina (Hidrocoloides)
Fijación de agua	Puentes de hidrogeno, hidratación iónica	salchichas, bizcochos y pan	Proteínas del musculo (mioglobina), proteínas del huevo (albúminas)
Gelificación	Agrupamiento e Inmovilización del agua, formación de una red tridimensional	Carnes, quesos, bizcochos y geles.	Proteínas musculares, del huevo y proteínas lácteas.
Elasticidad	Interacciones hidrofóbicas, puentes disulfuro	Carnes, productos horneados	Proteínas musculares y de cereales
Emulsión	Adsorción y formación de película en la interfase	Salchichas, sopas, bizcochos y aderezos	Proteínas del musculo, leche y huevos
Formación de espumas	adsorción en la Interfase y formación de película.	Batidos ornamentales, helados, bizcochos y postres	Proteínas lácticas y del Huevo.
Fijación de Grasa y sabores	Interacciones hidrofóbicas, Atrapamiento	Productos horneados pobres en grasa, buñuelos	Proteínas lácteas, del Huevo y de los cereales

Fuente: Fennema (2010).

2.9. Método de extracción de proteína.

Los métodos más usados en la extracción y solubilización de proteínas para el control del proceso y caracterización de los extractos obtenidos son:

2.9.1. Extracción básica/alcalina:

Si bien es cierto que las condiciones alcalinas son efectivas en la extracción y solubilización de las proteínas también presentan deficiencias. Los contenidos de proteína alcanzados a pH de 9,5 por 30 minutos en SA sin estabilizar y estabilizado fueron de 71,5 % y 50,9 %. Los aminoácidos cisteína y arginina se destruyen, pero a la vez con gran facilidad, forman rasemos. Al hidrolizar las proteínas con un álcali concentrado se obtiene una mezcla racémica de aminoácidos (conversiones de enantiómeros D y L). De su configuración depende el sabor proporcionado de los aminoácidos, de tal forma que los D-aminoácidos proporcionan un sabor específico ligeramente amargo mientras que los L- aminoácidos proporcionan un sabor dulce; y las mezclas racémicas no poseen sabor. Normalmente en este método se utiliza NaOH o BaOH (Duarte, 2012).

2.10. Propiedades tecnofuncionales de las proteínas

Además de su importancia como fuente de aminoácidos en la nutrición, las proteínas influyen de manera determinante en las características tecnológicas (elasticidad, cohesión, viscosidad, gelificación, etc.) y de textura de los alimentos. Por estas cualidades, las proteínas se usan comercialmente en la fabricación de productos alimenticios a los cuales confieren sus propiedades físicas y químicas (Duarte, 2012).

De manera general, las propiedades tecnofuncionales se definen como "cualquier propiedad fisicoquímica de los polímeros que afecta y modifica alguna característica de un alimento y que contribuye a la calidad final del producto" (Sosa, 2000).

Así, por ejemplo, son propiedades funcionales: La absorción de agua y grasa, la emulsificación, gelificación, la formación de espuma, la solubilidad, etc. Estas dependen de factores intrínsecos propios de la molécula de proteína, como, por ejemplo; la secuencia de aminoácidos, peso molecular, carga eléctrica, solubilidad, conformación, hidrofobicidad, etc.; así como también de factores extrínsecos del medio que las rodea como: pH, fuerza iónica, temperatura, constante dieléctrica, etc. (Badui, 1993).

Las propiedades tecnofuncionales permiten predecir el comportamiento de los ingredientes proteicos dentro de un producto alimenticio, lo cual determinará su campo de aplicación en la industria de alimentos. Por ejemplo, por su capacidad emulsificante, gelificante y de absorción de grasa es empleada en la industria cárnica para la elaboración de embutidos; por su capacidad de absorción de agua, en la confección de pastas y derivados; por su capacidad espumante se usa como sustituto de la clara de huevo en la industria de helados y confitería, etc. No obstante, en los años recientes se han realizado numerosas investigaciones relacionadas con las propiedades funcionales de las proteínas de semillas de otras leguminosas y actualmente muchas de ellas son también utilizadas en la preparación de varios productos alimenticios (Wagner, 2000).

Según Ramírez (2004) las propiedades de las proteínas inherentes a su funcionalidad no solo están determinadas por su origen, sino también por las condiciones del procesamiento utilizado para extraerlas de sus fuentes naturales. Algunas veces estas condiciones juegan un papel determinante, por lo cual no es posible hacer una regla general sobre las características funcionales de un cierto tipo de proteínas. Por lo general, las propiedades funcionales las presentan las proteínas, en mayor grado, en su estado natural normal; perdiéndose éstas en gran medida cuando ocurre la desnaturalización

Arango *et al.* (2012) cada propiedad tecnofuncional de las proteínas requiere de características diferentes. Por ejemplo, para la eficiente formación de espuma es importante la existencia de moléculas flexibles en la proteína, con pocas estructuras secundarias y terciarias; mientras que en la estabilidad de la espuma desempeña un papel primordial la elasticidad y cohesión molecular. Por otra parte, muchas de las propiedades funcionales están interrelacionadas por eso, algunas veces, al modificarse una de ellas se producen cambios en el comportamiento de otras.

2.10.1. Solubilidad:

La solubilidad en agua de los materiales proteicos es de gran importancia en tecnología de los alimentos. Aunque por sí misma esta propiedad sólo tiene aplicación directa en la elaboración de bebidas y productos similares; sin embargo, debe siempre ser determinada puesto que incide sobre otras propiedades como, por ejemplo, la emulsificación, gelificación, formación de espuma, etc. Por eso ha sido usada como una medida para otras propiedades

funcionales y su valoración da una información ponderable sobre la proteína como ingrediente (Arango *et al.*, 2012).

La solubilización es el resultado del balance entre fuerzas subyacentes proteína/proteína e interacciones proteína/solvente; lo cual implica que se establezca una fuerte interacción proteína/solvente para que el material proteico se solubiliza en alto grado, de lo contrario se favorecerá la asociación proteína/proteína que disminuye la solubilidad e incluso puede provocar la precipitación. Este balance es afectado por cambios en el pH del medio, en la concentración, temperatura, naturaleza del solvente, presencia de otros componentes, etc. (Sosa, 2000).

El pH del medio donde está inmersa la proteína influye marcadamente en su solubilidad. Para la mayoría de las proteínas la solubilidad es mínima a valores de pH correspondientes a su punto isoeléctrico y aumenta al alejarse de él. Esto se debe a que en el punto isoeléctrico se igualan las cargas eléctricas positivas y negativas de los polímeros, lo cual favorece la interacción proteína/proteína que induce a la agregación, disminuyendo por consiguiente la solubilidad citados por Silva *et al.* (2015) mencionan que las proteínas de las leguminosas contienen más aminoácidos ácidos que básicos (como la mayoría de las proteínas), por eso sus puntos isoeléctricos se encuentran, por lo general, en el rango de pH ácido (pH menor que 7), siendo en consecuencia, su solubilidad mayor en el lado alcalino.

Al igual que las demás propiedades funcionales, la solubilidad de las proteínas está influenciada, en gran medida, por las condiciones del procesamiento; por esta razón para un mismo material proteico se reportan en la literatura valores diferentes de su solubilidad (Sandoval, 2012).

2.10.2. Absorción de agua y grasa

La absorción de agua y grasa son propiedades funcionales básicas de los componentes proteicos los cuales determinan la calidad (textura, apariencia, retención de sabor) y rendimiento de productos cárnicos terminados, así como de muchas otras preparaciones alimenticias (Scilingo, 2000).

Las interacciones proteína/agua se efectúan por medio de los aminoácidos polares de naturaleza catiónica, aniónica o no iónica y cada uno de ellos tiene diferente capacidad de retención de agua, siendo mayor ésta cuando el aminoácido se encuentra en forma ionizada; razón por la cual la absorción de agua está influenciada por el pH del medio (Badui, 1993).

Esto implica que las estructuras secundarias y terciarias juegan un papel importante en la capacidad de absorción de agua de una proteína, debido a que los grupos hidrófilos deben estar expuestos al exterior en contacto con el agua para que sea efectiva la interacción (Escamilo, 2015).

La capacidad de absorción de agua de los aislados proteicos puede ser afectada por factores conformacionales y del medio ambiente o del entorno donde este el aislado; cambios conformacionales en las moléculas de proteínas pueden exponer los aminoácidos internos en la estructura, haciendo que puedan interaccionar con el agua. Diferencias en el contenido de carbohidratos podrían también afectar la absorción de agua. Por otra parte, factores extrínsecos como el pH y la temperatura influyen marcadamente en la capacidad de absorción de agua de los materiales proteicos (Armenta, 2012).

2.10.3. Capacidad de retención de agua (CRA)

Se determina la cantidad de agua necesaria para lograr un estado de saturación de la proteína (cantidad máxima de agua retenida, medida por centrifugación). En este método se mide tanto el agua ligada (agua de hidratación, 99 no congelable) como el agua capilar, retenida físicamente entre las moléculas proteicas (UNAM, 2008).

La concentración proteica, el pH, la temperatura, el tiempo, la fuerza iónica y la presencia de otros componentes afectan a las fuerzas que toman parte en las interacciones proteína/proteína y proteína/agua. La absorción total de agua aumenta con la concentración proteica. Los cambios de pH, a través de su influencia sobre la ionización y la magnitud de la carga neta de la molécula proteica, alteran las fuerzas interactivas, atractivas o repulsivas, de la proteína y modifican su aptitud para asociarse con el agua (Pilosof, 2000).

La fijación de agua por las proteínas desciende generalmente a medida que se eleva la temperatura, debido a la disminución de los puentes de hidrógeno. El calentamiento provoca la desnaturalización y la agregación, pudiendo esta última reducir el área superficial y el número de grupos amino polar disponible para fijar agua. Por otro lado, cuando se calientan proteínas con una estructura muy compacta, la disociación y el desplegamiento ocasionados pueden exponer enlaces peptídicos y cadenas laterales polares previamente ocultas, lo que aumenta la fijación (Ramírez, 2004).

El tipo y la concentración de iones ejercen un considerable efecto sobre la absorción de agua. Generalmente, se establece una competencia en la

interacción entre el agua, la sal y las cadenas laterales de los aminoácidos (Fennema, 1993).

2.10.4. Capacidad de Emulsificación (CE)

La Capacidad de emulsificación es el volumen de aceite que puede ser emulsificador por cada gramo de proteína, antes de que se produzca la inversión de fases. Las características de una emulsión se ven influidos por múltiples factores: tipo y geometría del equipo utilizado, intensidad de energía, velocidad de adición del aceite, volumen de la fase grasa, temperatura, pH, fuerza iónica, presencia de azúcares y agentes de superficie de bajo peso molecular, exposición al oxígeno, tipo de grasa, concentración de las proteínas solubles (Badui, 2006).

2.10.5. Capacidad de Formación de Espuma (CFE)

La capacidad de formación de espuma es una propiedad de superficie, donde la proteína actúa como un agente tenso activo, disminuyendo la tensión superficial en la interface gas/líquido. La formación de espuma con proteínas implica un proceso de desnaturalización controlada, ya que este polímero se tiene que desdoblarse para que oriente sus aminoácidos hidrófobos hacia el interior de la burbuja, y los hidrófilos al exterior, en contacto con la fase acuosa (Peralta, 2014).

La capacidad de espumado se define como los mililitros de espuma por mililitro de líquido, el poder espumante varía con el origen de la proteína, las condiciones del medio o el tratamiento eventual sufrido por proteína, ver la figura 4. Esta propiedad está relacionada con la tensión superficial e interface. La estabilidad de la espuma aumenta según las interacciones y rigidez de la película (estructura proteínica bien organizada). Una desnaturalización parcial es esencial para lograr buena estabilidad (Rivera, 2006). A pH isoeléctrico, la película es viscosa, deformable, más compacta, por lo tanto, poco favorable para la formación de espuma. Las espumas alimenticias son, en general, formadas a pH lejano al punto isoeléctrico (Ramírez, 2004).

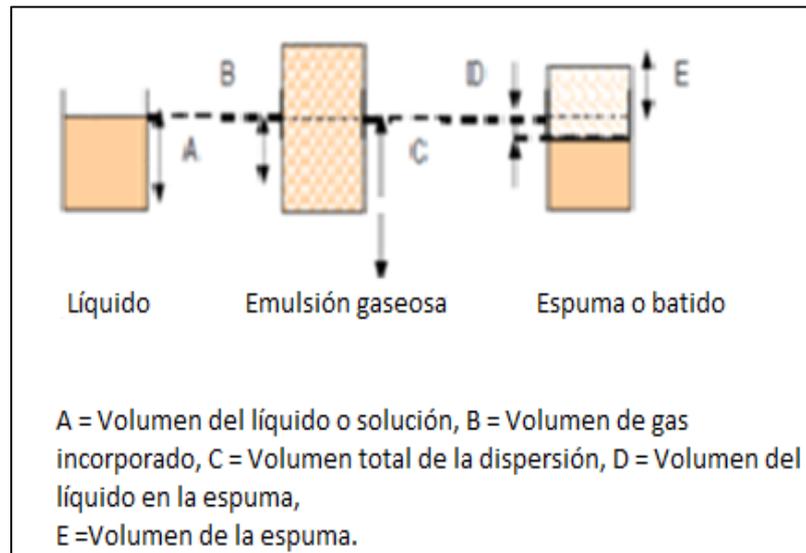


Figura 4. Etapas de la formación de espuma.

Fuente: Armenta (2012)

CAPÍTULO 3

MATERIALES Y METODOLOGIA

3.1. MATERIALES

3.1.1. Lugar de ejecución

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en los laboratorios de química y procesos agroindustriales de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas (UNAJMA), ubicada en el barrio de Santa Rosa del distrito de Talavera a 2820 m.s.n.m. con temperatura entre 15 - 18 °C de la provincia de Andahuaylas del departamento de Apurímac.

3.1.2. Material de estudio

Para la investigación se recolectaron los frutos de basul (*Erythrina edulis*), la cantidad de 2 kilogramos entre los meses de setiembre y octubre del 2015, meses en los cuales los frutos se encuentran completamente maduros y presentan la máxima coloración a marrón, estos se colectaron de la comunidad de San Pedro de Umaca, distrito de Ocobamba provincia de Chincheros, departamento de Apurímac. Posteriormente estos frutos fueron deshidratados hasta alcanzar una humedad de 15-18 % aproximadamente, luego se obtuvo la harina de basul.

1. Universo y/o población:

Se consideró como el universo y/o población de estudio a toda la producción de basul (*Erythrina edulis*), proveniente de la comunidad de San Pedro de Umaca, distrito de Ocobamba, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac, que se encuentra a una altitud de para este estudio fueron utilizados los frutos.

2. Muestra:

Para obtener la muestra se realizó un muestreo estratificado al azar, esto consistió en recolectar los frutos con las siguientes características: los frutos deben encontrarse en estado de madurez óptimo con una máxima coloración marrón y de tamaño homogéneo y sano; una vez obtenido los frutos con estas características se tomó muestras al azar la cantidad de 2 kilogramos luego fueron pelados, secados y llevados a la molinera luego se obtuvo harina de basul la misma cantidad.

3.1.3. Instrumentos, materiales, reactivos e insumos de laboratorio.

1. Instrumentos

- ✓ Termómetro digital, escala de - 50/150 °C sonda fija, acero inoxidable 120 mm longitud 150x58x20.
- ✓ Balanza analítica, capacidad 200 g Adventurer OAHUS 220 V/50
- ✓ Balanza digital de precisión, capacidad 100 g de sensibilidad 0,01 g ABS 200 4
- ✓ Estufa eléctrica, marca Instruments D-63450 HNAU, TYPE UT 6200, fabricado en Alemania.
- ✓ Agitador magnético, OVAN Velocidad ajustable desde 200 a 1500 rpm.
- ✓ Centrifuga, 4000 rpm LW – SCIENTIFIQUE.
- ✓ PH metro digital pH 537 WTW.
- ✓ Baño maría, con termorregulador, marca HAAKE, tipo FK N° 751117, Alemania.
- ✓ Refrigerado, marca Mademsa.
- ✓ Licuadora, capacidad: 1,25 l giratoria de 3 velocidades OSTER.
- ✓ Molino de martillo, motor de inducción trifásico, marca VOGES 12,5/9 hp/kW 1765 rpm.
- ✓ Campana Durgan, material de vidrio hermético.

2. Materiales

- ✓ Probeta, capacidad de 500 ml, material de vidrio.
- ✓ Probeta, capacidad de 25 ml, material de vidrio.
- ✓ Bureta, capacidad de 25 ml, material de vidrio.
- ✓ Matraz kitazato, material de vidrio de 500 ml.
- ✓ Matraz Erlenmeyer, capacidad de 250 ml, material de vidrio, marca Scott.
- ✓ Pro pipeta D&M, material jebe.
- ✓ Pipetas volumétricas, capacidad de 1 ml, marca fortuna de vidrio.
- ✓ Pipetas volumétricas, capacidad de 5 ml, material de vidrio.
- ✓ Vasos precipitados, capacidad de 50 ml, material de vidrio.
- ✓ Pipetas volumétricas, capacidad de 10 ml, material de vidrio.
- ✓ Pipetas volumétricas, capacidad de 5 ml, material de vidrio.
- ✓ Pipetas volumétricas, capacidad de 1 ml, material de vidrio.
- ✓ Tubos de ensayo con rosca, capacidad de 10 ml de marca Scott.
- ✓ Jarras medidoras, material de plástico de 1 l.
- ✓ Espátulas, material acero inoxidable con mango de madera.

- ✓ Placa Petri, capacidad de 10 g, marca fortuna, material de vidrio.
- ✓ Vagetas, material de vidrio 1 cm.
- ✓ Embudo, material de vidrio.
- ✓ Pisseta, marca S&S de plástico de 5 ml.
- ✓ Pinza, marca S&M.
- ✓ Mortero de pilón, material de porcelana.
- ✓ Gradilla para tubos de ensayo, marca S&M, material de vidrio.
- ✓ Varilla de vidrio, marca fortuna.
- ✓ Rotulador, marca Faber – Castell.

3. Reactivos e insumos

- ✓ Ácido clorhídrico (HCl) 1 N p.a. Merck, Germany.
- ✓ Hidróxido de sodio (NaOH) 1 N p.a. Merck. Darmstadt, Alemania.
- ✓ Cloruro de sodio (NaCl) 1 M.
- ✓ Agua destilada
- ✓ Aceite de maíz

3.2. METODOLOGÍA

3.2.1. Métodos y técnicas utilizadas para extraer las proteínas presentes de basul a pH de 9 y 11 y tiempos de 60 y 90 minutos.

1. Preparación de la harina de basul.

Para procesar la materia prima se siguió las siguientes etapas:

- ✓ **Recolección de granos:** Los granos en vaina fueron recolectados y almacenados en recipientes cerrados herméticamente a temperatura ambiente y en lugar seco.
- ✓ **Selección:** Las vainas en óptimas condiciones.
- ✓ **Lavado:** Se realizó con abundante agua para eliminar impurezas.
- ✓ **Desvainado:** Los frutos de basul fueron extraídos de sus vainas manualmente con la ayuda de un cuchillo.
- ✓ **Pelado:** La cáscara se retiró manualmente con la ayuda de un cuchillo.
- ✓ **Cortado:** En láminas delgadas con un diámetro de 4cm de largo x 2 cm de ancho.
- ✓ **Secado:** En bandejas a temperatura de 18°C por un tiempo de 96 horas para evitar la desnaturalización de la proteína.
- ✓ **Molienda:** Se sometieron a molienda y tamizado, un material con tamaño de partícula que permitió mejorar el grado de extracción de la proteína.

✓ **Almacenamiento:** En recipientes de vidrio en un lugar limpio y seco a temperatura de 18°C y humedad de 15 %).

2. Caracterización química de la harina de basul.

La harina de basul fue determinada por el método indirecto de Kjeldahl.

✓ **Determinación de humedad de la harina.**

Se determinó la cantidad de agua presente en la muestra se basa en la pérdida de peso de la muestra por calentamiento en una estufa, refiriendo su peso al peso total de la muestra y expresada como porcentaje. La pérdida de peso es reporto como la humedad. Se realizó con la metodología citada por la A.O.A.C. (2005) (Ver anexo 3).

Cálculos:

$$\% H = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100 \quad \text{ec. (01)}$$

✓ **Determinación de proteína de la harina de basul sin desgrasar.**

Se realizó con la metodología indirecto de Kjeldahl que es el método oficial más ampliamente usado para la determinación del contenido de proteínas en los alimentos, la razón se debe a su grado de precisión y reproducibilidad. Consiste en la digestión ácida total de la proteína y conversión cuantitativa de nitrógeno a NH₃ que se valoró por retrotitulación y se calculó por la diferencia gastada de titulante en la muestra. La medición se efectuó a la harina de basul sin desgrasar. (Ver anexo 4).

Cálculos:

$$\% N = \frac{N \times V \times 14 \times 100 \times \text{Factor}}{m \times 100} \quad \text{ec. (02)}$$

Donde:

V: Volumen gastado del ácido sulfúrico.

N: Normalidad del ácido sulfúrico.

m: Peso de muestra en gramos.

Factor: 6, 25: para carne, pescado, huevo, leguminosas y proteínas en general.

3. Descripción para extraer las proteínas del basul.

Se fundamenta en la relación estructura-solubilidad de las proteínas. Las glutelinas por ejemplo es insoluble en agua, en soluciones salinas y en alcohol, y bastante soluble en sosa y potasa.

Se realizó con la metodología citado por Arango *et al.*, (2012) con los detalles siguientes y se observa en la figura 5.

- ✓ **Pesado:** se llegó a pesar 50 g de harina de basul.
- ✓ **Dilución:** Se realizó el mezclado en un vaso precipitado con agua destilada en una proporción (1:10) en 500 ml de agua y se homogenizo con una bagueta.
- ✓ **Extracción alcalina:** Se ajustó el pH de 6,5 con una solución de NaOH 1N, hasta alcanzar el pH de 9 para solubilizar las proteínas.
- ✓ **Agitación:** Se realizó con la ayuda de un agitador magnético por 30 minutos a temperatura de ambiente.
- ✓ **Baño maría:** Se realizó a 60 °C por 90 minutos.
- ✓ **Centrifugación:** Se procedió a centrifugar a 4000 rpm por 20 minutos a temperatura de ambiente, la parte sólida se desechó.
- ✓ **Precipitación isoelectrica:** Se realizó cada muestra del sobrenadante de pH de 9 se ajustó hasta llegar a 4,5 con una solución de (HCL) a 1N para precipitar las proteínas.
- ✓ **Centrifugación:** Se procedió a centrifugar a 4000 rpm por 20 min a temperatura de ambiente con el propósito de precipitar la proteína de la suspensión líquida (agua) al ser lavada.
- ✓ **Separación:** Se realizó la separación de sobrenadante del precipitado que es el coagulado proteico, luego se transfirió la torta (coagulo proteico) a unas placas petri previamente pesadas.
- ✓ **Secado:** En una estufa a 45 °C por 24 horas.
- ✓ **Pesado:** El peso de la proteína de basul. se realizó en una balanza analítica Portátil.

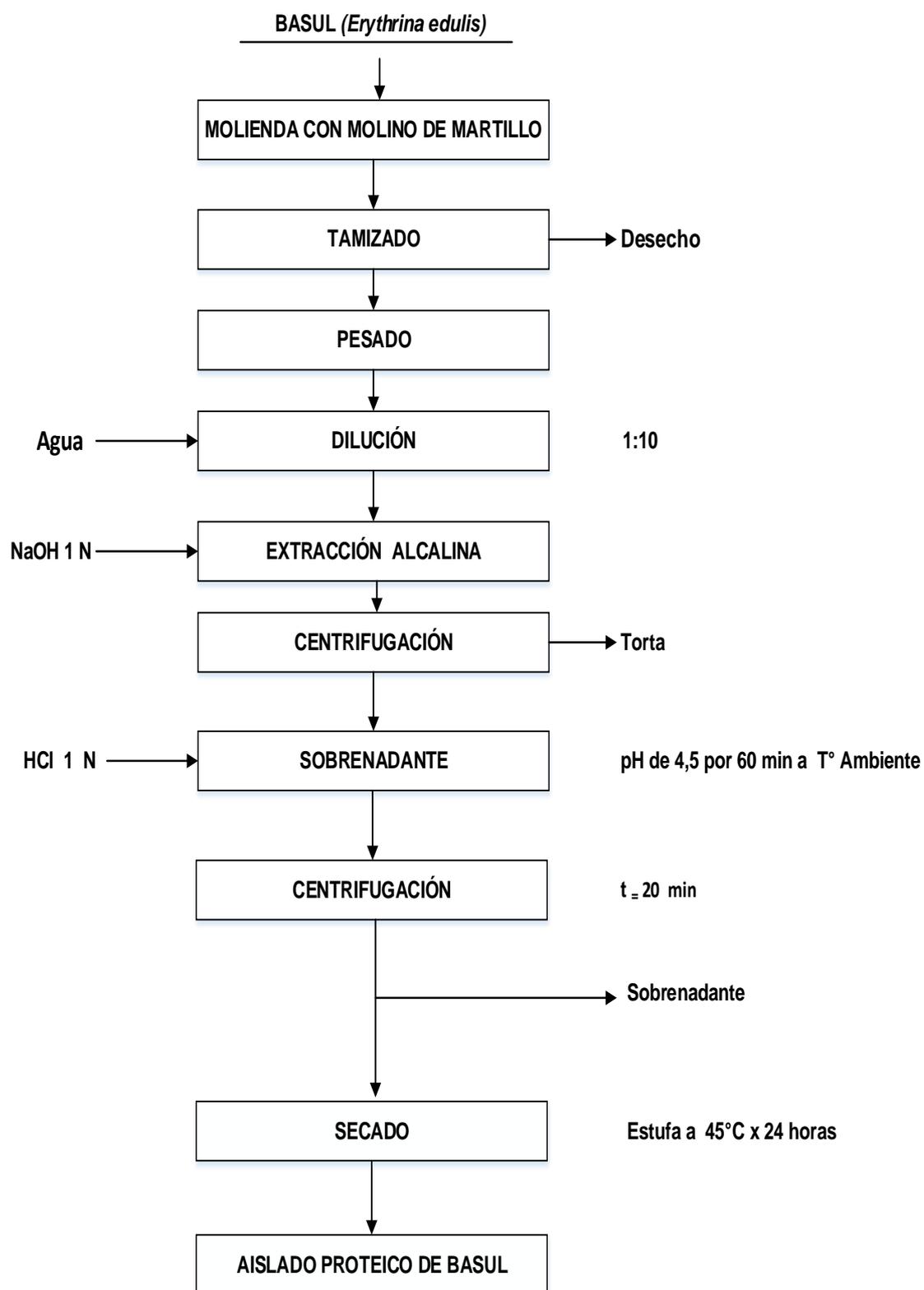


Figura 5. Diagrama de flujo para la extracción del aislado proteico de basul.

4. Descripción de diseño experimental para la extracción de las proteínas del basul a pH de 9 y 11 y tiempos de 60 y 90 minutos.

Se realizó con metodología citada por Urrutia (2010) con los detalles siguientes ver figura 6 y la extracción del aislado proteico se detalla a continuación:

- ✓ **Pesado:** Se determinó el peso 50 g de harina de basul.
- ✓ **Dilución:** Seguidamente se realizó el mezclado en un vaso precipitado con agua destilada en una proporción (1:10) en 500 ml de agua destilada y se homogenizo con una bagueta.
- ✓ **Extracción alcalina:** Se ajustó el pH de 6, 5 con una solución de NaOH 1N, hasta alcanzar el pH de 9 y 11 para solubilizar las proteínas.
- ✓ **Agitación:** Se realizó por 30 minutos a temperatura de ambiente con agitador Magnético.
- ✓ **Baño maría:** Se realizó a 60 °C por tiempos de 60 y 90 minutos ambas muestras.
- ✓ **Centrifugación:** Se realizó a 4000 rpm por 20 minutos a temperatura de ambiente, la parte sólida se desechó.
- ✓ **Precipitación isoelectrica:** Cada muestra del sobrenadante obtenido se ajustó a pH de 4,5 con HCl al 1 N para precipitar las proteínas.
- ✓ **Centrifugación:** A 4000 rpm por 20 min a temperatura de ambiente con el propósito de precipitar la proteína.
- ✓ **Separación:** Se realizó la separación de sobrenadante del precipitado que es el coagulado proteico, luego se transfirió la torta (coagulo proteico) a unas placas petri previamente pesadas.
- ✓ **Secado:** Las muestras del aislado proteico húmedo de basul fueron secados a una temperatura de 45°C por 24 horas.
- ✓ **Pesado:** Se llegó determinar el peso dela proteína de basul.

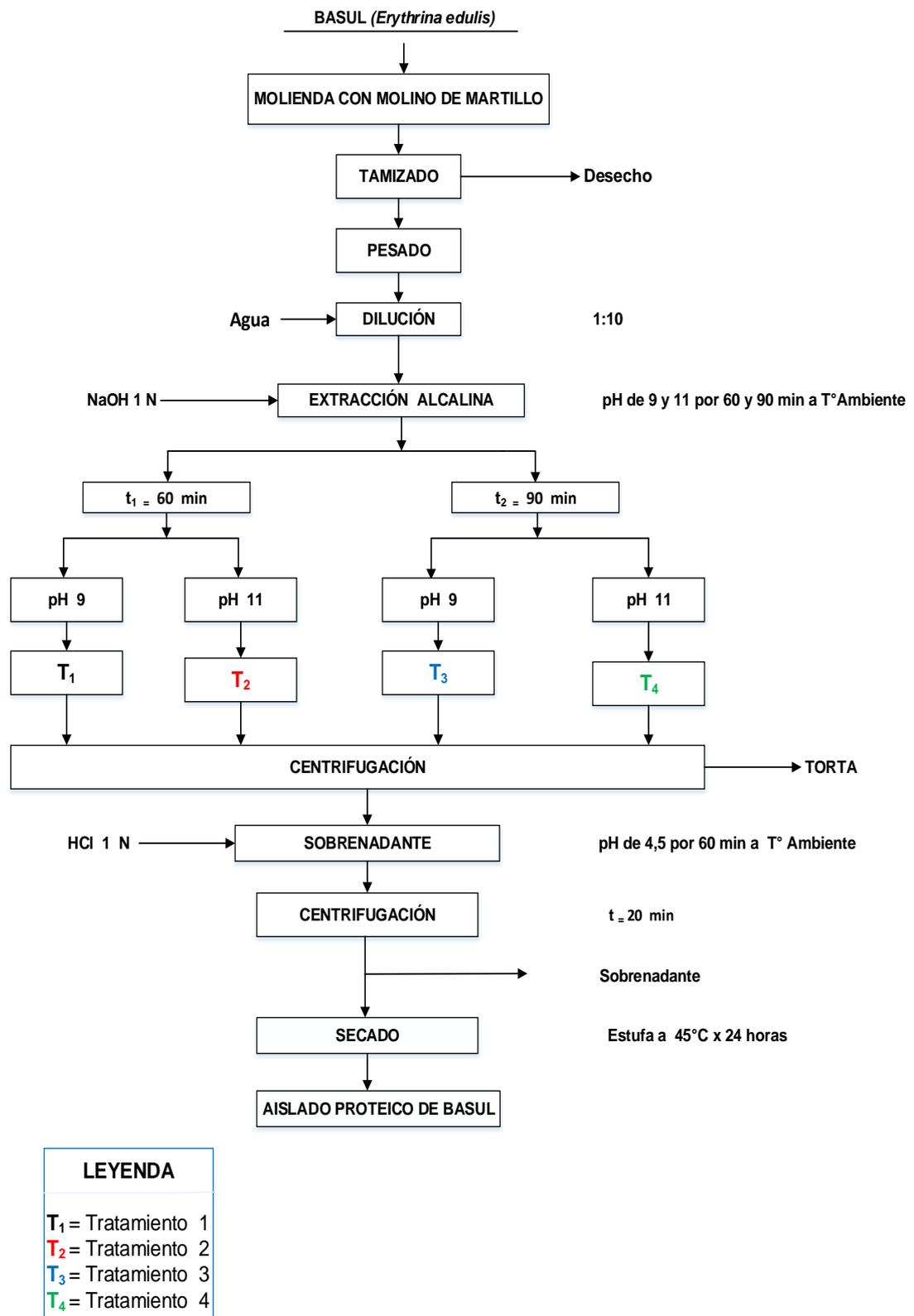


Figura 6. Diagrama de flujo para el diseño experimental del aislado proteico de basul.

3.2.2. Métodos y técnicas utilizadas para cuantificar las proteínas presentes en el aislado proteico de basul (*Erythrina edulis*).

1. Determinación de humedad del aislado proteico de basul.

Se realizó por el método indirecto de Kjeldahl para determinar la cantidad de agua presente en la muestra, se basó en la pérdida de peso de la muestra por calentamiento en una estufa, refiriendo su peso al peso total de la muestra y expresada como porcentaje (anexo 3).

Cálculos:

$$\% H = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100 \quad \text{ec. (03)}$$

2. Cuantificación de proteínas presentes en el aislado proteico de basul.

Se realizó por el método indirecto de Kjeldahl ampliamente usado para la determinación del contenido de proteínas en los alimentos, la razón se debe a su grado de precisión y reproducibilidad consiste en la digestión ácida total de la proteína y conversión cuantitativa de nitrógeno a NH_3 que se valora por retrotitulación (anexo 4).

Cálculos:

$$\% = \frac{N \times V \times 14 \times 100 \times \text{Factor}}{m \times 100} \quad \text{ec.(04)}$$

Donde:

V: Volumen gastado del ácido sulfúrico.

N: Normalidad del ácido sulfúrico.

m: Peso de muestra en gramos.

Factor: 6,25. Para carne, pescado, huevo, leguminosas y proteínas en general.

3. Determinación de rendimiento.

Calculo del porcentaje de rendimiento en base seca se utilizó:

$$\% R = \frac{\text{proteína del aislado de basul extraído seco}}{\text{cantidad materia prima}} * 100 \quad \text{ec. (05)}$$

3.2.3. Métodos y técnicas utilizadas para evaluar las propiedades tecnofuncionales del aislado proteico de basul (*Erythrina edulis*) como son la (CRA), (CE) y (CEF).

Se realizó con la metodología citado por Rivera (2006) con los siguientes detalles:

1. Capacidad de retención de agua (CRA)

- ✓ Se preparó una solución proteica al 1 % (P/V), en agua destilada (100 ml) la solución se agitó por unos minutos hasta la disolución total del aislado proteico.
- ✓ 25 ml de la solución anteriormente preparada fueron colocados en beakers y sus pH ajustados a 2, 4, 6 y 8 se utilizó las soluciones de HCl 1N o NaOH 1N.
- ✓ Cada solución se llegó a incubar a temperatura ambiente (aprox. 25 °C) por 15 minutos.
- ✓ Se pesó los tubos de la centrifuga vacíos, luego se agregó las soluciones y se volvió a pesar.
- ✓ Las soluciones se centrifugaron a 4000 y 5000 rpm por 15 minutos; luego de centrifugar se realizó el pesado de los tubos y a continuación se retiró el sobrenadante y se pesó el precipitado.
- ✓ La capacidad de retención de agua se calculó como la diferencia entre el peso hidratado y el peso original en un gramo de proteína, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{CRA} = \frac{(\text{peso hidratado} - \text{peso inicial})}{\text{peso inicial}} \quad \text{ec. (06)}$$

CRA = capacidad de retención de agua expresada en ml de agua por g de muestra.

2. Capacidad emulsificante (CE).

Se realizó con la metodología citado por Armenta (2012) con los detalles siguientes:

- ✓ Se preparó soluciones proteicas al 0,1 %, 0,2 % y 0,4 % con una solución de NaCl 1M (50 ml por cada solución a preparar).
- ✓ El pH de cada solución se ajustó a 4,6 y 8 con una solución de HCl 1N o NaOH 1 N.

- ✓ Cada solución fue incubadas a temperatura ambiente (aprox. 25 °C) por 15 minutos.
- ✓ Las dispersaciones se agitó a velocidad media/alta por 30 segundos en una licuadora.
- ✓ Posteriormente se añadió a la mezcla a una velocidad de 1 ml/segundo el aceite de maíz hasta quebrar la emulsión, se llegó a visualizar finas gotas (tipo roció) de aceite.
- ✓ Se procedió a hacer el mismo procedimiento en una solución sin proteína (blanco).
- ✓ La capacidad emulsificante se calculó según la siguiente formula:

$$CE = \frac{(\text{Aceite añadido (ml)} - \text{Aceite añadido blanco (ml)})}{50 \text{ ml solución}} * 100 \quad \text{ec. (07)}$$

3. Capacidad de formación de espuma (CFE).

Se realizó con la metodología citado por Silva *et al.* (2015) con los detalles siguientes:

- ✓ Fueron preparados las soluciones proteicas en un volumen de 100 ml de 0,5 a 1 y 1,5 % de aislado proteico de basul con agua destilada, ajustando el pH a 5,7 y 9 de cada solución proteica.
- ✓ Una vez ajustado el pH se realizó la dispersión, se procedió a licuar a una velocidad de 6000 rpm por un tiempo de 2 minutos.
- ✓ El batido se transfirió a una probeta graduada y se determinó el porcentaje de volumen incrementado a los 30 segundos según la siguiente fórmula:

$$CFE (\%) = \frac{(\text{Volumen después del batido} - \text{Volumen antes del batido})}{\text{Volumen antes del batido}} * 100\text{ec.} \quad (08)$$

3.3. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

3.3.1. Diseño factorial

Con un diseño factorial 2² se estudió el efecto de dos factores considerando dos niveles en cada uno, cada réplica de este diseño consiste de 2 × 2 = 4 combinaciones o tratamientos se consideraron como variables de entrada o independiente: el pH y tiempo con los siguientes niveles pH de 9 y 11 y tiempo de 60, 90 minutos como variable de respuesta, salida o dependiente: se realizó

la extracción de las proteínas del basul, se cuantifico las proteínas presentes en el aislado proteico de basul y se evaluó las propiedades tecnofuncionales del aislado proteico de basul como la capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de emulsificante (CE) y capacidad de formación de espuma (CEF). Se realizó un ANOVA y la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95 %. Para ello se realizó utilizando el programa Excel (2010), el software estadístico STATGRAPHICS Plus 5.1 (Gutiérrez *et al.*, 2008).

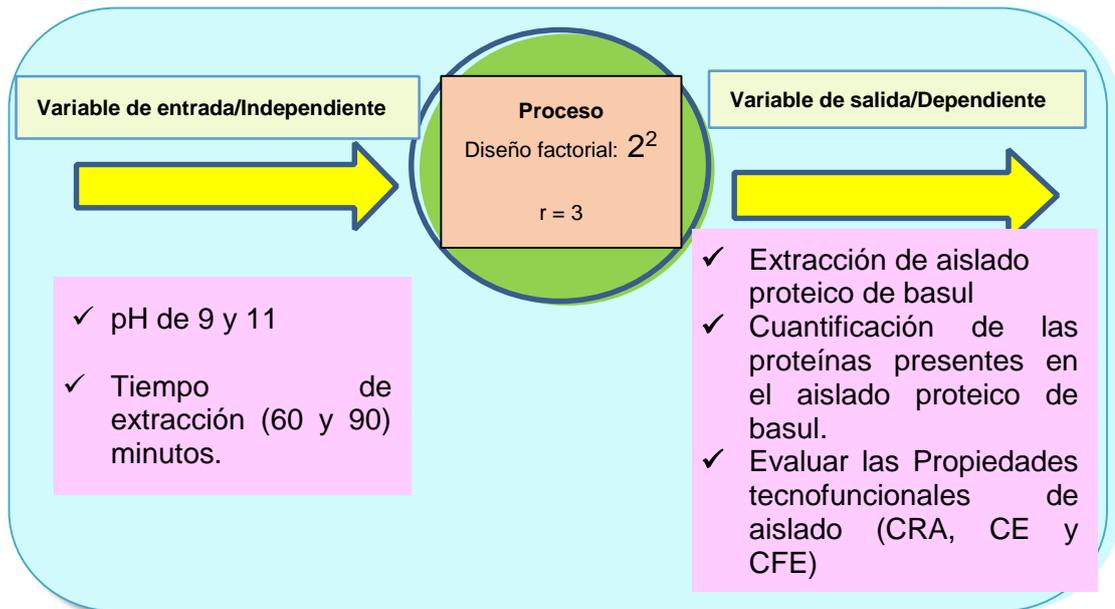


Figura 7. Variables independientes y dependientes de la investigación.

CAPÍTULO 4
RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Resultados de la extracción de proteínas de basul a pH de 9 y 11 y tiempos de 60 y 90 minutos.

Tabla 7. *Extracción de proteínas de basul en diferentes tratamientos.*

Tratamiento	pH	Tiempo	Replica	Harina de basul (g)	Peso de la proteína en (g)	% Rendimiento
Tratamiento 1	9	60	R1	50	5.3122	10.6244
			R2	50	5.5113	11.0226
			R3	50	5.1521	10.3042
Tratamiento 2	9	90	R1	50	7.3662	14.7324
			R2	50	5.8852	11.7704
			R3	50	4.6758	9.3516
Tratamiento 3	11	60	R1	50	4.2423	8.4846
			R2	50	4.1723	8.3446
			R3	50	4.6128	9.2256
Tratamiento 4	11	90	R1	50	5.2827	10.5654
			R2	50	5.0902	10.1804
			R3	50	4.8456	9.6912

Tabla 7 detalla el promedio de las réplicas de basul, donde el rendimiento de la extracción proteica y el mayor rendimiento es el tratamiento 2 en la réplica 1 acondicionado a un pH de 9 solubilización a un tiempo de 90 minutos obteniendo un rendimiento de 14,7324 % del extracto del aislado proteico y a la vez se puede observar la muestra con menor rendimiento entre todos los tratamientos esto es el tratamiento 3 en la réplica 2 en condiciones a pH de 11 en un tiempo de 60 minutos obteniéndose 8,3446 % del extracto de aislado proteico.

El pH acondicionado para la extracción, rendimientos en la extracción del aislado proteico entre los niveles de pH y tiempo se detalla a continuación:

- ✓ El tratamiento 1 en la réplica 2 a un pH de 9 y tiempo de 60 minutos de solubilización, el rendimiento es 10,6244 % de extracción del aislado proteico.

- ✓ El tratamiento 3 en la réplica 3 a un pH de 11 y tiempo de 60 minutos de solubilización, el rendimiento es 9,2256 % de extracción del aislado proteico.
- ✓ El tratamiento 4 en la réplica 1 a un pH de 11 y tiempo de 90 minutos de solubilización, el rendimiento es 10,5654 % de extracción del aislado proteico.

Tabla 8. ANOVA para el rendimiento por pH y tiempo en la extracción de proteína de basul.

Fuente	Suma de Cuadrados	de g.l	Cuadrado Medio	Razón - F	Valor - P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:pH	10.6668	1	10.6668	5.46	0.0476
B:Tiempo	5.72065	1	5.72065	2.93	0.1253
INTERACCIONES					
AB	0.0191201	1	0.0191201	0.01	0.9236
Residuos	15.6169	8	1.95212		
Total (corregido)	32.0236	11			

* Evaluados a $\alpha = 0,05$

Fuente: STATGRAPHICS Plus 5.1

La tabla 8 ANOVA indica la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que a un pH el valor-P es menor que 0,05 este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la extracción de proteína con un 95 % de nivel de confianza, es decir los niveles de pH en la solubilización influyen en la extracción de la proteína, mientras tanto el tiempo el valor-P es mayor que 0,05 por lo tanto no influye el tiempo en el rendimiento sobre la extracción de proteína.

Anexo 7 detalla la diferencia estadística que existe entre los tratamientos en condiciones a pH de 11 es diferente de pH de 9 en la extracción de proteína.

Esto significa que a un nivel de pH de 9 será mayor en el rendimiento de extracción de la proteína.

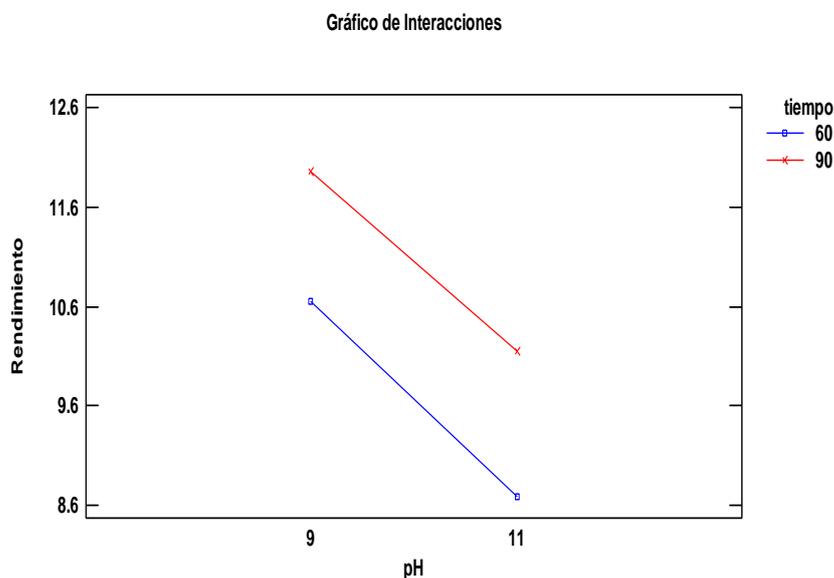


Figura 8. Interacción de los factores pH y tiempo respecto al rendimiento de extracción.

La figura 8 indica a un pH de 9 y tiempo de 90 minutos, pH de 9 y tiempo de 60 minutos el % de rendimiento es mayor. El mayor rendimiento de extracción se obtendrá a un pH de 9 y tiempo de 90 minutos.

En los estudios de extracción de aislado proteico de tarwi (*Lupinus mutabilis*) el rendimiento fue de 35 % (Urrutia, 2010), seguido por Arango *et al.* (2012) la extracción de la proteína de basul (*Erythrina edulis*) proteína fue 18,4 % en base seca. Los rendimientos de extracción con una relación harina/solvente de 1:40 y tiempo 60 min fue de 62 % de proteína; sin embargo, en la extracción de la proteína de chía (*Salvia hispánica L.*) el contenido proteína fue de 22,7% con un rendimiento de extracción de 24,55 % (Sandoval, 2012).

Se muestra los resultados en la (tabla 8 y figura 8) la extracción del aislado proteico de basul el tratamiento 2 en la réplica 1 acondicionado a un pH de 9 solubilización a un tiempo de 90 minutos obteniendo un rendimiento de 14,7324 % del extracto del aislado proteico, lo cual es menor en rendimiento a de tarwi, basul y chía. La cantidad de harina a solubilizar en el sistema harina y solvente, influye significativamente en la composición y cantidad porcentual de la proteína recuperada en la precipitación isoelectrica, la cantidad de solvente debe ser adecuada para que no se saturen los componentes solubilizados (Urrutia, 2010).

Al respecto Fennema, (2000) para aislados proteicos recomienda realizar la extracción de proteínas en el rango de pH de 8 y 9. En muchos casos, la precipitación provocada por el aumento de la fuerza iónica es reversible. Mediante una simple diálisis se puede eliminar el exceso de soluto y recuperar tanto la estructura como la función original y a veces es una disminución en la fuerza iónica la que provoca la precipitación; así las proteínas que se disuelven en medios salinos pueden desnaturalizarse al dializarlas frente a agua destilada, y se renaturalizan cuando se restaura la fuerza iónica original (Badui, 2006).

4.2. Resultados de la cuantificación de las proteínas presentes en el aislado proteico de basul.

Tabla 9. *Contenido de proteína y humedad en diferentes tratamientos del aislado proteico de basul.*

Tratamientos	Proteína (%)	Humedad (%)
Tratamiento 1	62,698 ± 3,8867	10,432 ± 0,3956
Tratamiento 2	68,967 ± 6,028	19,659 ± 0,5453
Tratamiento 3	55,659 ± 2,5017	12,064 ± 0,3748
Tratamiento 4	54,427 ± 5,5737	11,173 ± 0,3676

La tabla 9 muestra la composición proximal del aislado proteico de basul, donde la proteína extraída es 68,967±6,0281 % es mayor, humedad 9,659±0,5453 % menor a comparación de los demás tratamientos.

Tabla 10. ANOVA por pH y tiempo del contenido de proteína del aislado proteico de basul.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	Razón	Valor - P
EFFECTOS					
PRINCIPALES					
A:pH	349, 235	1	349, 235	15, 74	0, 0041
B:Tiempo	19, 0378	1	19, 0378	0, 86	0, 3814
Interacciones					
AB	42, 2014	1	42, 2014	1, 90	0, 2052
Residuos	177, 541	8	22, 1926		
Total	588, 014	11			
(corregido)					

* Evaluados a $\alpha = 0,05$

Fuente: Statgrahics Centurión XVI, II

Tabla 10 ANOVA detalla la significancia de cada uno de los factores. Puesto que a un pH el valor-P es menor que 0,05 este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de proteína a un 95 % de nivel de confianza; es decir los niveles de pH en el contenido de proteína influyen, mientras tanto el tiempo, el valor-P es mayor que 0,05 por lo tanto no existe una diferencia estadísticamente significativa todos los rangos de tiempo no influyen en el contenido de proteínas presentes en el aislado proteico de basul.

Anexo 9 detalla la diferencia estadística que existe entre los tratamientos en condiciones de pH de 11 hay una diferencia a pH de 9 es por ello influye en el aislado proteico. Con un nivel de pH de 9 el % de proteína analizada en la muestra proteica es mayor.

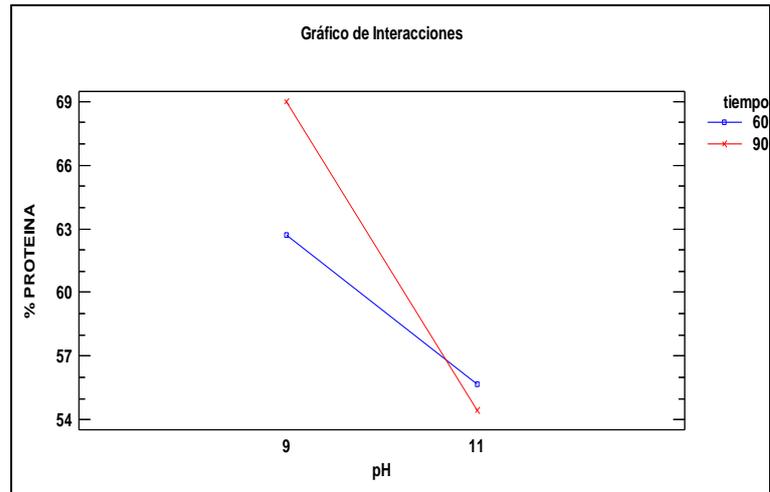


Figura 9. Interacción respecto al contenido de proteína.

La figura 9 muestra la gráfica con respecto al contenido de proteína en el aislado proteico de basul indica que a un pH de 9 y tiempo 60, 90 es mayor; además a pH de 11 y tiempo de 60,90 minutos el % de proteína es menor. Las mejores condiciones para obtener el % de proteína es a pH de 9 a un tiempo de 90 minutos es mayor.

La tabla 10 muestra el contenido de proteína en base seca del aislado proteico de basul. Al respecto Corzo *et al.* (2000) obtuvo un aislado proteico de frijol terciopelo sin desgrasar la humedad de $8,09 \pm 0,2$ %, proteína $65,98 \pm 0,85$ % en base seca; Arango *et al.* (2012) que obtuvo en aislado proteico de basul (*Erythrina edulis*) con 62 % de extracto proteico en base seca. Con un tiempo de 60 min y una relación harina: solvente de 1:40. Urrutia (2010) obtuvo aislado proteico a partir de tarwi (*Lupinus mutabilis*) utilizando HCl 0,1 N y NaOH 0,1 N., dichos valores considerados como óptimos fueron los factores pH de extracción de 9,3 relación harina/solvente de 1:28 y temperatura de extracción 43°C , el análisis proximal reportó una humedad de 4,87 % y proteína de 92,83 %.

Tabla 11. ANOVA para el contenido de humedad en la proteína de basul.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	Razón - F	Valor - P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:pH	4,35162	1	4,35162	9,65	0,0145
B:Tiempo	0,64445	1	0,64445	1,43	0,2661
Interacciones					
AB	0,288083	1	0,288083	0,64	0,4472
Residuos	3,60678	8	0,450847		
Total	8,89093	11			

(corregido)

* Evaluados a $\alpha = 0,05$

Fuente: Statgraphics Centurión XVI, II

Según análisis de varianza tabla 11 muestra significancia de cada uno de los factores. Puesto que a un pH el valor-P es menor que 0,05 este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre % de humedad a un 95 % de nivel de confianza; es decir los niveles de pH en el % de humedad influyen, mientras tanto el tiempo, el valor-P es mayor que 0,05 por lo tanto no existe una diferencia estadísticamente significativa todos los rangos de tiempo no influyen en el % de humedad para la proteína en el aislado proteico de basul.

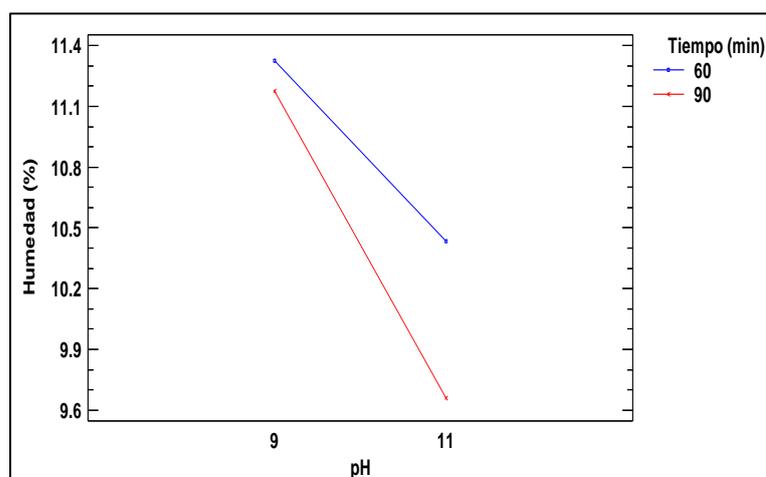


Figura 10. Interacción respecto al contenido de Humedad.

La figura 10 muestra el pH y tiempo en función a la humedad en el aislado proteico de basul indica que a un pH de 9 tiempo de 60 y 90 es mayor; además a pH de 11 tiempo de 60 y 90 el % de humedad es menor. Las condiciones de % humedad es menor evidentemente a un pH de 11 y tiempo de 90 minutos.

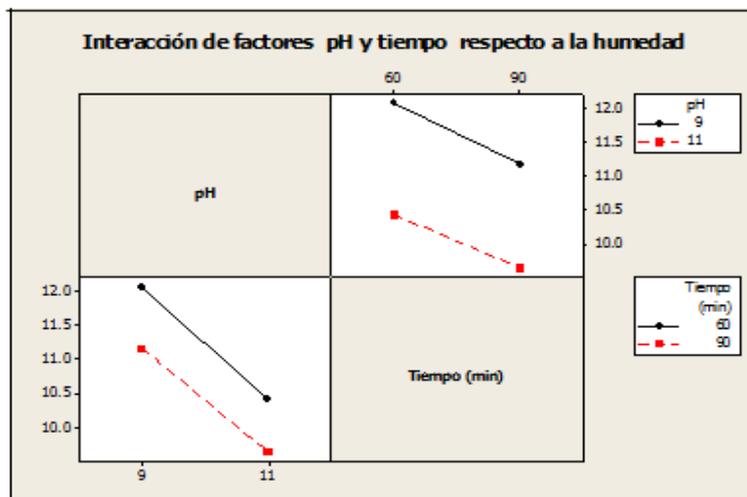


Figura 11. Interacción de pH y tiempo respecto a humedad.

La figura 11 muestra que no hay interacción de factores pH y tiempo respecto a la humedad a pH de 9 y a tiempo de 60 minutos el % de humedad es mayor en el aislado proteico de basul; sin embargo, a pH de 11 y tiempo 90 minutos la humedad es menor en el aislado; por lo tanto, podemos decir que es apropiado aislar proteína con estos parámetros ya que se obtiene proteína con menor contenido de humedad en base seca.

La extracción del aislado proteico de basul sin desgrasar en suspensión harina/agua 1:10 (p/v) acondicionado en medio alcalino a pH de 9 y 11 para la solubilización de proteína y con tiempos de 60 y 90 podemos apreciar en la tabla 11 muestra la composición química proximal donde la humedad es $9,659 \pm 0,5453$ % menor; figura 10 y las mejores condiciones para obtener mayor % de la proteína en el aislado proteico es evidentemente usando pH de 11 y tiempo de 90 minutos donde el porcentaje de humedad es menor, el cual favorece el almacenamiento seguro y disminuye la formación de microorganismos. Es mayor a comparación con otra investigación como el tarwi; sin embargo, la humedad del aislado proteico de basul se encuentra con una diferencia mínima del frijol terciopelo. Esto nos indica que el valor de humedad del aislado nos permite almacenarlo hasta su uso sin riesgo de que sufra

alteraciones químicas o de que crezcan microorganismos. Cabe mencionar la humedad del aislado proteico se encuentra dentro del rango aceptable según las NTP 209.031.1983 indica respecto a harinas, el contenido de humedad máxima es de 15 % para su uso y posterior almacenamiento.

4.2.1. Rendimiento en % del aislado proteico de basul.

Tabla 12. Rendimiento en diferentes tratamientos.

Tratamientos	Rendimiento (%)
Tratamiento 1	11,921 ± 0,4510
Tratamiento 2	13,644 ± 3,4907
Tratamiento 3	9,512 ± 0,5693
Tratamiento 4	11,293 ± 0,5423

La tabla 12 muestra el rendimiento en base seca del aislado proteico de basul donde el mayor rendimiento se obtuvo a un pH de 9 y tiempo de 90 minutos es 13,644±3,4907 % de rendimiento y a pH de 11 y tiempo de 60 minutos fue menor de 9,512±0,5693 % el rendimiento en base seca.

Tabla 13. ANOVA para rendimiento del aislado proteico de basul.

Fuente	Suma de Cuadrados	de g.l	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:pH	16, 9942	1	16, 9942	5, 23	0, 0516
B:Tiempo	9, 20778	1	9, 20778	2, 83	0, 1309
INTERACCIONES					
AB	0, 00237952	1	0,0023792	0,00	0, 9791
Residuos	26, 0136	8	3, 25169		
Total (corregido)	52, 2179	11			

* Evaluados a $\alpha = 0,05$

Fuente: Statgrahics Centurión XVI, II

Según análisis de varianza tabla 13 existe un efecto estadísticamente significativo de los factores y la interacción de estos sobre el rendimiento de extracción de aislado proteico del basul, a un 95 % nivel de confianza; además la prueba de comparación de medias de Tukey (anexo 12) se puede afirmar que la media de los tratamientos respecto al porcentaje de rendimiento tiene diferencia significativa en el factor pH de 9 el % de rendimiento es mayor.

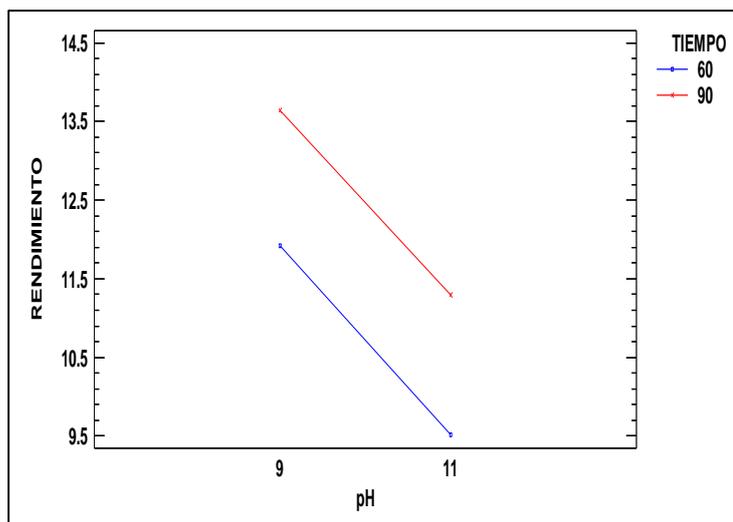


Figura 12. Interacción de factor pH y tiempo respecto al rendimiento.

La figura 12 muestra la gráfica respecto al rendimiento a un pH de 9 y tiempo de 90 minutos el porcentaje de rendimiento es mayor; además a un pH de 11 y tiempo de 60 minutos el % de rendimiento es menor.

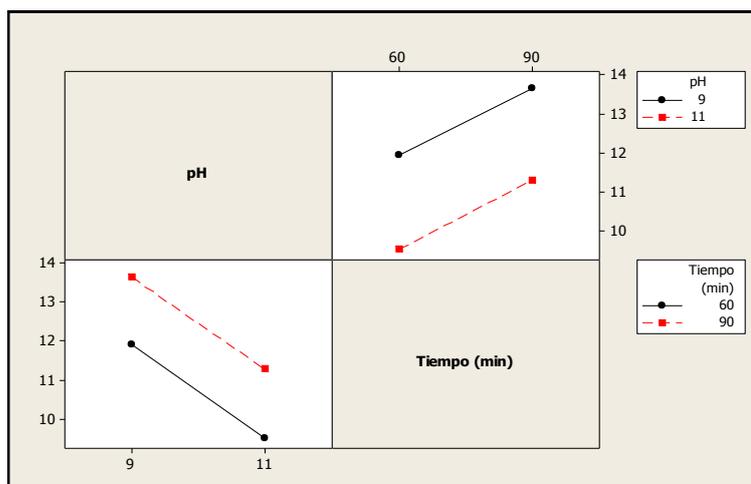


Figura 13. Interacción de factores respecto al rendimiento del aislado proteico.

La figura 13 muestra que no hay interacción, además se puede apreciar la diferencia existente entre las medias donde a pH de 9 y tiempo de 90 minutos el rendimiento de extracción es mayor; pH de 11 y tiempo de 60 minutos el rendimiento del aislado proteico es menor.

Al respecto Ávila (2011) en su investigación obtuvo aislado proteico de soya a escala piloto con una relación solido/liquido 1:6, a pH de 9,5 tiempo de agitación de 30 min y centrifugación a 12000 rpm siendo el rendimiento en peso de 24,55 % respecto a la harina desgrasada de soya; Callisaya (2009) obtuvo aislado proteico de la harina desgrasada Quinoa-Cañahua en el rango de pH de 8 a 8,9 con un tiempo de extracción óptimo de 60 minutos y agitación continua en condiciones ambientales el rendimiento para quinua fue 85,9 % y cañahua 82,5 % en base seca; según Sandoval (2012) obtuvo aislado proteico de reserva de chía el rendimiento de proceso de extracción 24,55 % en base seca; Urrutia (2010) obtuvo aislado proteico a partir de tarwi (*Lupinus mutabilis*) desgrasado con un rendimiento de 35 %; Arango *et al.* (2012) obtuvo el aislado proteico a partir de harina de basul sin desgrasar, la extracción con una relación harina/solvente de 1:40 y tiempos de 20 y 60 min. El rendimiento fue de 54 %.

Estudio de composición proximal de basul se observa en la tabla 13, la figura 12 y anexo 12 el rendimiento de la proteína a un pH de 9 y tiempo de 90 minutos el rendimiento es $13,644 \pm 3,4907$ % en base seca es menor en comparación a otras investigaciones como el basul, quinua-cañahua y tarwi, Esto influye debido a varios factores como pérdidas de muestra durante el proceso de obtención de la harina, molienda no fue homogéneo por la poca cantidad de la materia prima, produjo gránulos de diferente tamaño, precipitación harina no desgrasado de basul por lo que no es posible su recuperación mediante la precipitación isoeléctrica, la solubilidad de una proteína es mínima en su punto isoeléctrico, ya que su carga neta es cero y desaparece cualquier fuerza de repulsión electrostática que pudiera dificultar la formación de agregados, tiempos, pH, temperatura, solvente a utilizar, etc.

4.3. Resultados de la evaluación de las propiedades tecnofuncionales del aislado proteico de basul (*Erythrina edulis*)

Las propiedades funcionales muestran sus cualidades de las proteínas, su uso comercial en la fabricación de productos alimenticios a los cuales confieren sus propiedades físicas y químicas y que contribuye a la calidad final del producto. Las propiedades funcionales permiten predecir el comportamiento de los

ingredientes proteicos dentro de un producto alimenticio, lo cual determinará su campo de aplicación en la industria de alimentos.

4.3.1. Capacidad de retención de agua(CRA)

Tabla 14. Capacidad de retención de agua CRA (g agua/g proteína).

Tratamiento	pH	Tiempo	Replica	CRA: (g agua/g proteína)
Tratamiento 1	9	60	R1	2.6792
			R2	2.4567
			R3	2.0554
Tratamiento 2	9	90	R1	2.3665
			R2	2.4532
			R3	2.6543
Tratamiento 3	11	60	R1	2.6976
			R2	2.5643
			R3	2.1041
Tratamiento 4	11	90	R1	2.7567
			R2	2.4532
			R3	2.4356

Tabla 14 detalla el promedio de las réplicas para la CRA: (g agua/g proteína) donde el tratamiento 4 en la réplica 1 a un pH de 11 y a un tiempo de 90 minutos la capacidad de retención de agua 2,75 g agua/g proteína es mayor; el tratamiento 1 en la réplica 3 a pH de 9 y a tiempo de 60 minutos y la capacidad de retención de agua es 2,05 g agua/g proteína es menor.

Tabla 15. ANOVA respecto a la CRA del aislado proteico de basul (g de agua/g de proteína).

Fuente	Suma de Cuadrados	de g.l	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:pH	0.196173	1	0.196173	6.99	0.0268
B:Tiempo	0.0250345	1	0.0250345	0.89	0.3697
RESIDUOS	0.252688	9	0.0280765		
Total	0.473896	11			
(corregido)					

* Evaluados a $\alpha = 0,05$

Fuente: Statgrahics Centurión XVI, II

La tabla 15 ANOVA descompone la variabilidad de CRA: (g agua/g proteína) en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que un valor-P es menor que 0.05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre CRA: (g agua/g proteína) con un 95.0% de nivel de confianza.

La prueba de comparación múltiple anexo 16 afirma que la media de los tratamientos respecto a la CRA de aislado proteico de basul indica que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0 % de confianza.

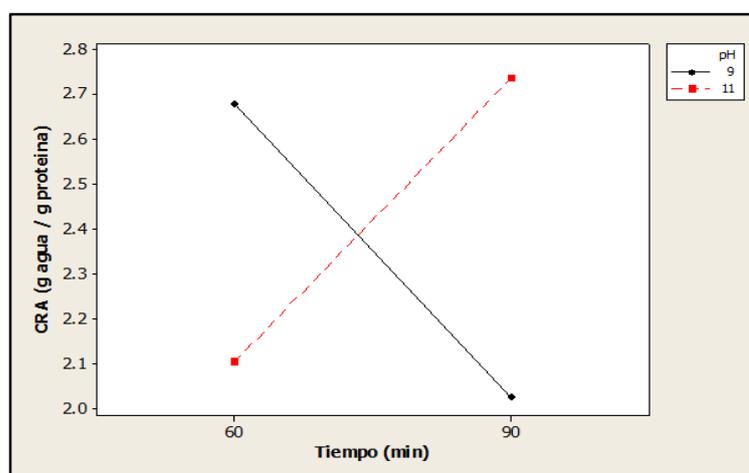


Figura 14. Interacción pH con el tiempo respecto a CRA.

La figura 14 nos indica a pH de 9 y tiempo de 60 minutos y pH de 11 a un tiempo de 90 minutos la capacidad de retención de agua es mayor; pH de 9 a un tiempo de 90 y pH de 11 a un tiempo de 60 la CRA es menor. Además, en un pH de 11 a un tiempo de 90 minutos la capacidad de retención de agua es 2,75 g agua/g proteína es mayor.

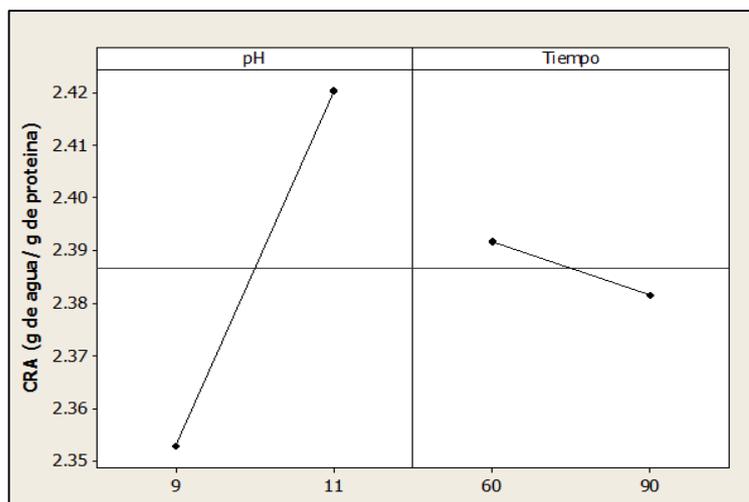


Figura 15. Efectos del pH y tiempo respecto a (CRA).

La figura 15 indica que a un pH de 11 y a un tiempo de 90 minutos la capacidad de retención de agua 2,75 g agua/g proteína es mayor; además en un pH de 9 y a tiempo de 60 minutos y la capacidad de retención de agua es 2,05 g agua/g proteína es menor.

Al respecto Rivera (2006) en su investigación la capacidad de retención de agua (CRA) del aislado proteico de quinua orgánica (*Chenopodium quinoa*) no existen diferencias estadísticamente significativas

($p > 0,05$) entre los diversos pH, de modo que los valores encontrados van de un mínimo de 2,5 ml/g aislado proteico a pH 5, hasta un valor máximo de 3,0 ml agua/g aislado a pH de 3; seguido por Ávila (2011) que obtuvo en el aislado proteico de soya valores de capacidad de absorción de agua para el hidrolizado de 2,45 g de agua/g de proteína a pH de 10; seguido por Sandoval (2012) que obtuvo en aislados proteicos de semillas de *Jatropha curcas* con y sin testa, donde estos absorbieron 0,2 y 0,1 ml de agua/g de proteína respectivamente; Urrutia (2010) obtuvo el aislado proteico de tarwi con una capacidad de absorción de agua de 98 %; Silva (2006) obtuvo aislado proteico de quinua (*Chenopodium quinoa*) orgánica desgrasada que preparó mediante la extracción

a pH de 11 y precipitación a pH de 5 donde la capacidad de retención de agua (CRA) no fue afectada por el pH, registrándose una retención de agua entre 3,1/4 ml de agua por g de aislado proteico.

La figura 14 muestra la CRA que a un pH de 11 a un tiempo de 90 minutos la capacidad de retención de agua de 2,75 g agua/g proteína; respecto a otras investigaciones esta es mayor de *Jatropha curcas*, soya y quinua. Por consiguiente, tiene una alta capacidad para ser utilizado como suplemento de otros alimentos como bebidas para deportista, embutidos, salchichas, sopas y en productos deshidratados, por ejemplo, en el desarrollo de alimentos funcionales altamente proteicos (FAO y OMS, 2007). A comparación del girasol, basul y tarwi es menor la CRA de aislado proteico de basul, esto se debe al mayor grado de desnaturalización que presentan las proteínas, esto sugiere que para que un aislado proteico presente una alta CRA, no basta solamente con encontrarse desnaturalizado, sino que también es función de cómo se encuentran las moléculas proteicas en los agregados luego del tratamiento.

4.3.2. Capacidad emulsificante(CE)

Tabla 16. Capacidad emulsificante (CE) (ml aceite/50 ml solución).

Tratamiento	pH	Tiempo	Replica	CE: (ml aceite/50 ml solución)
Tratamiento 1	9	60	R1	0.3122
			R2	0.3140
			R3	0.3130
Tratamiento 2	9	90	R1	0.3201
			R2	0.2755
			R3	0.2955
Tratamiento 3	11	60	R1	0.2822
			R2	0.2821
			R3	0.2734
Tratamiento 4	11	90	R1	0.2788
			R2	0.2655
			R3	0.2955

Tabla 16 muestra la CE tratamiento 2 en la réplica 1 a un pH de 9 y tiempo de 90 minutos la capacidad emulsificante es 0,320 ml de aceite/50 ml de solución es

mayor; tratamiento 4 en la réplica 2 a pH de 11 y tiempo de 90 minutos la capacidad emulsificante es 0,265 ml de aceite/50 ml de solución es menor en el aislado proteico de basul.

Tabla 17. ANOVA para (CE) del aislado proteico de basul (ml de aceite/50 ml de solución).

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS					
PRINCIPALES					
A:pH	0,000416161	1	0,000416161	0,12	0,7481
B:Tiempo	0,00434778	1	0,00434778	1,24	0,3284
INTERACCIONES					
AB	0,000485161	1	0,000485161	0,14	0,7291
Residuos	0,014059	4	0,00351474		
Total (corregido)	0,0193081	7			

* Evaluados a $\alpha = 0,05$

Fuente: Statgraphics Centurión XVI, II

Según análisis de varianza tabla 17 se puede afirmar que ningún valor - P es menor que 0,05 ninguno de los factores pH, tiempo ni la interacciones de estos tiene un efecto significativo sobre CE con un 95 % de nivel de confianza.

La prueba de comparación múltiple de Tukey (anexo 22) afirma que la media de los tratamientos respecto a la CE de aislado proteico de basul no muestran diferencia significativa.

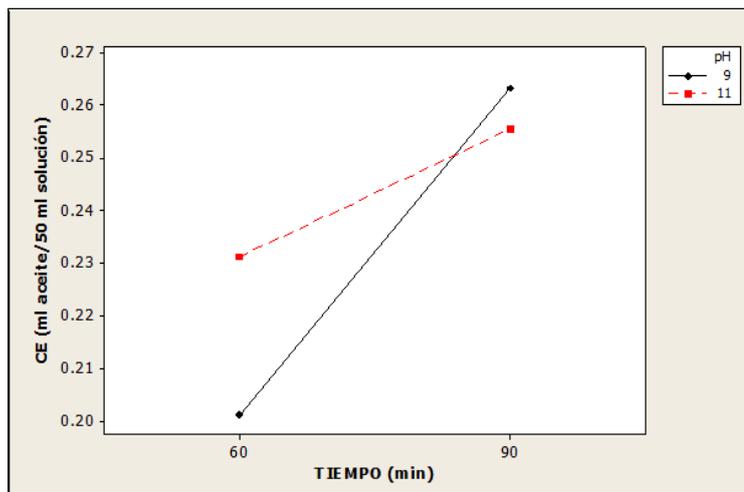


Figura 16. Interacción del pH con el tiempo respecto a CE.

La figura 16 muestra la integración respecto a CE indica que a un pH de 9 y 11, tiempo de 90 minutos la capacidad emulsificante es mayor; además a pH de 9 y 11 tiempo de 60 minutos la capacidad emulsificante es menor; tanto a pH de 9 a un tiempo de 90 minutos la capacidad emulsificante es 0,320 ml de aceite/50 ml de solución es mayor; mientras a pH de 11 y tiempo de 90 minutos la capacidad emulsificante es 0,265 ml de aceite / 50 ml de solución es menor en el aislado proteico de basul.

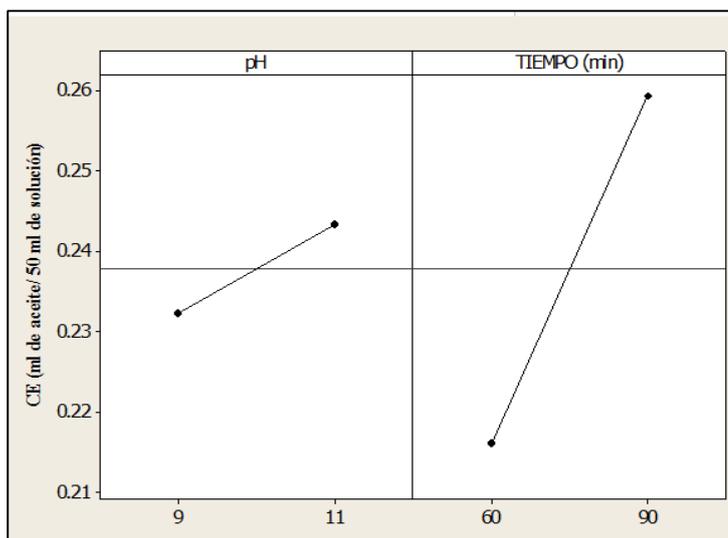


Figura 17. Interacción para CE.

La figura 17 muestra la interacción con respecto a CE indica que a un pH de 9 y 11 tiempo de 90 minutos la capacidad emulsificante es mayor; además a pH de 9 y 11 tiempo de 60 minutos la capacidad emulsificante es menor.

Según Wagner (2000) el proceso de formación de una emulsión consiste en crear área interfacial entre dos líquidos inmiscibles, generalmente aceite y agua, mediante trabajo mecánico. Una emulsión es un sistema termodinámicamente inestable y tiende a desestabilizarse por diferentes mecanismos (cremado, floculación, desproporción, coalescencia e inversión de fases), resultando en la separación parcial o total de las fases inmiscibles; al respecto Rivera (2006) en su investigación del aislado proteico de soya los resultados de la capacidad de emulsión presento 1,60 g de aceite/g de proteína, registrada a los 20 min de reposo; estudio realizado por Armenta (2012) obtuvo en aislados proteicos de *Jatropha curcas* sin testa, una capacidad de absorción de aceite de 0,2 ml de aceite/g de proteína; seguido por Urrutia (2010) obtuvo aislado proteico de tarwi (*Lupinus mutabilis*), donde la capacidad de absorción de aceite fue de 160 %; Sandoval (2012) obtuvo sobre el aislado proteico de reserva de chíá, los valores alcanzados de absorción de aceite es 1,60 g aceite/g de proteína, registrado a los 20 min de reposo.

Figura 16 indica que a aun pH de 9 y tiempo de 90 minutos la capacidad emulsificante es 0,320 ml de aceite/50 ml de solución fue mayor a comparación con los demás tratamientos que se realizó en el aislado proteico de basul; sin embargo, las investigaciones evidencian que es menor al tarwi. Esto se debe a las características de una emulsión y los resultados obtenidos mencionados se ven influidos por múltiples factores: tipo y geometría del equipo utilizado, intensidad de energía, velocidad de adición del aceite, volumen de la fase grasa, temperatura, pH, fuerza iónica, presencia de azúcares y agentes de superficie de bajo peso molecular, exposición al oxígeno, tipo de grasa, concentración de las proteínas solubles (Fennema, 1993). Otras investigaciones evidencian, que la capacidad de emulsión de basul es mayor a comparación de *Jatropha curcas*, chíá y soya. Esto se debe a la alta capacidad emulsificante. Por otra parte, la acción emulsificadora de las proteínas depende de la rapidez con la cual puedan migrar estos polímeros hacia la interfase aceite-agua y desdoblarse y reorientarse, de tal manera que sus sitios hidrófobos (apolares) estén dirigidos hacia la fase lipídica y los hidrofílicos (polares) hacia la acuosa; para ello es necesario que la molécula protéica tenga el balance adecuado de grupos

hidrófobos e hidrofílicos. Por lo tanto, pueden ser usados como agente emulsificante y extensor en muchas preparaciones alimenticias como los cárnicos, aderezos, etc.

4.3.3. Capacidad de formación de espuma (CFE).

Tabla 18. *Capacidad de formación de espuma CFE (%).*

Tratamiento	pH	Tiempo	Réplica	CFE (%)
Tratamiento 1	9	60	R1	26.7667
			R2	26.6667
			R3	30.6667
Tratamiento 2	9	90	R1	27.6667
			R2	45.3333
			R3	48.0000
Tratamiento 3	11	60	R1	64.0000
			R2	58.6667
			R3	45.3333
Tratamiento 4	11	90	R1	67.6667
			R2	68.0000
			R3	45.3333

En la tabla 18 indica que en el tratamiento 4 la réplica 2 y a pH de 11 a un tiempo de 90 minutos la capacidad de formación de espuma es 68 % siendo el mayor dato; a pH de 9 y tiempo de 60 minutos la capacidad de formación de espuma es 26 % por lo tanto es menor.

Tabla 19. Análisis de varianza ANOVA para la (CFE) del aislado proteico de basul.

Fuente	Suma de Cuadrados	de g.l	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:pH	2133, 33	1	2133, 33	15, 38	0, 0044
B:Tiempo	341, 332	1	341, 332	2,46	0, 1553
INTERACCIONES					
AB	5, 3332	1	5, 3332	0, 04	0, 8494
Residuos	1109, 33	8	138, 667		
Total (corregido)	3589, 33	11			

* Evaluados a $\alpha = 0,05$

Fuente: Statgrahics Centurión XVI, II

Según análisis de varianza tabla 19 muestra significancia de cada uno de los factores. Puesto que a un pH el valor-P es menor que 0,05 este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre CFE a un 95 % de nivel de confianza; es decir los niveles de pH en la CFE influyen, mientras tanto el tiempo, el valor-P es mayor que 0,05 por lo tanto no existe una diferencia estadísticamente significativa todos los rangos de tiempo no influyen en la CFE para el aislado proteico de basul.

En el Anexo 25 se puede observar la prueba de Tukey a un nivel de 95 % de confianza se puede afirmar que la media de los tratamientos respecto a la CFE tiene diferencia significativa respecto al factor pH. Más no para en factor tiempo. Entonces un nivel de pH de 11 la CFE es 68 % mayor.

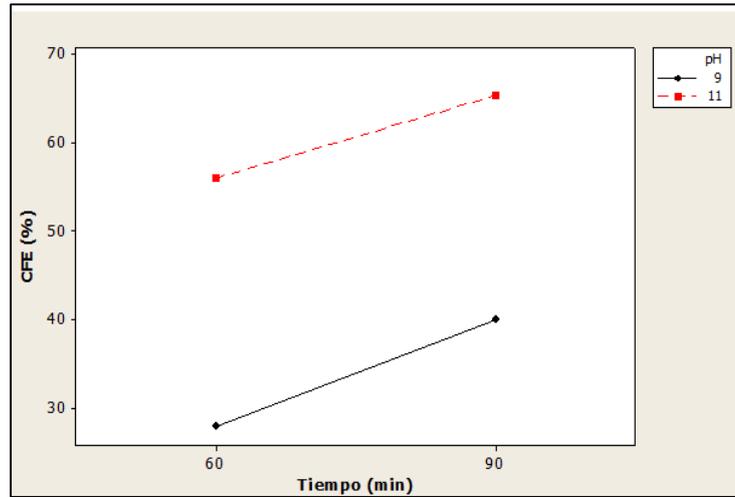


Figura 18. Interacción del pH con el tiempo respecto a CFE.

La figura 18 muestra que a pH de 11 a un tiempo de 60 y 90 minutos es mayor. Por lo tanto, a un pH de 9 y tiempo de 60 y 90 minutos la capacidad de formación de espuma es menor; lo cual indica a pH de 11 a un tiempo de 90 minutos la capacidad de formación de espuma es 68 % siendo el mayor dato.

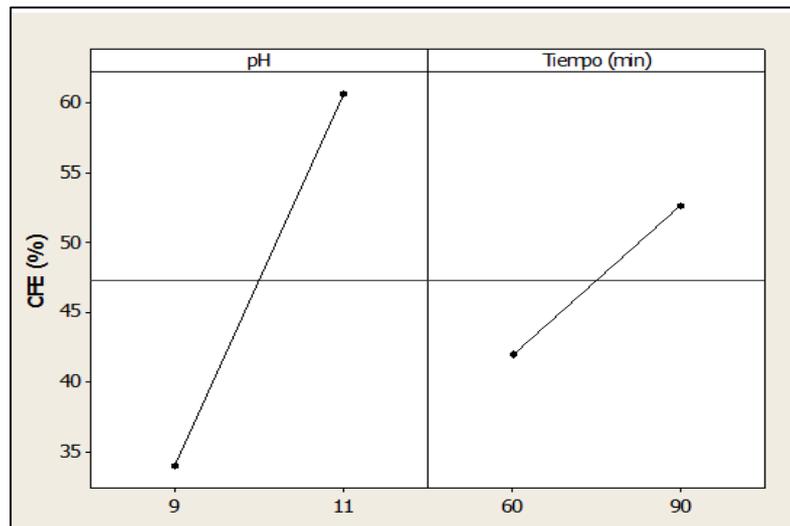


Figura 19. Interacción del pH con el tiempo respecto a CFE.

La figura 19 muestra la interacción donde a pH de 11 a un tiempo de 90 minutos y a pH de 11 a un tiempo de 60 minutos es mayor; lo cual indica a pH de 11 a un tiempo de 90 minutos la capacidad de formación de espuma es 68 % siendo el mayor dato.

El proceso de formación de una espuma consiste en la incorporación de gas, en general aire a una solución proteica con creación de área interfacial, o formar burbujas rodeadas por una película proteica (Braverman, 1980).

Al respecto Avila (2011) obtuvo en el hidrolizado-enzimático en la proteína de soya la capacidad de formación de espuma es 307,67 % y en hidrolizados 478,21 %; seguido por Sandoval (2012) obtuvo en aislado proteico de chía (*Salvia hispánica L.*), la capacidad de formación de espuma presentó un ligero incremento a pH de 6 y 8 con un porcentaje del 252,4 % y del 284,62 %. Armenta (2012) obtuvo el aislado proteico de *Jatropha curcas*, la capacidad de formación de espuma fue más baja a pH de 6 y el valor máximo de espuma formada encontró al elaborar de semillas sin testa que en el de semillas con testa, con un 71 y 39 % respectivamente; Urrutia (2010) obtuvo en aislado proteico de tarwi, la capacidad de formación en espuma 78 %.

La figura 18 y anexo 25 muestra la capacidad de formación de espuma (CFE) en donde se observa a pH de 11 y tiempo de 90 minutos la capacidad de formación de espuma es de 68 %; sin embargo, otras investigaciones evidencian es menor al de la soya, chía, *J. curcas* sin testa y tarwi. Esto significa que el pH influye significativamente en la capacidad de formación de espuma y cuanto más alto sea el pH la capacidad de formación de espuma es mejor, lo cual coincide en el estudio realizado ya que cuando el pH es alto la capacidad de formación de espuma es máximo y cuando el pH es bajo la capacidad de formación de espuma es mínimo. También se debe a varios factores pues para ejercer acción tensioactiva, la proteína debe ser rápidamente adsorbida en la interfase, o sea que debe difundir del seno de la solución hasta la interfase, penetrar en ella y acomodarse. En esta etapa se requieren moléculas solubles, pequeñas, flexibles y con adecuado balance hidrofóbico-hidrofílico. Posteriormente, las moléculas adsorbidas en la interfase deben ser capaces de interaccionar entre sí para formar una película proteica con propiedades reológicas adecuadas rodeando las burbujas, en esta etapa deben formar agregados de gran tamaño, mínima carga superficial y alta capacidad de absorción de agua. Este sistema tiende a desestabilizarse por diferentes mecanismos (drenaje del líquido, flotación de las burbujas, desproporción y colapso), siendo la película proteica la barrera mecánica que se opone a este proceso (Badui, 2006) las propiedades espumantes de la proteína de basul dependen de sus propiedades de superficie activas. Para obtener un buen incremento soluble y capaz de desdoblarse de la

interface, que orientan las superficies polares a las fases líquidas y a las no polares a las fases gaseosas. Las moléculas de proteína deben interactuar unas con otras, para formar una película estable y no debe ser muy fuerte para que la proteína se coagule y rompa la película, que provocara una ruptura de la espuma (Avila, 2011). También es una propiedad fundamental para la fabricación de distintos alimentos. Las espumas o batidos alimenticios tienen una gran aplicación en los sistemas alimenticios, tales como los merengues y otros productos de pastelería y confitería tal como la crema batida, algunas pastas y helados los soufflés (CODEX ALIMENTARIUS, 2007).

CONCLUSIONES

- ✓ A partir de la harina de basul sin desgrasar que reunió las características apropiadas debido a su contenido de proteína y menor porcentaje de humedad expresados en base seca, se pudo extraer aislado proteico con alto porcentaje de proteína; demostrándose que el factor pH influye en la extracción de la proteína para la obtención del aislado proteico de basul.
- ✓ Se cuantifico el porcentaje de proteína en el aislado proteico y se evidencio que a un pH menor se obtuvo mayor proteína en el basul (*Erythrina edulis*).
- ✓ Se evaluó las propiedades funcionales de la proteína de basul (*Erythrina edulis*). La CRA fue mayor al pH más alto y aun menor tiempo, la CE fue mejor a valores mayores de tiempo y pH; finalmente CFE es mayor a valores mayores de tiempo y pH. Estas propiedades tecnofuncionales que presenta determina su campo de aplicación en la industria de alimentos.

RECOMENDACIONES

- ✓ Por su alto contenido proteico y el nivel de aminoácidos esenciales, se recomienda utilizar el aislado proteico de la semilla de basul en la alimentación humana.
- ✓ Aislar proteína de basul por otros métodos de extracción que permita mejorar el rendimiento del contenido de proteínas.
- ✓ Con el fin de no encarecer el producto final es recomendable utilizar harina de basul sin desgrasar, pues desde el punto de vista tecnológico y por cuestiones de costos resulta más conveniente usar.
- ✓ Con el fin de determinar el potencial de aprovechamiento de la harina de basul se recomienda desarrollar investigaciones ya que encarece de antecedentes acerca de aislado proteico de basul, cuantificación de sus aminoácidos, componentes anti nutricionales, valor biológico y entre otros. En nuestro país a pesar de que Apurímac cuenta en gran cantidad con esta planta llamado basul.

SUGERENCIAS

- ✓ Realizar otros proyectos de investigación con la leguminosa basul por ser un producto con alto porcentaje de proteína.

- ✓ Adquirir materiales y equipos primordiales para posteriores investigaciones.

- ✓ Reforestación del cerco de la EPIA con las plantas de basul para posteriores estudios en investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Association of Official Analysis Analytical chemists, official methods of Analysis*
A.O.A.C., (2005). 18va ed. Editorial A.O.A.C. International, Estados Unidos. pp. 4 - 39.
- Arango, O.; Bolaños, V.; Ricaurte, D.; Caicedo, M.; Guerrero, Y. (2012). *Obtención de un extracto proteico a partir de harina de chachafruto*. Revista Universidad y Salud, Universidad de Nariño, vol. 14.
- Acero, L. (2002). *Guía para el cultivo y aprovechamiento del chachafruto o balú (Erythrina edulis)*. Revista Universidad y Salud. 2 ed. Editorial Triana ex Micheli. Bogotá.
- Acero, L. (1996). *Guía para el cultivo y aprovechamiento del chachafruto o balu (Erythrina edulis)*. Santa Fe de Bogotá, Colombia, ed. Convenio Andrés Bello.
- Araujo, V. (2005). *Estudio taxonómico de seis especies del genero Erythrina L. (Fabacease)*. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Mayor de San Marcos, Perú.
- Avila, C. (2011). *Determinación de las propiedades físico - químicas y funcionales el aislado hidrolizado enzimático de la proteína de soya a escala piloto, para aplicación en alimentos*. Tesis para la obtención del título de ingeniero agroindustrial, Facultad de Química y Agroindustria, Escuela Politécnico Nacional, Ecuador.
- Armenta, L. (2012). *Optimización de las variables de extracción para la opten ion de aislados proteicos de semillas de Jatropha curcas L. no toxica. Caracterización química, fisicoquímica, funcional y nutricional*. Tesis de grado de maestría en recursos naturales y medio ambiente, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Integral Regional Unidad Sinaloa - México.
- Badui, D. (2006). *Química de los alimentos*. 4ta ed. Editorial Pearson, mexicana. México. pp. 187 - 237.
- Braverman, J. (1980). *Introducción a la Bioquímica de los alimentos*. Ed. Bek. México. pp. 129-143.
- Bartholomai, G., y A. Pilosof. (2000). *Caracterización funcional y estructural de proteínas*. EUDEBA. CYTED. Buenos Aires, Argentina.

- Cheftel, J. (1989). *Proteínas alimentarias: Bioquímica, propiedades funcionales, valor nutricional, modificaciones químicas*; Ed. Acribia, Zaragoza, pp. 49 - 100.
- Callisaya, j., y J. Alvarado. (2009). *Aislados Proteínicos de Granos Alto andinos Chenopodiaceas; Quinoa (Chenopodium Quinoa)-Cañahua (Chenopodium Pallidicaule) por precipitación isoeléctrica*. Rev. Boliviana de Química. Volumen 26.
- Chang, R. (2007). *Química*. Novena edición, Editorial. McGraw-Hill, México. pp. 644.
- CODEX ALIMENTARIUS (2007). *Cereales, Legumbres, Leguminosas y Productos Proteínicos Vegetales*. Primera edición, Roma.
- Corzo, L.; Luis, Guerrero, C.; Betancur, D. (2000). *Extracción de las fracciones de almidón y proteína del grano de la leguminosa (Mucuna pruriens)*. Facultad de ingeniería química, Universidad autónoma de Yucatán - México.
- Delgado, N., y w. Albarracín. (2012). *Microestructura y Propiedades Funcionales de Harinas de Quinoa (Chenopodioum quinoa w) y Chachafruto (Erythrina edulis): Potenciales Extensores Cárnicos*. Universidad de Antioquia Colombia, Programa de Maestra en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias, Colombia.
- Escamilo, C. (2015). *El pajuro. Tesoro alimenticio escondido en los andes*. 1ra.edición, Editorial fondo editorial USMP., Lima - Perú. pp.60 – 70.
- FAO y OMS (2007). *Cereales, Legumbres, Leguminosas y Productos Proteínicos Vegetales*. Primera edición, Roma.
- Fennema, O. (1993). *Química de los alimentos*. 2da edición, Editorial Acribia., España.
- Fennema, O. (2000). *Química de los alimentos*. 3ra edición, Editorial Acribia., España.
- García, N. (2008). *Propagación vegetativa del porotón (Erythrina edulis Triana ex Micheli) utilizando tres procedencias, tres diámetros de estacas con y sin hormonas*. Tesis para optar por el título de Ingeniero Forestal, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Escuela de Ingeniería Forestal, Ecuador.

- Gonzales, M. (1999). *Caracterización fisicoquímica y valoración nutricional y funcional de un aislado proteico obtenido de la semilla de ébano (Pitheceffobium flexicaule benth)*, Tesis para la obtención de grado de doctor en ciencias con especialidad en alimentos, Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León - México.
- Hart, F. (1991). *Análisis moderno de los alimentos*; Ed. Acribia. Zaragoza – España.
- Pulido, H.; De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*, 2da edición, Editorial Mc Graw Hill, México.
- Murray, R; Granner, D; Mayes, P y Rodwell, V (1997). *Harper: Bioquímica ilustrada*
14ª Edición, Manual Moderno; Ciudad de México; México; pp 29 – 38
- Naranjo, M.; Bravo, M. (2013). *Obtención de Concentrado Proteico por Hidrólisis Enzimática a partir del Salvado de Arroz de Variedades ecuatorianas*. Tesis de grado previo a la Obtención del Título de: Ingenieras de Alimentos, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Ecuador.
- Nollet, L. (1996). *Handbook of Food Analysis*; M. Dekker, Nueva York.
- Osborne, D.; Voogt, P. (1986). *Análisis de los nutrientes de los alimentos*. Editorial Acribia, S.A, Zaragoza, España.
- OMS (2014). Recuperado de: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/131953/1/978920692695_spa.pdf (consultado el 27 de Setiembre de 2016).
- Patricio, N. (2008). *Propagación Vegetativa del Porotón (Erythrina edulis Triana ex Micheli). Utilizando tres procedencias, tres diámetros de estacas con y sin hormonas en la granja experimental “La Pradera” provincia de Imbabura*. Universidad Técnica del Norte, Proyecto de Tesis Presentado como requisito para Optar por el Título de Ingeniero Forestal, Ecuador.
- Peralta, C. (2014). *Instalación de módulos demostrativos para la crianza de animales menores con la especie de basul en la provincia de Andahuaylas - Apurímac. Convenio marco de cooperación interinstitucional entre la universidad Nacional José María Arguedas y la Asociación Paz y Desarrollo*.
- Pérez, G.; Martínez, C.; Díaz, E. (1979). *Evaluation of the protein quality of Erythrina edulis (balú)*. Arch Latino am Nutr.

- Pilosof, A. (2000). *Retención de agua. En su: Caracterización Funcional y Estructural de Proteínas*. Buenos Aires, Editorial Universitaria de Buenos Aires, Argentina.
- Ramírez, Y. (2004). *Obtención del aislado proteico de la Cañihua (Chenopodium Pallidicaul e Aellen), mediante el proceso químico y evaluación de sus propiedades funcionales*. Tesis de pregrado de la Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú.
- Rivera, M. (2006). *Obtención, caracterización estructural y determinación de las propiedades funcionales de un aislado proteico de quinua orgánica (Chenopodium quinoa)*. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero en Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química Universidad de Chile - Chile.
- Reynel, C.; León, J. (1990). *Árboles y arbustos andinos para agroforestería y conservación de suelos*. Tomo II. Proyecto FAO / Holanda / DGFF. Perú. pp. 48.
- Scilingo, A. (2000). *Propiedades estructurales y funcionales de aislados proteicos de soya modificados. Efecto de la presencia de calcio*. Tesis Doctoral. Buenos Aires, Universidad Nacional de la Plata, Facultad de ciencias exactas, Argentina.
- Silva, S.; Crisóstomo, O.; Álvarez, E. (2015). *Evaluación de Propiedades tecnológicas que provee la harina de pajuro (Erythrina edulis) a las redes estructurales de Muffins*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima - Perú.
- Silva, M. (2006). *Obtención, caracterización y relación estructura – funcionalidad de un aislado proteico de quinua (Chenopodium quinoa) orgánica proveniente de la VI región de Chile*. Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero en Alimentos, Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química, Universidad de Chile, Santiago - Chile.
- Sosa, C. (2000). *Influencia de dos métodos de extracción de un aislado proteico de Lupino (Lupinus mutabilis) en sus propiedades funcionales*. Tesis para optar el grado de Magíster Scientiae, Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima.

- Salgado, P. (2009). *Proteínas de Girasol: Aislamiento, caracterización y aplicación en la industria alimentaria*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata - Argentina.
- Sandoval, M. (2012). *Aislamiento y caracterización de las proteínas de reserva de chía (Salvia hispánica L.)*. Tesis para optar el grado de maestro en ciencias y tecnología de alimentos. Universidad autónoma de Queretaro, Facultad de Química. Maestría en Ciencias y Tecnología de Alimentos, México.
- Serratos, J. (2001). *Extracción y caracterización de proteínas de almendra de las semillas maduras (Enterolubium cycloparcum) para su aprovechamiento alimenticio*. Tesis para Optar Maestro en Ciencias, Universidad de Colima - México.
- Urrutia, G. (2010). *Determinación de parámetros óptimos de extracción alcalina para la obtención de aislado proteico a partir de tarwi (Lupinus mutabilis)*. Tesis de Pregrado Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Abancay, Perú. pp.74-76.
- UNAM (2008). *Fundamentos y Técnicas de Análisis de Alimentos*. Departamento de Alimentos y Biotecnología, Facultad de Química.
- Wagner, J. (2000). *Propiedades superficiales*. En *Caracterización funcional y estructural de proteínas*.

ANEXOS

Anexo 1. Fotos de la especie basul (*Erythrina edulis*).



Árbol de basul



Tallos de basul



Hojas de basul



Flor de basul



Frutos de basul en vaina



Frutos de basul

Anexo 2. Fotos de realización de la parte experimental.



Materia prima



Harina de basul



Pesado de la harina de basul



Dilución de la harina con agua destilada



Extracción alcalina



Agitación



Baño maría



Primera Centrifugación



Precipitación isoelectrica



Segunda Centrifugación



Aislado proteico húmedo



Secado del aislado proteico



Molienda del aislado proteico



Pesado del Aislado proteico



Muestras para el análisis de la proteína aislada



Propiedad funcional (CRA)



Propiedad funcional (CE)



Foto 18: Propiedad funcional (CFE)

Anexo 3. Determinación de humedad de la harina y del aislado proteico de basul.

a) Procedimiento:

- ✓ Se graduó la estufa y se esperó que llegue a una temperatura de 103 °C.
- ✓ Se tuvo ya listo las placas limpias y secas.
- ✓ Con la ayuda de una pinza las tres placas Petri con sus respectivas tapas semiabiertos y se dejó por un tiempo de 1 hora.
- ✓ Se retiró las tres placas Petri con sus respectivas tapas con la ayuda de pinzas y colocar en la campana de Durgan inmediatamente tapar y dejar enfriar por un tiempo de 45 minutos.
- ✓ Se pesó las placas con la ayuda de pinzas el cual será el (P₁).
- ✓ Se pesó 5 g de la muestra y se registró los datos el cual fue el peso inicial (P₂).
- ✓ Posteriormente se colocó la muestra sin tapa con la ayuda de una pinza en la estufa a 103 °C por un lapso de 5 horas.
- ✓ Se retiró con la ayuda de la pinza las tres placas con sus respectivas tapas con muestra y se dejó enfriar por 30 minutos en la campana de Durgan.
- ✓ Se registró el peso de las placas tapadas con sus respectivas muestras.
- ✓ Se colocó en la estufa las 3 placas destapadas por 1 hora y se volvió a repetir el mismo procedimiento hasta registrar pesos constantes
- ✓ Se registró el peso final que es el peso contante (P₃).
- ✓ La determinación se realizó por triplicado.

Cálculos:

$$\% H = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100$$

Anexo 4. Determinación de proteínas de harina y del aislado de basul por el método de kjeldahl.

a) Procedimiento:

- ✓ Se verificó el buen funcionamiento de todo el equipo Kjeldahl, digestor, extractor y destilador.
- ✓ Se realizó el lavado con agua destilada los refrigerantes y los extremos de recolección del destilado
- ✓ Se pesó con precisión la muestra 2 gramos.
- ✓ Se transfirió cada una de las muestras pesadas a sendos balones Kjeldahl previamente marcados.
- ✓ Se agregó a cada balón que contiene la correspondiente muestra, 20 ml de H_2SO_4 .
- ✓ Se agregó a cada balón 2 pastillas de catalizador.
- ✓ Se colocó los balones que contienen la mezcla de la muestra, el ácido sulfúrico y el catalizador sobre las resistencias del digestor Kjeldahl.
- ✓ Se encendió las resistencias de calentamiento y el extractor del equipo Kjeldahl reactor.
- ✓ Se permitió transcurrir la digestión, vigilando que no haya escape de gases y rotando el balón esporádicamente para facilitar la digestión del material que salta a las paredes, hasta que la mezcla sea transparente (se tomó entre 45 minutos y una hora).
- ✓ Una vez la mezcla este transparente, se apagó las resistencias, sin apagar el extractor, y se dejó enfriar por 15 minutos en el equipo.
- ✓ Los balones del digestor fueron retirados y luego se dejó terminar de enfriar cuidadosamente por enfriamiento exterior del balón al chorro de agua.
- ✓ Se realizó la destilación una vez frío el contenido del balón, se agregó cuidadosamente utilizando gafas y guantes, 200 ml medidos con probeta, de agua destilada, a cada uno de los balones.
- ✓ Se dejó enfriar el balón a temperatura ambiente por 15 minutos.
- ✓ Mientras transcurre este tiempo de enfriamiento, se colocó en el extremo de cada destilador, un Erlenmeyer de 500 ml de capacidad, al que se le han agregado 100 ml de ácido bórico que contiene el indicador de Tashiro (solución de color rojo vino)
- ✓ Se encendió las resistencias del destilador Kjeldahl y el sistema de refrigeración.

- ✓ Se dejó enfriar el balón exteriormente al chorro de agua.
- ✓ Se agregó a cada balón, de 10 a 15 perlas para controlar la ebullición.
- ✓ Una vez frío el contenido del balón, se agregó cuidadosamente utilizando gafas y guantes, 80 ml, medidos con probeta, de solución de NaOH al 40 %
- ✓ Se instaló cada balón en una hornilla del destilador, ajustar y agitar.
- ✓ Se dejó que transcurra la destilación hasta que se recogió aproximadamente entre 150 y 200 ml de destilado en Erlenmeyer de recolección, cuyo contenido cambia de color a azul verdoso a medida que se recoge el amoniaco. (se toma aproximadamente de 10 a 15 minutos).
- ✓ Se recogió el volumen de destilado mencionado anteriormente, luego retirar los erlenmeyers colectores.
- ✓ Se llegó a apagar las resistencias de calentamiento, sin apagar el sistema de refrigeración extractor.
- ✓ Luego se realizó la titulación colocando en un erlenmeyer aproximadamente 150 ml de ácido bórico con indicador, se utilizó como referencia para el color del punto final de la titulación.
- ✓ Se llegó a titular el contenido de cada destilado con HCl 0.1 N, hasta que el color azul verdoso cambie nuevamente a rojo vino igual al del el erlenmeyer de referencia.
- ✓ Se registró y se anotó el volumen de HCl gastado en cada titulación.

Cálculos:

$$\% N = \frac{N \times V \times 14 \times 100 \times \text{Factor}}{m \times 100}$$

Donde:

V: Volumen gastado del ácido sulfúrico.

N: Normalidad del ácido sulfúrico.

m: Peso de muestra en gramos.

Factor: 6, 25: para carne, pescado, huevo, leguminosas y proteínas en general.

Anexo 5. Contenido de proteína y humedad en la harina de basul (*Erythrina edulis*).

Parámetro	Valor obtenido (% p/p)
Humedad	9,76 ± 0,0828
Proteína	17,97 ± 0,1912

Anexo 6. Ecuación de optimización de porcentaje de proteína.

$$\% \text{ PROTEINA} = 74.819 + 1.259\text{pH} - 0.359\text{tiempo}$$

Anexo 7. Tukey para rendimiento por pH de extracción de proteína de basul.

Método: 95.0 porcentaje LSD.

pH	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
11	6	9.4153	0.596612	X
9	6	11.3009	0.596612	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
9 – 11	*	1.88563	1.87997

* indica una diferencia significativa.

Anexo 8. Tukey para rendimiento por tiempo de extracción de proteína de basul.

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
60	6	9.66767	0.662104	X
90	6	11.0486	0.662104	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
60 – 90		-1.3809	2.08634

* indica una diferencia significativa.

Anexo 9. Tukey para proteína.

Método: 95.0 porcentaje LSD

pH	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
11	6	55.0437	1.92322	X
9	6	65.8331	1.92322	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
9 – 11	*	10.7894	6.27197

* indica una diferencia significativa.

Anexo 10. Tukey para humedad.

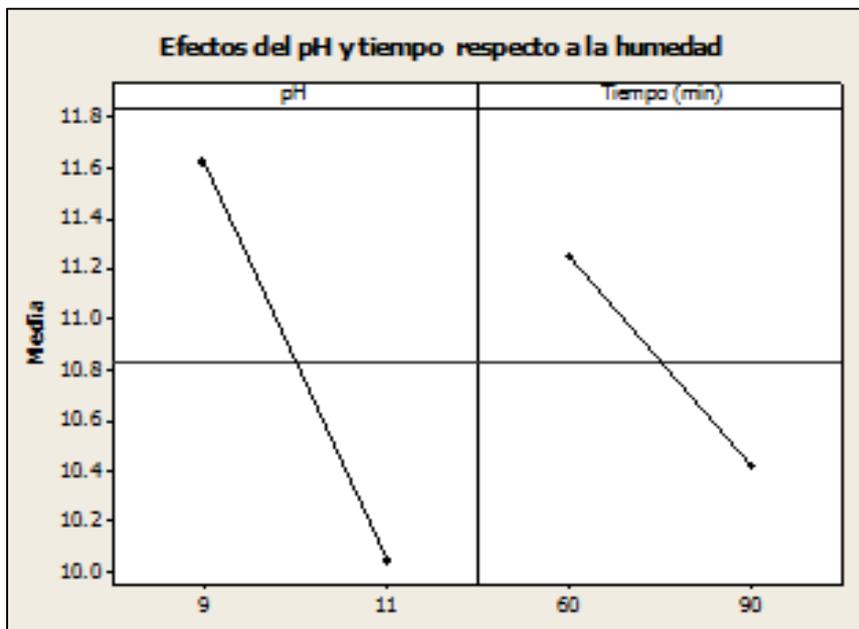
Método: 95 porcentaje Tukey HSD

TIEMPO	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
90	6	10,4166	0,274119	X
60	6	10,8801	0,274119	X
pH	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
11	6	10,0462	0,274119	X
9	6	11,2506	0,274119	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+ / - Límites
60 – 90		0,463483	0,893954
Contraste	Sig.	Diferencia	+ / - Límites
9 – 11	*	1,20438	0,893954

* indica una diferencia significativa.

Anexo 11. Efectos de factores respecto a la humedad.



Anexo 12. Tukey para rendimiento.

Método: 95 porcentaje Tukey HSD

TIEMPO	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
90	6	10, 4166	0, 274119	X
60	6	10, 8801	0, 274119	X
pH	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
11	6	10, 0462	0, 274119	X
9	6	11, 2506	0, 274119	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+ / - Límites
60 – 90		0, 463483	0, 893954
Contraste	Sig.	Diferencia	+ / - Límites
9 – 11	*	1, 20438	0, 893954

* indica una diferencia significativa.

Anexo 13. Tukey para rendimiento por pH.

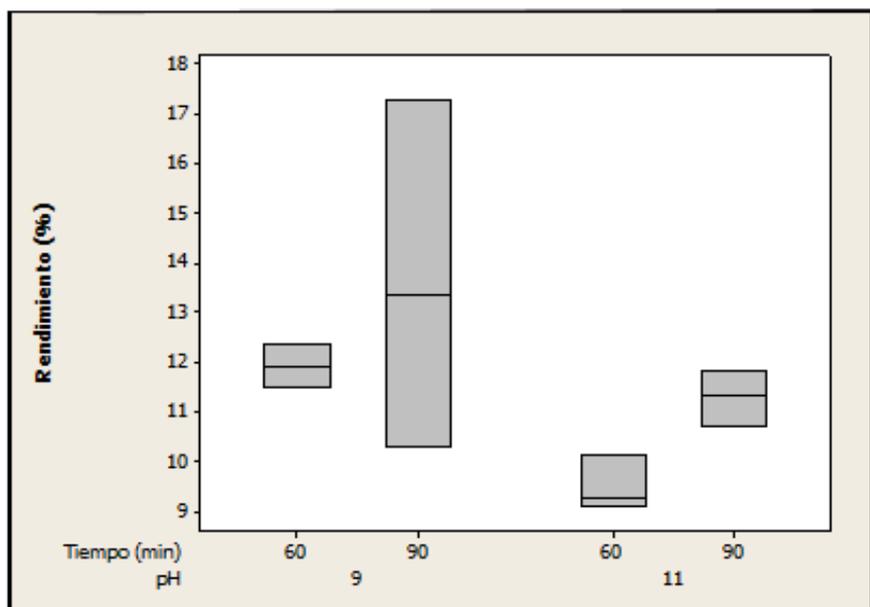
Método: 95 porcentaje Tukey HSD

pH	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
11	6	10, 4029	0, 736172	X
9	6	12, 783	0, 736172	X
TIEMPO	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
60	6	10, 717	0, 736172	X
90	6	12, 4689	0, 736172	X

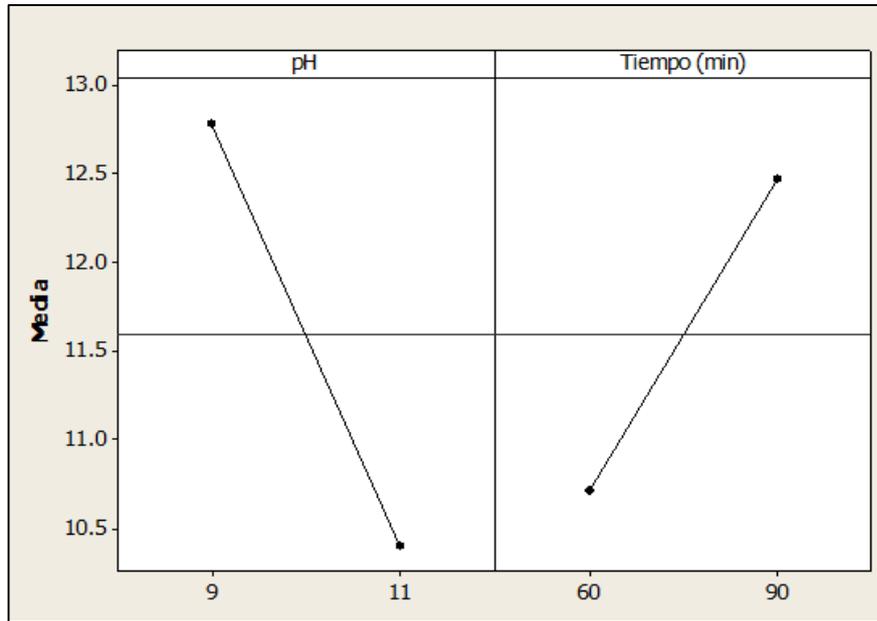
Contraste	Sig.	Diferencia	+ / - Límites
9 – 11		2, 38007	2, 4008
Contraste	Sig.	Diferencia	+ / - Límites
60 – 90		-1, 75193	2, 4008

* indica una diferencia significativa.

Anexo 14. Caja para el rendimiento.



Anexo 15. Efectos de factores respecto al rendimiento.



Anexo 16. Tukey respecto a la CRA del aislado proteico de basul (g de agua/g de proteína).

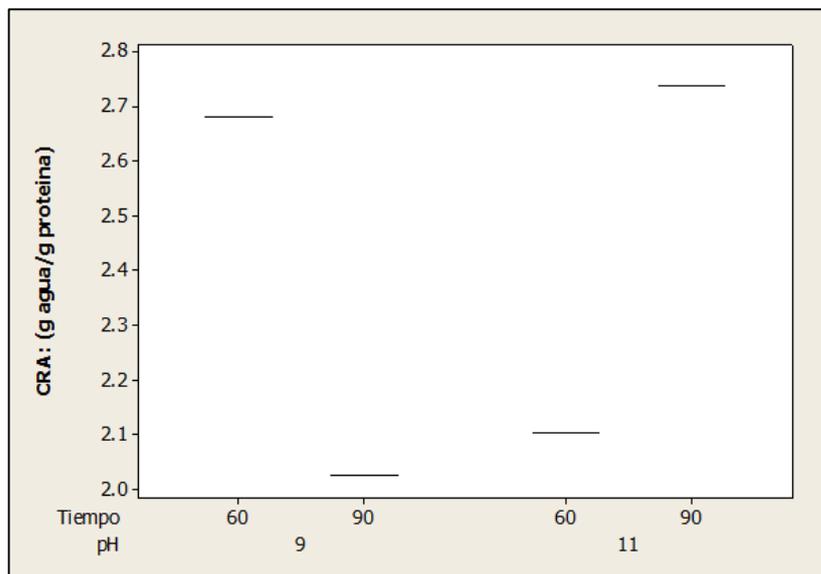
Método: 95.0 porcentaje LSD

pH	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
9	6	2.41722	0.0684063	X
11	6	2.67293	0.0684063	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
9 – 11	*	-0.255717	0.218844

* indica una diferencia significativa.

Anexo 17. Caja del pH y tiempo respecto a la CRA del aislado proteico de basul (g de agua/g de proteína).



Anexo 18. Tukey para la (CE) del aislado de basul (ml de aceite/50 ml de solución).

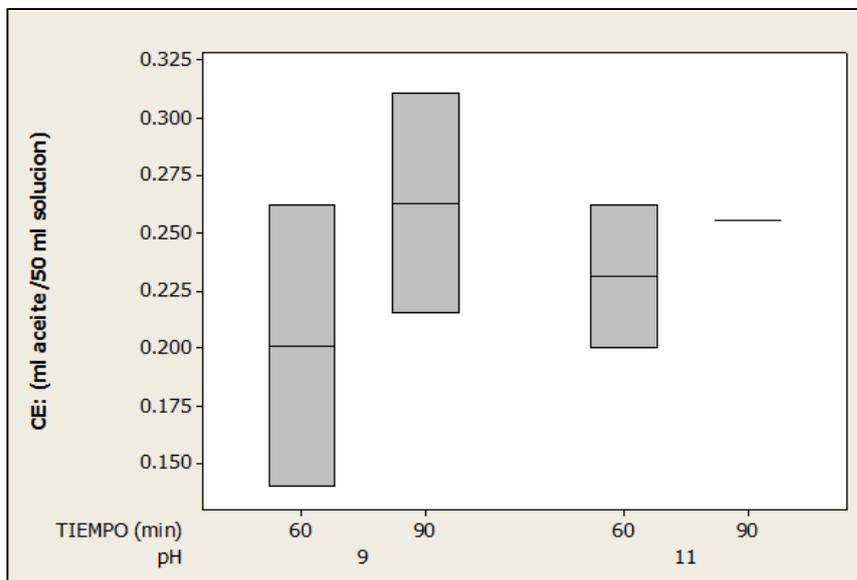
Método: 95 porcentaje Tukey HSD

pH	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
9	4	0, 2322	0, 0296426	X
11	4	0, 246625	0, 0296426	X
Tiempo	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
60	4	0, 2161	0, 0296426	X
90	4	0, 262725	0, 0296426	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+ / - Límites
60 – 90		-0, 046625	0, 116392
Contraste	Sig.	Diferencia	+ / - Límites
9 – 11		-0, 014425	0, 116392

* indica una diferencia significativa.

Anexo 19. Efecto de caja para (CE) del aislado proteico de basul (ml de aceite/50 ml de solución).



Anexo 20. Tukey para la (CFE) por pH y tiempo del aislado proteico de basul (%).

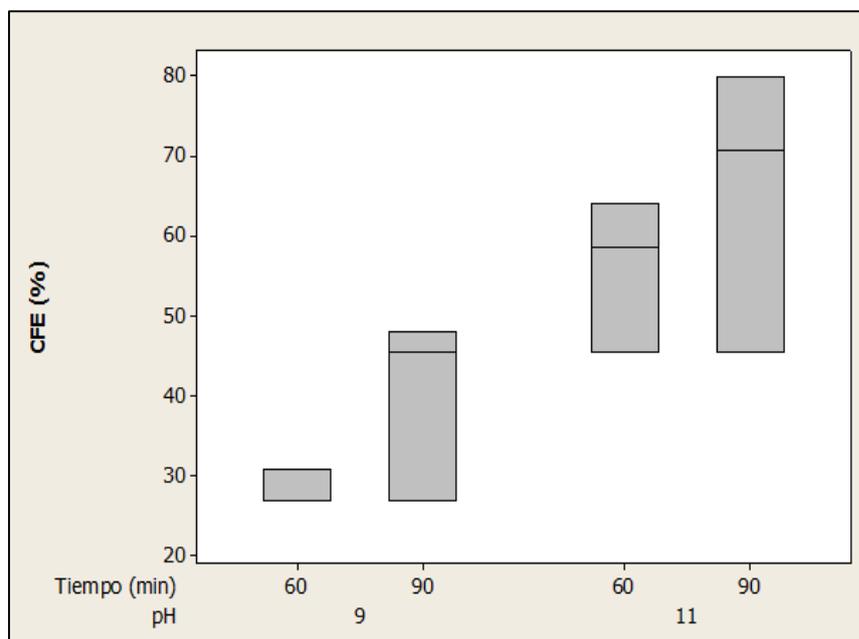
Método: 95 porcentaje Tukey HSD

pH	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
9	6	34, 0	4, 8074	X
11	6	60, 6667	4, 8074	X
TIEMPO	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
60	6	42, 0	4, 8074	X
90	6	52, 6667	4, 8074	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+ / - Límites
9 – 11	*	-26, 6666	15, 6779
Contraste	Sig.	Diferencia	+ / - Límites
60 – 90		-10, 6667	15, 6779

* indica una diferencia significativa.

Anexo 21. Efectos de pH y tiempo para la (CFE) del aislado proteico de basul (%).



Anexo 22. Matriz de consistencia.

PROBLEMA GENERALES	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	DEFINICIÓN DE OPERACIONES						RECOLECCIÓN DE DATOS	
			VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	VALORES ESC.	DISEÑO O MÉTODO	TÉCNICA	INSTRUMENTO
¿De qué manera el pH y el tiempo influyen en la extracción de aislado proteico de basul (<i>Erythrina edulis</i>)?	Evaluar la influencia del pH y tiempo en la extracción de aislado proteico de basul (<i>Erythrina edulis</i>)	El acondicionamiento a diferentes pH y tiempos influyen significativamente en la extracción de aislado proteico de basul (<i>Erythrina edulis</i>).	Variables Independientes: del pH y tiempo.	Se refiere a la interacción pH y tiempo	Lectura de pH y Tiempo	pH	Escalar	Experimental	Lectura	Registro de datos
						Tiempo	Minutos	Experimental	Lectura	Registro de datos.
			Variables dependientes:	Se refiere a la cuantificación de las proteínas	Análisis físico	Precipitación isoelectrica	Cantidad	Experimental	Det. Directa Aplicación formulas	Registro de datos
			Caracterización Química del aislado proteico	Se refiere a la determinación de las proteínas presentes en el aislado proteico	Análisis químico Proteína	N x 6.25	% en gramos	Experimental	Det. Directa.	Registro de datos
Propiedades funcionales de aislado proteico.	Son CRA,CE y CFE	Análisis físico	g agua/g proteína. -Volumen de aceite (ml) que puede ser emulsificado por cada gramo de proteína. - CFE (%)	Mililitro, miligramos y %	Experimental	Det. directa	Registro de Datos			