

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN**



**“CALIDAD PROTEICA DE LAS SEMILLAS DE PAJURO (*Erythrina  
edulis triana*) SOMETIDAS A COCCIÓN TRADICIONAL Y  
EXTRUSIÓN”**

**Presentada por:**

**VICTOR DANIEL DELGADO SORIANO**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE EN NUTRICIÓN**

**Lima – Perú**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN**

**“CALIDAD PROTEICA DE LAS SEMILLAS DE PAJURO (*Erythrina  
edulis triana*) SOMETIDAS A COCCIÓN TRADICIONAL Y  
EXTRUSIÓN”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE**

**Presentada por:**

**VICTOR DANIEL DELGADO SORIANO**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

M.Sc. Gloria Pascual Chagman  
**PRESIDENTE**

Ph.D. Carlos Vílchez Perales  
**PATROCINADOR**

Dr. Américo Guevara Pérez  
**CO-PATROCINADOR**

Dra. María Elena Villanueva Espinoza  
**MIEMBRO**

Dra. Ritva Repo de carrasco  
**MIEMBRO**

## DEDICATORIA

*A **Marina y Gricerio** mis padres, por hacer de mi un hijo lo bastante fuerte como para saber cuándo soy débil y valeroso para enfrentarme conmigo mismo cuando siento miedo. **Mamá**, por tus constantes muestras de aliento, cariño sincero y abrazos que me regresan a la infancia; **Papá**, por ser digno ejemplo de superación y enseñarme a entender, respetar y valorar al hombre del campo...*

*A **Coco**, la otra parte del TRIPODE por ser amigo, ejemplo, consejero y guía en mis aventuras de la vida. ¡Gracias hermano lindo!*

*A **Paola**, por llegar a mi vida y convertirme en el complemento perfecto, gracias por ser amiga, compañera y maestra en el espacio de la investigación, por tu paciencia y constante aliento, sobre todo por compartir tu vida conmigo. ¡Gracias mi preciosa!*

## AGRADECIMIENTOS

- ✓ Al Dr. Enrique Morales Moreno, por su gran apoyo, consejos, paciencia, enseñanzas y sobre todo por el tiempo brindado para las acostumbradas y extendidas pláticas amicales, GRACIAS.
- ✓ Al Ph.D. Carlos Vílchez Perales, por el patrocinio, correcta orientación y por hacernos entender que la investigación es la mejor vía hacia el aprendizaje. GRACIAS.
- ✓ Al Dr. Américo Guevara Pérez, por el patrocinio, sugerencias, amistad y compromiso para seguir investigando los alimentos de nuestra bella Cajamarca. GRACIAS.
- ✓ A los miembros del jurado: M.Sc. Gloria Pascual Chagman, Dra. Maria Elena Villanueva y Dra. Ritva Repo de Carrasco, por sus orientaciones y atinadas sugerencias.
- ✓ Al M.Sc. Vicente Rojas Rojas, por su gran apoyo y amistad.
- ✓ A la Sra. Silvia Montoya, por el apoyo constante, amistad y su eterno rol de madre desde el inicio de mis estudios de maestría hasta el día de hoy.
- ✓ Al Sr. Mauro Ayala, por demostrarme que la paciencia y dedicación en el manejo de cosas pequeñas nos permite obtener resultados grandes.
- ✓ A las Srtas Yelena Gutiérrez, Zahara Prudencio y Jesica Gallardo por su colaboración y apoyo en todo momento de la realización de la tesis.
- ✓ A los Señores de la BAN (Mario y Jesús), siempre dispuestos a facilitar la información requerida.
- ✓ A mis amigos que apoyaron de algún modo, en forma individual o colectiva al desarrollo de esta investigación.

## ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISION DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1. Planta de pajuro.....	3
2.2. Semillas de pajuro.....	6
2.2.1. Valor nutritivo y factores antinutricionales de las semillas de pajuro.....	6
2.3. Calidad de la proteína.....	12
2.3.1. Evaluación de la calidad proteica.....	12
a. Métodos químicos.....	13
b. Métodos biológicos.....	14
c. Combinación de metodologías.....	16
2.4. Procesado de alimentos.....	16
2.4.1 Cocción por ebullición.....	17
2.4.2 Extrusión.....	17
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
3.1. Lugar de ejecución.....	21
3.2. Materia prima.....	21
3.3. Equipos y reactivos .....	22
3.3.1. Equipos.....	22
3.3.2. Reactivos.....	23
3.4. Métodos de Análisis.....	23
3.4.1. Análisis físico químicos.....	23
3.4.2. Análisis biológicos.....	27
a. Primera etapa.....	27
a.1. Instalaciones y materiales.....	27
a.2. Animales experimentales.....	27
a.3. Alimentación y limpieza.....	28
a.4. Mediciones.....	28
a.4.1. Consumo de alimento.....	28
a.4.2. Ganancia de peso.....	28
a.5.3. Conversión alimentaria.....	28

b. Segunda etapa.....	29
b.1.Instalaciones y materiales.....	29
b.2.Animales experimentales.....	29
b.3.Alimentación y limpieza.....	29
b.4.Métodos de evaluación.....	31
b.4.1. Valor biológico aparente (VBap).....	31
b.4.2. Digestibilidad aparente (Dap).....	31
b.4.3. Digestibilidad verdadera (Dv).....	32
b.4.4. Cómputo de aminoácidos corregido por digestibilidad de la proteína (PDCAAS).....	32
3.5. Procedimiento experimental.....	33
3.6. Diseño experimental y análisis estadístico.....	37
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>41</b>
4.1. Propiedades físico químicas de las semillas.....	41
4.2. Propiedades funcionales de los extruidos.....	47
4.3. Análisis biológicos.....	52
4.3.1.Efecto de las semillas de pajuro extruidas sobre el consumo alimento, ganancia de peso y conversión alimentaria.....	52
4.3.2.Composición química proximal de las semillas de pajuro crudas, cocidas y extruidas.....	60
4.3.3.Evaluación de la calidad proteica de semillas de pajuro cocidas y extruidas.....	64
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>75</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>76</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>77</b>
<b>VIII.ANEXOS.....</b>	<b>90</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1:</b>	Clasificación taxonómica de la planta de pajuro.....	5
<b>Cuadro 2:</b>	Composición química de la semilla de pajuro ( <i>Erythrina edulis</i> Triana) en base seca.....	7
<b>Cuadro 3:</b>	Aminoácidos de las semillas del pajuro ( <i>Erythrina edulis</i> Triana) versus otras leguminosas (g / 100 g de proteína cruda).....	8
<b>Cuadro 4:</b>	Screening fitoquímico de las semillas y hojas del pajuro.....	11
<b>Cuadro 5:</b>	Tratamientos evaluados a base de semillas extruidas.....	27
<b>Cuadro 6:</b>	Condiciones de las semillas empleadas en la determinación de calidad proteica.....	29
<b>Cuadro 7:</b>	Propiedades morfológicas y fisicoquímicas de las semillas de pajuro ( <i>Erythrina edulis</i> Triana).....	42
<b>Cuadro 8:</b>	Granulometría de las semillas de pajuro molidas.....	46
<b>Cuadro 9:</b>	Efecto de las condiciones de extrusión sobre las propiedades funcionales de las semillas extruidas.....	49
<b>Cuadro 10:</b>	Análisis químico proximal de las semillas extruidas.....	54
<b>Cuadro 11:</b>	Composición porcentual y valor nutritivo de las raciones preparadas a base de semillas extruidas.....	55
<b>Cuadro 12:</b>	Efecto de las condiciones de extrusión sobre el consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimentaria.....	56
<b>Cuadro 13:</b>	Cuadro comparativo del análisis químico proximal y energético de las semillas crudas y procesadas (100% base seca).....	62
<b>Cuadro 14:</b>	Composición porcentual y valor nutritivo de las raciones preparadas a base de semillas cocidas y extruidas.....	65
<b>Cuadro 15:</b>	Evaluación biológica de las semillas cocidas y extruidas.....	67
<b>Cuadro 16:</b>	Perfil de aminoácidos (g/100 g de proteína cruda) de las semillas crudas y cocidas.....	70
<b>Cuadro 17:</b>	Perfil de aminoácidos esenciales (mg/g de proteína cruda) de las semillas cocidas, patrón de referencia y cálculo del PDCAAS.....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b>	(a) Árbol de pajuro; (b) Vainas de pajuro; (c) Flor de pajuro y (d) Semillas de pajuro ( <i>Erythrina edulis</i> Triana).....	4
<b>Figura 2:</b>	Transformación de materias primas durante la extrusión.....	18
<b>Figura 3:</b>	Semillas de pajuro ( <i>Erythrina edulis</i> Triana).....	21
<b>Figura 4:</b>	Dimensiones de las semillas: largo (paralelo al hilum), ancho (opuesto del hilum) y espesor (perpendicular al hilum).....	23
<b>Figura 5:</b>	Jaulas metabólicas individuales.....	30
<b>Figura 6:</b>	Flujo de operaciones para obtener harina de semillas crudas, harina de semillas cocidas y harina de semillas extruidas.....	35
<b>Figura7:</b>	Esquema experimental para obtener harina de semillas de pajuro ( <i>Erythrina edulis</i> Triana) cocidas y extruidas y su evaluación de calidad proteica.....	38
<b>Figura 8:</b>	Semillas de pajuro extruidas: <b>T1.</b> 110 °C y 13 % de Humedad, <b>T2.</b> 110 °C y 18 % de Humedad, <b>T3.</b> 120 °C y 13 % de Humedad, <b>T4.</b> 120 °C y 18 % de Humedad, <b>T5.</b> 130 °C y 13 % de Humedad, <b>T6.</b> 130 °C y 18 % de Humedad.....	50
<b>Figura 9:</b>	Consumo de alimento total por tratamiento (g/rata).....	53
<b>Figura 10:</b>	Peso inicial y ganancia de peso promedio por tratamiento (g/rata).....	58
<b>Figura 11:</b>	Conversión alimentaria.....	60

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO I:</b>	Sección transversal de un extrusor monotornillo de alimentos.....	91
<b>ANEXO II:</b>	Composición de las mezclas de vitaminas y sales minerales (g/kg) usadas en las formulaciones de las raciones.....	92
<b>ANEXO III:</b>	Análisis de variancia, procedimiento glm y prueba de tukey para el índice de expansión de las semillas de pajuro extruidas.....	93
<b>ANEXO IV:</b>	Análisis de variancia, procedimiento glm y prueba de tukey para el índice de absorción de agua de las semillas de pajuro extruidas.....	94
<b>ANEXO V:</b>	Análisis de variancia, procedimiento glm y prueba de tukey para el índice de solubilidad en agua de las semillas de pajuro extruidas.....	95
<b>ANEXO VI:</b>	Análisis de variancia y prueba de tukey para el porcentaje de proteína de las semillas de pajuro crudas, cocidas y extruidas.....	96
<b>ANEXO VII:</b>	Análisis de variancia y prueba de tukey para el porcentaje de extracto etéreo de las semillas de pajuro crudas, cocidas y extruidas.....	97
<b>ANEXO VIII:</b>	Análisis de variancia y prueba de tukey para el porcentaje de fibra cruda de las semillas de pajuro crudas, cocidas y extruidas.....	98
<b>ANEXO IX:</b>	Análisis de variancia y prueba de tukey para el porcentaje de ceniza de las semillas de pajuro crudas, cocidas y extruidas.....	99
<b>ANEXO X:</b>	Análisis de variancia y prueba de tukey para el consumo de alimento.....	100
<b>ANEXO XI:</b>	Análisis de variancia, procedimiento glm y prueba de tukey para la ganancia de peso total de ratas alimentadas con harina de semillas de pajuro extruidas.....	101
<b>ANEXO XII:</b>	Análisis de variancia y prueba de tukey para el consumo de alimento a base de semillas cocidas y extruidas.....	102
<b>ANEXO XIII:</b>	Análisis de variancia y prueba de tukey para el nitrógeno ingerido.....	103
<b>ANEXO XIV:</b>	Análisis de variancia y prueba de tukey para la excreción fecal.....	104
<b>ANEXO XV:</b>	Análisis de variancia y prueba de tukey para la excreción de nitrógeno fecal.....	105
<b>ANEXO XVI:</b>	Análisis de variancia y prueba de tukey para la excreción de orina.....	106
<b>ANEXO XVII:</b>	Análisis de variancia y prueba de tukey para la excreción de nitrógeno urinario.....	107

## **CALIDAD PROTEICA DE LAS SEMILLAS DE PAJURO (*Erythrina edulis triana*) SOMETIDAS A COCCIÓN TRADICIONAL Y EXTRUSIÓN.**

### **RESUMEN**

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad proteica de las semillas de pajuro (*Erythrina edulis triana*) sometidas a cocción tradicional y extrusión. El experimento se dividió en tres etapas. La primera etapa consistió en caracterizar las semillas. Se obtuvieron valores de color de cáscara de 27.26, 8.60 y 4.81 para L\*, a\* y b\*, respectivamente; las semillas presentaron valores de 4.35, 2.58 y 1.28 cm, en promedio, para el largo, ancho y espesor, respectivamente; asimismo, se registraron valores promedio de 478.96 g para el peso de 100 semillas secas, 10.8% de cáscara respecto a la semilla entera, 89.2% de cotiledones respecto a la semilla entera, 0.983 de actividad de agua y 66% de humedad. En la segunda etapa se realizó la extrusión de las semillas bajo condiciones de temperatura (110, 120 y 130 °C) y niveles de humedad (13 y 18%). Además, se midieron las respuestas productivas de ratas albinas Holtzman alimentadas con dietas que contenían semillas de pajuro extruidas. Los datos registrados se sometieron a ANOVA bajo un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial 3 x 2. El tratamiento que presentó mejores características, tanto físico-químicas como de respuesta animal, fue aquel que consistió en extrusión de las semillas a 130° C y 13 % humedad cuyos resultados fueron: índice de expansión, 2.58 cm; índice de absorción de agua, 7.57 % e índice de solubilidad en agua, 38.85 %. En cuanto a la respuesta productiva se obtuvieron valores promedio de 99.7 g, 7.0 g y 14.24 para las variables de consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimentaria, respectivamente. En la tercera etapa se determinó la calidad proteica, a través de pruebas biológicas, de las semillas de pajuro cocidas y extruidas a 130° C y 13% humedad. Los resultados fueron: valor biológico aparente, 65.52 % y 60.46 %; digestibilidad aparente, 67.4 % y 65.15% y digestibilidad verdadera, 76.74 % y 71.20 % para las semillas cocidas y extruidas, respectivamente. En conclusión, las semillas de pajuro presentan características tecnológicas favorables para ser consideradas como fuente potencial de proteína para consumo humano, sobre todo de aquellas sometidas a un proceso de cocción.

**Palabras clave:** Semillas de pajuro, calidad proteica, extrusión, valor biológico.

## **PROTEIN QUALITY OF PAJURO (*Erythrina edulis triana*) SEEDS THAT ARE TRADITIONALLY COOKED AND EXTRUDED**

### **ABSTRACT**

The objective of the present study was to evaluate the protein quality of pajuro (*Erythrina edulis triana*) seeds traditionally cooked and extruded. The experiment was carried out in three phases. The first phase consisted of characterizing the seeds. There were obtained to the shell color values of 27.26, 8.60 and 4.81 for L\*, a\* and b \*, respectively; the seeds presented values of 4.35, 2.58 and 1.28 cm, in average, for the length, width and thickness, respectively; additionally, the following values were obtained: 478.96 g for 100 dry seeds, 10.8 % of the entire seed as shell, 89.2 % of the entire seed as cotyledons, 0.983 of water activity and 66 % of moisture. In the second phase, the seeds were extruded under three different temperatures (110, 120 and 130 °C) and two different levels of moisture (13 and 18 %). The productive performance of Holtzman rats fed extruded pajuro seeds containing diets were measured. Registered data was submitted to an ANOVA procedure under a Completely Randomized Design with 3 x 2 factorial arrangement. The treatment that presented better characteristics, physical-chemical as well as animal performance, was the one with seeds that were extruded at 130 °C and 13 % moisture and the results were: index of expansion, 2.58 cm; index of water absorption, 7.57 % and index of solubility in water, 38.85 %. As for the productive performance, the results were 99.7 g, 7.0 g and 14.24 for the variables feed intake, weight gain and feed conversion, respectively. In the third phase, the protein quality of traditionally cooked or extruded (130 C and 13 % moisture) pajuro seeds were determined. The results were: apparent biological value, 65.52 % and 60.46 %; apparent digestibility, 67.4 % and 65.15 % and true digestibility, 76.74 % and 71.20 % for the traditionally cooked and extruded seeds, respectively. In conclusion, the pajuro seeds present technological favorable characteristics to be considered as a potential source of protein for human consumption, especially when they are traditionally cooked.

**Key words:** Pajuro seed, protein quality, extrusion, biological value.

## I. INTRODUCCIÓN

Las semillas son de interés para enfrentar el doble desafío de la inseguridad alimentaria y el cambio climático (FAO, 2011). Bajo este criterio la búsqueda de fuentes alternativas de proteínas se ha convertido a lo largo de las últimas décadas en una importante tendencia de investigación, no sólo para encarar la creciente demanda de proteínas sino también para conseguir cultivos alternativos que sustituyan la fuente de origen animal, capaces de suplementar la proteína de alta calidad y prevenir la malnutrición.

Dentro de este marco, es imperativo comprender que de la gran diversidad de especies originarias del Perú existen algunas de importancia económica mundial y otras de importancia regional que en el futuro podrían contribuir a la producción de alimentos y materias primas. Por ello en la actualidad se viene investigado un gran número de fuentes proteicas alternativas, como las semillas de pajuro (*Erythrina edulis Triana*), las cuales se encuentran poco difundidas dentro de las zonas urbanas o como producto industrializado, por lo que es común encontrarlo formando cercas vivas o destinándolo a la alimentación animal, características por las cuales se lo clasifica como un producto subutilizado.

El contenido proteico de estas semillas es de gran importancia, sin embargo, su biodisponibilidad se ve reducida por la presencia de factores antinutricionales, el bajo contenido de aminoácidos azufrados, así como también las condiciones severas de cocción que causan la disminución de la calidad proteica, debido principalmente al daño de aminoácidos esenciales susceptibles al tratamiento térmico, tal es el caso de la lisina. Debido a ello se plantea la alternativa del uso de la extrusión, como tecnología que proporcione un producto alimenticio a base de semillas de pajuro, ofreciendo al público nuevas alternativas de consumo, muchas de ellas con un mayor grado de digestibilidad, palatabilidad y vida en anaquel.

Por las razones antes mencionadas se plantea la evaluación de la calidad proteica de las semillas de pajuro (*Erythrina edulis Triana*) sometidas a cocción tradicional y extrusión, considerando los siguientes objetivos:

- Caracterizar las semillas de pajuro crudas, cocidas y extruidas mediante pruebas fisicoquímicas.
- Evaluar el efecto de las temperaturas de extrusión (110 °C, 120 °C y 130 °C) y niveles de humedad (13% y 18%) en el consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimentaria de ratas albinas de raza Holtzman.
- Determinar la calidad proteica de las harinas de semillas de pajuro cocidas y del mejor tratamiento extruido.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Planta de pajuro

El pajuro (*Erythrina edulis* Triana) es una de las 112 especies de árboles, arbustos y herbáceas perennes del género *Erythrina* (Mejía *et al.*, 1993), su tamaño alcanza los 10 - 20 m de altura y 30 – 45 cm de diámetro, su fruto es una vaina que mide de 15 - 50 cm de largo y presenta estrías entre las semillas con 8 - 12 semillas por vaina, tal como se aprecia en la Figura 1, siendo sus semillas las únicas comestibles dentro de este género (Russo, 1997).

Esta leguminosa se encuentra distribuida en áreas tropicales y subtropicales de América del sur, en el Perú crece en altitudes de 900 a 3200 m.s.n.m. en los valles interandinos de Cajamarca, Amazonas, Loreto, Ancash, Huánuco, Pasco, Junín, Ayacucho, Apurímac y Cusco (Villacrez, 1987), presentando por estas razones numerosos nombres vernaculares tales como sacha poroto, frejol del inca, basul, pashuro, poroto, balú, baluy, pajul, bucare, chachafruto, chachapurutu, frejol nopás, frisol, hijuela, ingano, juatsembese, nupo, pashuello, pisonay, poroton, poruto, uswal, zapote de cerro, guato, papus (Casas, 1992; Tapia, 2000; Ceroni, 2003; Martel, citado por Saavedra 2004; Tene, 2007; Aragón 2013).

Una planta en condiciones naturales produce de 200 a 250 kg de fruto al año (Barrera *et al.*, 1998, citados por Saavedra 2004), la producción de biomasa es de 86,54 TM/Km, siendo 150 el número de semillas frescas por kg y 280 semillas secas por kg; sin embargo, su cultivo está restringido en algunos valles interandinos, encontrándoseles en las huertas o chacras en un número reducido de ejemplares (Pérez, 1984). Desde el punto de vista de su clasificación taxonómica la descripción correspondiente se muestra en el Cuadro 1.



**Figura 1:** (a) Árbol de pajuero; (b) Vainas de pajuero; (c) Flor de pajuero y (d) Semillas de pajuero (*Erythrina edulis* Triana).

Fuente: Toma propia (2013)

### **Cuadro 1: Clasificación taxonómica de la planta de pajuro.**

---

<b>Reino</b> <sup>(1)</sup>	Vegetal
<b>Sub – reino</b> <sup>(1)</sup>	Embriophyta
<b>División</b> <sup>(2)</sup>	Spermatophyta
<b>Sub - división</b> <sup>(2)</sup>	Angiospermae
<b>Clase</b> <sup>(2)</sup>	Dicotyledonae
<b>Orden</b> <sup>(2)</sup>	Leguminales
<b>Familia</b> <sup>(3)</sup>	Fabaceae (Papilionaceae)
<b>Sub - Familia</b> <sup>(4)</sup>	Faboideae
<b>Género</b> <sup>(4)</sup>	<i>Erythrina</i>
<b>Especie</b> <sup>(5)</sup>	<i>Erythrina edulis</i> Triana ex Micheli
<b>Sección</b> <sup>(6)</sup>	Edules krukoff
<b>Etimología</b> <sup>(7)</sup>	El nombre genérico <i>Erythrin</i> proviene del griego Erythros que significa rojo, por el color predominante de la flor.

---

Fuente: (1) Barrera y Mejía, 1998

(2) Villacrez, 1987.

(3) García, 2008.

(4) Rodríguez y Gámez, 2010.

(5) Monsalve, 2000.

(6) Paz *et al.*, 2007

(7) Saavedra, 2004.

## **2.2. Semillas de pajuro**

El fruto de pajuro está constituido por una vaina (37.6%), que contiene de 8 a 12 semillas que representan 62.4% del total del fruto (Pérez *et al.*, 1979), siendo estas semillas de color marrón oscuro y tegumento arrugado, las cuales en estado maduro son de forma cóncava – convexa (arriñonada), con dos cotiledones, blancoverdosos, de 3.5 - 7 cm de largo por 2 – 3 cm de diámetro. Generalmente las dimensiones de la semilla están relacionadas con las reservas nutritivas almacenadas en los cotiledones (Acero 1989, citado por Barrera y Mejía, 1998; Quispe y Tello, 2001; Contreras *et al.*, 2003).

### **2.2.1. Valor nutritivo y factores antinutricionales de las semillas de pajuro**

El alto valor nutritivo de las semillas de pajuro las convierte en una fuente no convencional de nutrientes, principalmente por su contenido en energía y proteína, valores que han sido evidenciados en distintas investigaciones tal como se puede observar en el Cuadro 2. Del mismo modo, el porcentaje de aminoácidos que contienen las semillas de pajuro son factores importantes que caracterizan la calidad de su proteína y éstas presentan una proporción considerable de aminoácidos esenciales y aunque es deficiente en metionina, posee un adecuado contenido de lisina superior a otras leguminosas tal como se aprecia en el Cuadro 3.

Por otro lado, el valor nutricional de las semillas de pajuro se ve limitado por el alto contenido de factores antinutricionales, estas sustancias son metabolitos secundarios de las plantas producidas como medio de defensa que actúan como repelentes, insecticidas o fungicidas, ya sea mediante la generación de olores y sabores desagradables o dañando al ser vivo que lo ingiera. En su mayor parte, los efectos producidos por los tóxicos vegetales endógenos afectan la nutrición, inhibiendo o dificultando los procesos metabólicos que realiza el cuerpo para funcionar correctamente (Calvo y Mendoza, 2012).

**Cuadro 2: Composición química de la semilla de pajuro (*Erythrina edulis* Triana) en base seca.**

COMPONENTE	UNIDAD	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Proteína	%	18.3	23.93	20,50	20.47	24,09	23,80
Extracto etéreo	%	0.64	0.75	0,51	1.60	NR	0,92
Fibra	%	4.36	7.19	5,13	6.20	4,37	4,82
Ceniza	%	6.06	2.68	5,64	8.40	6,64	6,95
ELN	%	81.28	65.45	68,20	63.33	NR	63,51

ELN = Extracto Libre de Nitrógeno

NR = No reportado

Fuente: (1) Pérez *et al.* (1979)

(2) Villacrez (1987)

(3) Barrera y Mejía (1998)

(4) Gonzáles (2003)

(5) Saavedra (2004)

(6) Análisis realizados en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (2013).

**Cuadro 3: Aminoácidos de las semillas del pajuro (*Erythrina edulis* Triana) versus otras leguminosas (g / 100 g de proteína cruda).**

AMINOÁCIDOS	Pajuro	Frejol	Arveja	Soya	Haba
Lisina	6,91	6.24	6.96	6.38	6.46
Histidina	5,84	2.50	2.38	2.53	2.37
Treonina	5,84	3.87	3.58	3.86	3.36
Valina	5,57	4.62	4.08	4.80	4.40
Metionina	1,31	1.17	0.88	1.26	0.74
Isoleucina	5,20	3.73	3.20	4.54	4.00
Leusina	8,24	6.51	6.37	7.78	7.09
Tirosina	5,50	2.70	3.34	3.14	3.20
Fenilalanina	4,99	4.72	4.22	4.94	4.32
Triptófano	0,66	0.56	0.74	1.28	N.R.
Arginina	5.63	5.87	9.46	7.23	8.90
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	15.07
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
Cisteína	Trazas	N.R.	N.R.	1.33	0.80

N.R.= No reportado.

Fuente: Pérez *et al.* (1979)

Los factores antinutricionales que contienen las semillas de pajuro (Cuadro 4) son similares a los encontrados en otras leguminosas, como son los inhibidores de tripsina, lectinas y alcaloides (Pérez *et al.*, 1979; Villacrez, 1987).

#### **a. Inhibidores de tripsina**

Son complejos proteicos con capacidad para inhibir a la proteasa tripsina en el sistema digestivo, reduciendo así la digestibilidad de las proteínas e interfiriendo en la disponibilidad de metionina presente en los granos (Meneses 1994, citado por Rojas 2002), además provoca por intermedio de un mecanismo hormonal de regulación una hipertrofia pancreática y un aumento de sus secreciones desencadenando una excesiva expulsión de enzimas (ricos en aminoácidos azufrados) por las heces así como otros productos (Goyoaga, 2005).

El contenido de inhibidores de tripsina en las leguminosas va desde 1.28 hasta 14.60 UIT/mg; siendo estos niveles variables según las variedades (genotipos) y las condiciones medioambientales durante el desarrollo de la planta (Calvo y Mendoza, 2012). Estos inhibidores pueden inactivarse si las semillas sufren un tratamiento térmico adecuado por lo que se les puede clasificar como factores termolábiles (Olguin, 2001).

#### **b. Lectinas**

Son proteínas no enzimáticas, glucoproteínas o lipoproteínas que se unen de manera particular a azúcares, cuya terminología viene del latín *legere*, que significa elegir o escoger, ya que aglutinan una parte específica de la molécula. Dado que la mayor parte tienen la capacidad de aglutinar los eritrocitos y otras células, reciben el nombre de hemoaglutininas (Konozy *et al.*, 2003; Calvo y Mendoza, 2012).

La ingesta de lectinas provoca un efecto adverso en la nutrición, ya que se unen con las células del epitelio intestinal y de esta forma inhiben el transporte y absorción de nutrimentos a través de la pared celular (vitaminas, aminoácidos, grasas, minerales), además de provocar la muerte de las células del epitelio intestinal (Pizzani *et al.*, 2006). El consumo prolongado de leguminosas crudas puede derivar en retraso en el crecimiento o incluso bocio, del mismo modo, una exposición sistémica a lectinas puede ocasionar daño fetal al hígado y otros órganos (Calvo y Mendoza, 2012).

Debido a su carácter proteico, la mayor parte de las lectinas se destruyen con el calor húmedo, por lo que no representan riesgo para el consumo humano, excepto en lugares muy altos donde el punto de ebullición es reducido. La mayor parte de los métodos caseros de cocción eliminan estas sustancias, siempre y cuando se asegure la buena relación tiempo-temperatura (Elizalde *et al.*, 2009).

### **c. Alcaloides**

Son compuestos heterocíclicos clasificados por su bajo peso molecular cuya base contiene uno o más átomos de nitrógeno, además de presentar un anillo en su sistema, cuyo nombre se deriva de sus propiedades alcalinas. Según el estado químico del nitrógeno, se definen cuatro grupos: aminas secundarias y terciarias (alcaloides *tipo*), aminas cuaternarias y N – óxidos (Ramos *et al.*, 1998).

Se encuentran principalmente en las plantas (de donde se han extraído alrededor de 6000 diferentes alcaloides), tal es así que al sabor amargo y toxicidad que desarrollan se les atribuye efectos como alteración del sistema nervioso central y depresores del crecimiento (Walsh, 2003; Goyoaga, 2005; Calvo y Mndoza, 2012).

**Cuadro 4: Screening fitoquímico de las semillas y hojas del pajuro.**

<b>PARTE DE LA PLANTA</b>	<b>Saponinas (Esteroidales, Triterpenoides y aza – esteroidales)</b>	<b>Triterpenoides y esteroidales libres</b>	<b>Taninos</b>	<b>Quinonas (Naftoquinonas y Antraquinonas)</b>	<b>Alcaloides insolubles en cloroformo</b>	<b>Alcaloides cuaternarios</b>	<b>Flavonoides</b>
SEMILLAS <sup>(1)</sup>	-	+	-	-	++	++	-
HOJAS <sup>(1)(2)</sup>	+++	+	+++	-	-	++	++

Criterios de Análisis Semicuantitativo:

- +++ Muy abundante
- ++ Abundante
- + Presente
- Ausente

Fuente: (1) Domínguez (1973), citado por Barrera y Mejía (1998).

(2) Fuertes *et al.*, (2010).

### **2.3. Calidad de la proteína**

Se ha establecido el concepto de calidad proteica, ya que el organismo necesita, en un momento determinado, una cantidad de aminoácidos, y una determinada proporción para atender la síntesis de proteínas específicas del cuerpo humano. Por tanto, la proteína que se toma con los alimentos será de mayor o menor calidad, en función de que aporte en mayor o menor grado los aminoácidos que el organismo demanda. En otras palabras, la calidad de una proteína representa el grado de aproximación química de la proteína de la dieta respecto a la del cuerpo (Mataix, 2002).

La FAO (1992), manifiesta que si las proporciones de aminoácidos de una proteína constituyen probablemente el determinante más importante de su calidad, los factores que siguen en importancia son la digestibilidad de la proteína y la biodisponibilidad de los aminoácidos que la constituyen. Ello se debe a que no todas las proteínas son digeridas, absorbidas y utilizadas en la misma medida. Las diferencias de digestibilidad entre las proteínas pueden deberse a diferencias inherentes a la naturaleza de las proteínas alimentarias (configuración de la proteína, unión de los aminoácidos), a la presencia de componentes no proteicos con influencia en la digestión (fibra de la dieta, taninos, fitatos, etc), a la presencia de factores antifisiológicos o a las condiciones de elaboración, que pueden interferir en los procesos enzimáticos de liberación de aminoácidos de las proteínas.

#### **2.3.1. Evaluación de la calidad proteica**

La evaluación de la calidad de las proteínas tiene como objetivo determinar la capacidad de la proteína de fuentes alimenticias y dietas para satisfacer la demanda metabólica de aminoácidos y nitrógeno. Así cualquier medida de la proteína dietética global, correctamente determinada, debe predecir la eficacia global de la utilización de las proteínas. La ingesta recomendada se puede ajustar de acuerdo a la medida de la calidad, por lo que las demandas pueden ser satisfechas (FAO/WHO /UNU, 2007).

La evaluación de la proteína puede llevarse a cabo partiendo de lo más simple a lo más complejo, comenzando con el análisis de nitrógeno y de aminoácidos, seguido de una serie de determinaciones químicas específicas (*in vitro*), sin embargo, se ha demostrado que estos métodos son insatisfactorios, para lo cual es necesario complementarlos con las pruebas

biológicas en animales experimentales (*in vivo*), siendo un método seguro para determinar la calidad de la proteína (Pellet y Young, 1980; Blanco *et al.*, 1986; Gonzales 2003).

Desde el punto de vista metabólico se han definido una serie de índices y métodos para juzgar la calidad de una proteína; los que en su conjunto, se han clasificado en métodos químicos, métodos biológicos y la combinación de ambos.

#### **a. Métodos químicos**

Estos métodos se basan en determinaciones químicas del contenido de aminoácidos en la proteína, sin tener en cuenta ningún otro factor biológico. Entre los cuales encontramos los siguientes:

##### **a.1. Aminograma**

Consiste en el análisis de los aminoácidos contenidos en la proteína evaluada, se realiza por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), previa hidrólisis de la proteína, y se expresa en g de aminoácido por 100 g de proteína. Habitualmente se observa en el resultado la ausencia de asparagina y la glutamina porque la hidrólisis las oxida a aspártico y ácido glutámico, respectivamente. Aunque es posible determinar estos aminoácidos de forma intacta, los métodos son muy laboriosos y costosos (Soriano, 2006).

##### **a.2. Cómputo de aminoácidos**

El cómputo de aminoácidos determina la efectividad como el nitrógeno dietario puede satisfacer el requerimiento de aminoácidos esenciales. Esto se consigue por una comparación del contenido del aminoácido limitante en la dieta o proteína con su contenido en el requerimiento patrón según la edad de la población de interés (FAO/WHO/UNU, 2007).

Se estima en términos porcentuales como, miligramos de aminoácido en un gramo de nitrógeno de la proteína del alimento estudiado sobre miligramos de aminoácidos en un gramo de nitrógeno de la proteína de referencia según la edad de la población de interés (FAO/OMS/UNU, 2007).

## **b. Métodos biológicos**

En general, los índices biológicos de calidad proteica nos aportan datos indirectos y cualitativos obtenidos en animales de experimentación, por lo que su exactitud y valor son limitados; no obstante son útiles de cara a la alimentación humana (Mataix, 2002). Estos ensayos se basan en la determinación del crecimiento o la relación de nitrógeno en animales experimentales como la rata, o con seres humanos, en función del consumo de proteínas, resultando necesario para obtener una precisión fiable el uso de varios animales en cada ensayo y analizar estadísticamente los resultados, estandarizando las condiciones del ensayo (FAO/OMS, 1992).

La determinación del crecimiento de animales de laboratorio, especialmente en ratas al destete, constituye un indicador más realista de la calidad de los productos. Además se ha establecido que la digestibilidad de las proteínas es similar en la rata y el humano. Sin embargo esta metodología es poco factible de ser llevada a cabo a nivel industrial, por lo que debe ser reemplazado por pruebas más sencillas y rápidas (Carias *et al.*, 1995; Olguin 2001).

Los métodos más utilizados son el valor biológico, la utilización neta de proteínas y la digestibilidad de la proteína. Para calcular estos índices biológicos, no se evalúan las proteínas de forma intacta, sino que se digieren químicamente y se cuantifica el nitrógeno procedente de ellas en forma de amoníaco, por esta razón se habla de nitrógeno (N) ingerido (de la dieta), proteico, fecal, urinario, etc. (Mataix, 2002; Soriano, 2006; Włodarczyk y Jamroz, 2008).

### **b.1. Valor biológico**

Se define como el porcentaje de nitrógeno retenido con respecto al absorbido, y se refiere posteriormente a 100. Para ello, a los animales en crecimiento (normalmente ratas tras el destete) se les administra una dieta cuya única fuente de nitrógeno sea la proteína problema, y que esté en cantidades inferiores a las de mantenimiento, determinando cantidades de nitrógeno excretado por heces y orina. Previamente se hace un ensayo para el cálculo de excreción de nitrógeno fecal y urinario endógeno, para corregir los valores obtenidos con la proteína problema (Mataix, 2002).

## **b.2. Digestibilidad de la proteína**

Indica la proporción de la proteína alimentaria que es absorbida, siendo necesaria la determinación del contenido de nitrógeno de alimentos y heces, del mismo modo para la medición de la digestibilidad “verdadera” es necesario tener en cuenta el nitrógeno fecal “endógeno” que a su vez se mide como la pérdida de nitrógeno fecal en una dieta libre en proteína. La digestibilidad será igual a 100 cuando el nitrógeno ingerido sea totalmente absorbido, por otra parte, el contenido en nitrógeno en las heces representa la cantidad no absorbida, es decir la proporción de proteínas que por sus características físicas o propiedades químicas resistieron el ataque de las enzimas proteolíticas. Parte de estas pérdidas fecales representan las pérdidas obligatorias de nitrógeno que proviene de las secreciones endógenas (FAO/OMS/UNU, 2007).

Hernández *et al.*, (1984) afirman que la digestibilidad de las proteínas es un buen indicador de su calidad. Así, se sabe que los alimentos de origen animal son de mayor digestibilidad que los de origen vegetal. Esto se ha atribuido al menor contenido de fibra cruda de los alimentos de origen animal, lo que hace que la velocidad de tránsito por el intestino sea más lenta y, en consecuencia, se obtenga una mayor absorción de nutrientes.

En los experimentos de digestibilidad, el alimento en estudio se administra a los animales en cantidades conocidas, determinándose la excreción fecal. Se emplea varios animales debido, en primer lugar, a que los animales, aunque sean de la misma especie, edad y sexo, presentan pequeñas diferencias en su capacidad digestiva y, en segundo lugar, porque las repeticiones permiten detectar los posibles errores en las determinaciones. En los experimentos con animales, son preferibles los machos a las hembras, ya que resulta más fácil la recogida independiente de las heces y la orina en los primeros, así mismo, los animales deben ser mantenidos en jaulas metabólicas, que permitan la separación de las heces y orina por medio de una serie de rejillas (McDonald *et al.*, 2006).

## **c. Combinación de metodologías**

### **c.1. Cómputo de aminoácidos corregido en función de la digestibilidad proteica (PDCAAS)**

Este método fue propuesto en 1992 por la FAO y ha reemplazado al PER como la norma para calcular el porcentaje del valor diario de proteína en el rotulado de los alimentos para adultos y niños mayores de un año de edad. Para cumplir con los requerimientos proteicos más rigurosos, el PDCAAS (por sus siglas en inglés) compara el perfil de aminoácidos de una proteína en estudio con las necesidades del niño mayor a un año que representan los requerimientos más exigentes de los diferentes grupos etarios a excepción de los lactantes que se comparan con la leche humana. El PDCAAS se calcula multiplicando el valor correspondiente al cómputo de aminoácidos por el valor correspondiente a la digestibilidad. En la práctica nutricional no se dispone de información recopilada y actualizada con respecto a los valores de cómputo de aminoácidos y PDCAAS de los alimentos habitualmente utilizados en los planes de alimentación. Los datos disponibles de cómputo de aminoácidos en su mayoría se basan en la comparación con la proteína del huevo y resultan por lo tanto inferiores a los calculados según el patrón de aminoácidos esenciales propuesto por la FAO en 1992 y por la Academia Nacional de Ciencias en 2002 (Suárez, 2006; FAO / WHO / UNU, 2007).

## **2.4. Procesado de alimentos**

La aplicación de técnicas de procesado para producir alimentos a partir de materias alimenticias diversas ha sido una práctica habitual desde tiempos inmemoriales, la tecnología además de hacerlos comestibles mejora sus cualidades organolépticas e, incluso, en algunos casos, las nutricionales (Mataix, 2002). En general, el procesado de un alimento lleva consigo la disminución del valor nutricional del mismo, pero no sólo se puede tener esa visión, un proceso permite que un alimento, o parte de él, no se pierda, con lo que se mantiene gran parte de su potencialidad nutricional de origen, hecho que a nivel global es de importancia fundamental (Senorans *et al.*, 2003).

De acuerdo a Brenes y Brenes (2003), “los tratamientos potenciales son numerosos y su elección está en función del sustrato, morfología, textura, composición y de la localización de los componentes, así como de la sensibilidad de éstos a los diferentes factores físico-químicos que pueden desencadenarse”.

### **2.4.1. Cocción por ebullición**

Es una operación ampliamente utilizada, la cual según Alcázar (2002), consiste en someter a los alimentos a la acción del calor dentro de un líquido, generalmente agua, para que adquiera ciertas propiedades como cambios en su textura, color, sabor, calidad nutricional, etc., que mejoren su aceptación por el consumidor. Por su parte, Díaz (1999), sostiene que la cocción reduce, inactiva y/o destruye los factores antinutricionales de origen proteínico (inhibidores de tripsina, lectinas y saponinas) a niveles indetectables y mejora la digestibilidad de las proteínas y carbohidratos en las leguminosas, aunque también reduce la calidad de la proteína por pérdida de algunos aminoácidos esenciales como la lisina y aminoácidos azufrados.

### **2.4.2. Extrusión**

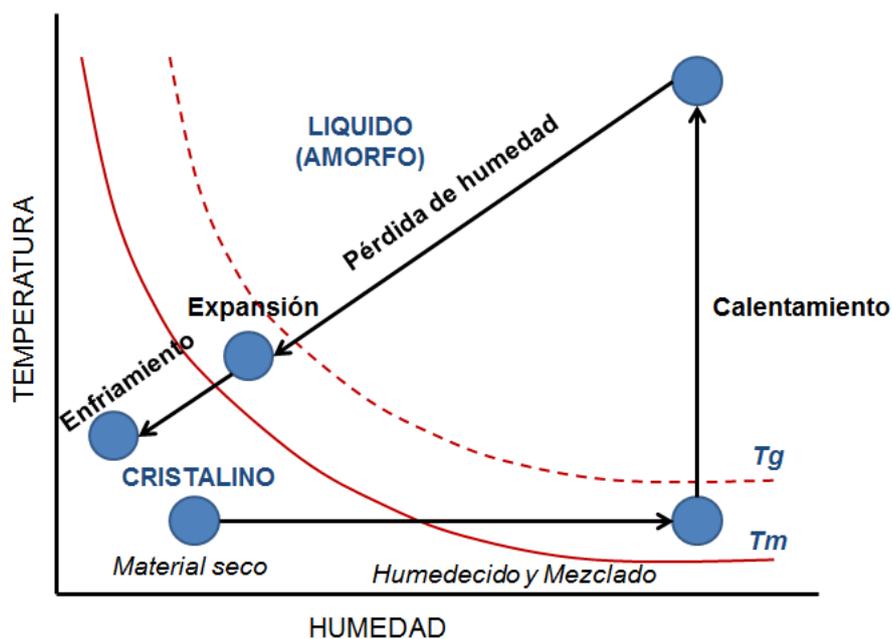
El verbo extruir se define como: “Moldear un material por forzamiento, a través de muchas aberturas de diseño especial, después de haberlo sometido a un previo calentamiento” (Harper, 1981).

Es un proceso que se aplica fundamentalmente para elaborar productos entre los que destacan, cereales para desayuno, snacks, fórmulas infantiles de preparación instantánea, almidones y harinas modificadas, proteína vegetal texturizada, queso fundido, etc. (Mataix, 2002). En dicho proceso los cambios producidos en el almidón afectan la expansión y textura final del extruido. Dichas modificaciones generalmente incrementan la biodisponibilidad del almidón, aunque éstos pueden contener fracciones retrogradadas resistentes al ataque enzimático, las cuales se comportan fisiológicamente como fibra dietética. Así mismo la proteína, como segundo componente principal en los extruidos, puede sufrir desnaturalización y pérdida de solubilidad (Pérez *et al.*, 2007).

El sistema utiliza un extrusor caracterizado por un tornillo sinfín, encerrado en un túnel, tal como se puede apreciar en el Anexo 1, en donde el material alimenticio se desplaza con un movimiento rotatorio a temperaturas entre 110 y 190 °C, durante 10 a 90 segundos, a presiones elevadas. Durante el trayecto se va hidratando el material con agua o vapor de agua, con el fin de obtener una masa de un grado determinado de hidratación. Durante el procesamiento baro-térmico, el material es mezclado, comprimido, fundido y plastificado en

la parte extrema de la máquina. A la salida del extrusor y, como consecuencia de la caída de presión, se produce una expansión del producto (Mataix, 2005; Moscicki, 2011).

Ríaz (2004) manifiesta que la adición de agua y calor a los tipos de materias primas biológicas utilizadas en el proceso de extrusión plastificarán o ablandarán los materiales. La transición que tiene lugar durante este proceso está referido a la transición vítrea y la temperatura a la que aproximadamente esto tienen se denominada temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ). La adición de más calor y humedad más allá de esta temperatura dará lugar a una transformación que suministrará fluidez al material. Esta transición se la denomina transición de fusión y tiene lugar aproximadamente a la temperatura de fusión ( $T_m$ ). Por lo tanto, a medida que disminuye la temperatura de transición vítrea mediante la adición de agua y el material se calienta por encima de su temperatura de transición vítrea, las partículas de materia prima se mueven desde un estado vítreo a un estado gomoso. Estas partículas entonces son blandas, deformables y fácilmente transformables por el extrusor en un producto final. Este fenómeno se detalla en la Figura 2.



**Figura 2:** Transformación de materias primas durante la extrusión.

FUENTE: Strahm (1998), modificado por Campanella (2011).

## **a. Efecto de las variables relacionadas con el material crudo**

### **a.1. Contenido de humedad**

El agua vinculada a los otros componentes del alimento, cumple un rol de mucha importancia en la extrusión. Los extrusores de tornillo simple y de bajo costo pueden operar a contenido de humedad menores al 20% y son del mayor interés, debido a que en muchos casos no se requiere de un secado adicional del producto. El contenido de humedad de la masa en el extrusor, afecta significativamente la viscosidad aparente, la expansión y la resistencia a la rotura del producto, y por ello, puede ser considerado como una de las más importantes variables de procesamiento (Casas, 1996).

### **a.2. Tamaño de partícula**

El tamaño de las partículas del material crudo puede ser importante, dependiendo del tipo de extrusor y del producto deseado. Las partículas con un diámetro de 0.4 mm reciben un adecuado tratamiento, atribuyéndose a que las partículas de mayor tamaño retardan la gelatinización del almidón. Se señala que las partículas muy finas, dan una rápida gelatinización y una baja viscosidad del fluido, propiedades que no son convenientes. Este problema puede ser corregido, reduciendo el contenido de humedad para demorar la gelatinización (Casas, 1996).

## **b. Ventajas de la extrusión**

Entre los beneficios se incluyen una mayor biodisponibilidad mineral, la destrucción de factores antinutricionales y el aumento en la digestibilidad de macronutrientes (Fellows 1994). Por su parte, Harper (1981) señala que debido a que la extrusión se realiza bajo condiciones de poca humedad, el producto resultante requiere muy poco o no requiere secado para alcanzar humedades seguras para el almacenamiento lo cual incrementa su estabilidad de anaquel.

Uno de los problemas más importantes que se enfrentan al tratar de llevar a cabo nuevos procesos, es el de obtener la textura adecuada para cada tipo de alimento, la cual debe simular lo mejor posible las características sensoriales de alimentos naturales. Existen actualmente muchas técnicas para el desarrollo de productos con características y textura apropiada y de éstas la extrusión viene a ser una de las más importantes (Arias *et al.* 2007).

Harper (1989) y Ríaz (2004) sostienen que entre otras ventajas de esta tecnología se encuentran el bajo costo debido al bajo requerimiento de energía, mano de obra, espacio, tiempo, asimismo permite producir una amplia variedad de productos mediante el cambio de ingredientes minoritarios y de las condiciones de operación del extrusor. La extrusión puede modificar las proteínas animales y vegetales, los almidones y otros materiales alimentarios para producir una diversidad de nuevos y únicos productos aperitivos alimentarios. Por otra parte produce pocas corrientes residuales o bien no las produce.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La composición química de las harinas de semillas de pajuro fueron determinadas en las instalaciones del Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos perteneciente al Departamento de Nutrición de la facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Los análisis físicos, molienda, secado y cocción de las semillas se llevaron a cabo en los Laboratorios de Análisis Físicoquímicos de Alimentos, Investigación y Planta Piloto de Alimentos, pertenecientes al Departamento de Tecnología de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria la Molina. La extrusión se realizó en las instalaciones del Centro Experimental de Alimentos perteneciente a la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional del Callao. La crianza de los animales experimentales se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Evaluación Biológica de Alimentos (Bioterio) perteneciente al Departamento de Nutrición de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

#### 3.2. MATERIA PRIMA

Se evaluaron las semillas maduras de Pajuro (*Erythrina edulis* Triana) cosechadas el mes de Marzo del año 2013 en el distrito de Jesús, perteneciente a la provincia de Cajamarca ubicado a una altitud de 2564 m.s.n.m. En la Figura 3 se presenta una vista de las semillas de pajuro empleadas en el experimento.



**Figura 3:** Semillas de pajuro (*Erythrina edulis* Triana).

### **3.3. EQUIPOS Y REACTIVOS**

#### **3.3.1. Equipos**

- Extrusor de tornillo simple (motor Inmetro de 1.5 HP, tornillo de paso variable con 30 cm longitud y diámetro de la boquilla de salida de 0.5 cm).
- Colorímetro Chromater – KONICA MINOLTA®
- Cáliper Digital 0 – 200 mm STAINLESS
- Balanza digital marca OHAUS (capacidad máxima 1 kg, precisión = 0,0001 g)
- Higrómetro AQUA LAB 3TE.
- Estufa BINDER.
- Mufla (con un rango de temperatura de 0 – 700 °C)
- Secador de bandejas.
- Digestor Kjeldahl LABCONCO.
- Destilador Kjeldahl.
- Extractor Soxhlet.
- Digestor para fibra GERHARDT.
- Molino de martillos Fagro Min SRL. Modelo 1X5, motor Siemens de 6.6 HP.
- Tamizador marca Ro-Tap® (Karl-Kolb, Alemania)
- Cáliper Mutitoyo (Mutitoyo, Japón)
- Agitador VORTEX.
- Centrífuga digital HETTICH, D-78522

#### **3.3.2. Reactivos**

- Hidróxido de sodio.
- Ácido sulfúrico concentrado y al 1.25%
- Solución NaOH al 1.25%.
- Catalizador (Sulfato de potasio + sulfato de cobre)
- Ácido bórico (verde bromocresol + rojo de metilo)
- Ácido clorhídrico 0.05 N
- Hexano

### 3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

#### 3.4.1. Análisis físico químicos

##### a. Análisis químico proximal

Se determinó el contenido de humedad, ceniza, proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno, según metodologías establecidas por la A.O.A.C. (2005).

##### b. Energía

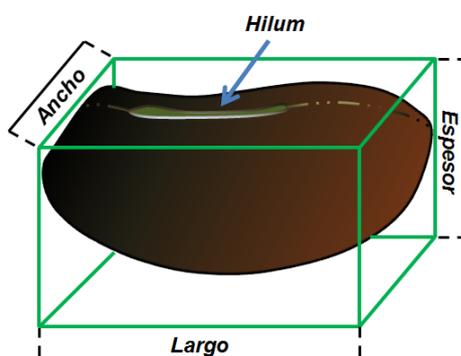
Estimado usando los factores de conversión de Atwater, siendo 4 Kcal (para proteínas y carbohidratos) y 9 Kcal (para los lípidos), según lo indicado por Oliveira *et al.* (2011).

##### c. Color

La determinación de color se realizó sobre la testa (capa externa de la semilla), midiendo el color en la escala C.I.E. lab., en términos de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . El valor  $L^*$  da una medida de la luminosidad del producto (0 = negro; 100 = blanco),  $a^*$  (-a = verde; +a = rojo) y  $b^*$  (-b = azul; +b = amarillo), tal como lo describen Stojceska *et al.*, (2009) y Mujica *et al.*, (2011).

##### d. Dimensiones

Se determinaron las dimensiones largo (paralelo al hilum), ancho (lado opuesto del hilum) y espesor (perpendicular al hilum) expresadas en milímetros (mm), según lo establecido por International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR, 1982; ahora Bioversity International), tal como se muestra en la Figura 4.



**Figura 4:** Dimensiones de las semillas: largo (paralelo al hilum), ancho (opuesto del hilum) y espesor (perpendicular al hilum).

FUENTE: Elaboración propia.

**e. Peso de 100 semillas**

El peso expresado en gramos (g) fue calculado en 100 semillas escogidas al azar, teniendo en cuenta además que la muestra debe contar con una humedad de 12 - 14%. Esta determinación se realizó de acuerdo a lo establecido en la International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR, 1982; ahora Bioversity International) así como a lo indicado por Schoonhoven y Pastor (1987).

**f. Porcentaje de cáscara y cotiledones**

Se procedió a pelar las semillas de forma manual, separando la cáscara de los cotiledones, partes que fueron pesadas en una balanza de acuerdo a lo indicado por Caiza (2011).

**g. Determinación de actividad de agua (Aw)**

Se determinó por el método del higrómetro de punto de rocío (AQUALAB) en el rango de 0.03 – 1.00 tal como lo señala Gómez (1992), logrando con este sistema determinar la temperatura exacta de condensación del vapor de agua que se encuentra directamente relacionada con la actividad de agua de la muestra. La determinación se realizó previa calibración con una disolución saturada de sulfato potásico, trabajando a una temperatura de 25° C. Las muestras previamente homogeneizadas (aproximadamente 5 g) se colocaron en un porta muestras y se midió por lectura directa la Aw hasta obtener 3 lecturas iguales consecutivas de cada muestra.

**h. Determinación de la capacidad de hidratación (Cap. Hid.) y el índice de hidratación**

Se pesaron 100 g de semillas las cuales son transferidas a un beacker que contenía 100 ml. de agua destilada, seguidamente se cubrió con papel aluminio y se dejó en reposo durante 24 horas a temperatura ambiente, pasado este tiempo se drena el agua con la ayuda de papel filtro. A continuación se separaron las semillas hinchadas y se volvieron a pesar; para la determinación de la capacidad de hidratación por semilla y el Índice de hidratación, se emplearon las siguientes fórmulas citadas por Adebawale *et al.* (2005).

$$\text{Cap. Hid. por semilla} = \frac{\text{Peso de semillas remojadas} - \text{Peso de semillas sin remojar}}{\text{Número de semillas}}$$

$$\text{Índice de hidratación} = \frac{\text{Capacidad de Hidratación por semilla}}{\text{Peso de una semilla}}$$

#### **i. Determinación de la capacidad de hinchamiento (Cap. Hin.) e índice de hinchamiento**

Se pesaron 100 g de semillas las cuales son transferidas a un beacker que contenía 400 ml. de agua destilada, seguidamente se cubrió con papel aluminio y se dejó en reposo durante 24 horas a temperatura ambiente, pasado este tiempo se procedió a medir el volumen del agua residual con la ayuda de una probeta graduada; la determinación de la capacidad de hinchamiento por semilla y el índice de hinchamiento, se emplearon las fórmulas citadas por Adebowale *et al.* (2005).

$$\text{Cap. Hin. por semilla} = \frac{\text{Volúmen después del remojo} - \text{Volúmen antes del remojo}}{\text{Número de semillas}}$$

$$\text{Índice de Hinchamiento} = \frac{\text{Capacidad de Hinchamiento por semilla}}{\text{Volúmen de una semilla}}$$

#### **j. Análisis granulométrico**

Previamente a la extrusión, las semillas fueron secadas a 50 °C, seguidamente se sometieron a una molienda bruta, llegando a reducir su tamaño con la finalidad de aumentar la superficie de contacto durante el proceso de extrusión. Esto permitió obtener semillas de pajuro con diámetros adecuados para la extrusión. Seguidamente se realizó el análisis granulométrico según la metodología descrita por Vásquez y Glorio (2007), que consistió en colocar 100 g de muestra en un tamiz vibrador, se zarandó por 5 minutos y luego se pesaron las fracciones retenidas en cada malla.

#### **k. Propiedades funcionales de los extruidos**

##### **k.1. Índice de expansión (IE)**

Se determinó según la metodología descrita por Meng *et al.*, (2010), para lo cual se tomaron dos partes de cada producto y se determinó el diámetro correspondiente, enseguida se midió el diámetro de la boquilla del extrusor.

El índice de expansión se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$IE = \frac{\text{Diámetro promedio de la muestra (cm)}}{\text{Diámetro de la boquilla (cm)}}$$

### **k.2. Índice de absorción de agua (IAA)**

Se determinó según lo indicado por Yuliani *et al.*, (2006) y Stojceska *et al.*, (2010), para ello se pesó 2.5 g de muestra de harina a la que se adiciona 30 ml. de agua a 30 °C (se pesa en los tubos de centrifuga previamente tarados). Se agitó por 30 min con ayuda de un agitador Vortex, luego de los cuales se los colocó en una centrifuga de 3000 rpm por 15 min, el sobrenadante se pasó a un vasito previamente tarado y se procedió a tomar el peso del gel.

Del peso del sólido se calculó el porcentaje de solubles. El gel que queda dentro del tubo se pesa para determinar el índice de absorción que está dado por la siguiente fórmula:

$$\text{Indice de absorción} = \frac{\text{gramos del gel}}{\text{gramos de la muestra}}$$

Del peso de muestra se descontó el peso de solubles que quedó en el sobrenadante.

### **k.3. Índice de solubilidad en agua (ISA)**

Se determinó según lo indicado por Yuliani *et al.*, (2006) y Stojceska *et al.*, (2010), para ello se pesó 2.5 g de muestra de harina de extruido a la que se le agregan 30 ml de agua a 30 °C, posteriormente se somete a agitación intermitente por 30 minutos con ayuda de un agitador Vortex tratando de obtener una suspensión homogénea, luego de los cuales se centrifugó a 3000 rpm por 15 minutos. El sobrenadante se pasó a un crisol previamente tarado, el cual se colocó en una estufa a 90 °C para concentrar por evaporación.

Se determinó el peso del sólido soluble y se expresa en porcentajes (%) de los 2.5 g de la muestra.

$$ISA = \frac{\text{gramos de sólidos solubles}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

### 3.4.2. Análisis biológicos

Se realizaron en dos etapas:

#### a. Primera etapa

Buscó identificar el tratamiento de extrusión con mejor respuesta alimentaria, para lo cual se trabajó teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

##### a.1. Instalaciones y materiales

Los animales experimentales fueron alojados en 18 jaulas no metabólicas individuales, las cuales se encontraban en una habitación de ambiente controlado que se mantuvo a 20 – 22 °C con el uso de un sistema de calefacción durante la noche y un sistema de ventilación durante el día, con un ciclo de luz - oscuridad de 12 horas. Las jaulas eran de acero inoxidable de 30 x 20 cm de medida, con piso de malla de acero y comederos de vidrio de 15 g de capacidad. Así mismo, contaban con un bebedero de vidrio de 250 ml ubicado en la parte externa de la jaula, el cual estaba conectado con el interior mediante un tubo de vidrio.

##### a.2. Animales experimentales

Se utilizaron 18 ratas albinas machos de raza Holtzman con 21 días de nacidas, las que fueron distribuidas al azar en seis grupos de 3 animales cada uno, y colocadas en jaulas no metabólicas individuales. Cada grupo recibió diferentes dietas experimentales dentro de las cuales el 10 % del aporte proteico provenía de los tratamientos que se muestran en el Cuadro 5.

**Cuadro 5: Tratamientos evaluados a base de semillas extruidas.**

<b>Tratamientos</b>	<b>Condiciones de extrusión</b>
T1	Semillas extruidas a 110 °C y 13 % de Humedad
T2	Semillas extruidas a 110 °C y 18 % de Humedad
T3	Semillas extruidas a 120 °C y 13 % de Humedad
T4	Semillas extruidas a 120 °C y 18 % de Humedad
T5	Semillas extruidas a 130 °C y 13 % de Humedad
T6	Semillas extruidas a 130 °C y 18 % de Humedad

### **a.3. Alimentación y limpieza**

Durante el experimento de 15 días de duración se suministraron 15 g de cada ración formulada en base a la harina de semillas de pajuro extruidas a cada animal experimental, según corresponda. Así mismo, la alimentación se realizó todos los días entre las 9:00 - 10:00 a.m, para evitar variaciones debidas al ritmo circadiano. El agua de bebida fue potabilizada empleando hipoclorito de sodio, la misma que durante todo el experimento fue consumida *ad libitum*, y cambiada cada dos días.

Por otra parte, la limpieza de los comederos de vidrio se realizó todos los días, retirando el alimento residual y material ajeno al alimento como heces ya que esto podía influir en el consumo normal de alimento.

### **a.4. Mediciones**

#### **a.4.1. Consumo de alimento**

El consumo de alimento se determinó sobre la base de materia seca total, además esta se registró en forma diaria y de manera individual por jaula, mediante la diferencia de la cantidad ofrecida con la residual, a partir de lo cual se calculó el consumo de materia seca total (Monsalve *et al.*, 2007).

#### **a.4.2. Ganancia de peso**

Los animales fueron pesados individualmente y de manera interdiaria antes del suministro del alimento. A partir de los datos del peso corporal se determinó la ganancia de peso total de cada animal, que correspondió a la diferencia entre el peso final (a los 15 días del experimento) y el peso inicial (día 4) (Monsalve *et al.*, 2007).

#### **a.4.3. Conversión alimentaria**

La conversión alimentaria se realizó en base al consumo de materia seca total y la ganancia de peso durante el experimento (Monsalve *et al.*, 2007).

## **b. Segunda etapa**

El tratamiento extruido que presentó mejores propiedades funcionales y mejor respuesta alimentaria fue comparado en términos de calidad proteica con las semillas sancochadas, para lo cual se tuvo las siguientes consideraciones:

### **b.1. Instalaciones y materiales**

Los animales experimentales fueron alojados en 12 jaulas metabólicas individuales (Figura 5), las cuales se encontraban en una habitación de ambiente controlado que se mantuvo a 20 – 22 °C con el uso de un sistema de calefacción durante la noche y un sistema de ventilación durante el día, con un ciclo de luz - oscuridad de 12 horas. Las jaulas eran de acero inoxidable de 30 x 20 cm de medida, con piso de malla de acero y comederos de vidrio de 15 g de capacidad, además cada una de las jaulas tenía una bandeja en forma de embudo, ubicada debajo de la misma para la colección de heces y orina por separado. Así mismo, contaban con un bebedero de vidrio de 250 ml, ubicado en la parte externa de la jaula, el cual estaba conectado con el interior mediante un tubo de vidrio.

### **b.2. Animales experimentales**

Se utilizaron 18 ratas albinas machos de raza Holtzman con 21 días de nacidas, las que fueron distribuidas al azar en tres grupos de 6 animales cada uno. Dos grupos recibieron las dietas experimentales (Cuadro 6) y un tercer grupo recibió una dieta aprotéica.

**Cuadro 6: Condiciones de las semillas empleadas en la determinación de calidad proteica.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Condiciones</b>
Extruido (T5)	Semillas extruidas a 130 °C y 13 % de Humedad
Sancochado	Semillas cocidas por ebullición

### **b.3. Alimentación y limpieza**

El experimento de 11 días de duración constó de dos períodos, el primer período (primeros 4 días) tuvo como objetivo acostumar a las ratas al manejo y al tipo de alimento, mientras que el segundo período (siguientes 7 días) fue destinado a evaluar el efecto del alimento en

estudio para ello se suministraron 15 g del mismo a cada animal experimental. Así mismo, la alimentación se realizó todos los días entre las 9:00 - 10:00 a.m, para evitar variaciones debidas al ritmo circadiano.

El agua de bebida fue potabilizada empleando hipoclorito de sodio, la misma que durante todo el experimento fue consumida *ad libitum*, y cambiada cada dos días.

Se registró el peso de heces y volumen de orina en forma individual durante el periodo control de 7 días, luego de los cuales las muestras de heces se secaron, molieron y mezclaron para su posterior análisis de nitrógeno. Del mismo modo, se procedió a mezclar y homogenizar la muestras de orina para ser analizada y determinar el contenido de nitrógeno.

La limpieza de los comederos de vidrio se realizó todos los días, retirando el alimento residual y material ajeno al alimento como heces ya que esto podía influir en el consumo normal de alimento; para esta actividad se emplearon guantes quirúrgicos desechables y alcohol metílico.



**Figura 5:** Jaulas metabólicas individuales.

#### **b.4. Métodos de evaluación**

##### **b.4.1. Valor biológico aparente**

La determinación del valor biológico aparente se calculó mediante la aplicación de la fórmula indicada por FAO/ WHO/UNU (2007):

$$VBap = \frac{Ni - (Nf + Nu)}{Ni - Nf} \times 100$$

Donde:

VBap = Valor Biológico aparente

Ni= Nitrógeno Ingerido (g)

Nf= Nitrógeno Fecal (g)

Nu= Nitrógeno urinario (g)

##### **b.4.2. Digestibilidad aparente**

Considerando el consumo de nitrógeno del animal y la cantidad de nitrógeno presente en las heces, se calculó la digestibilidad aparente mediante la siguiente relación indicada por FAO / WHO /UNU (2007):

$$Dap = \frac{(Ni - Nf)}{Ni} \times 100$$

Donde:

Dap = Digestibilidad aparente

Ni= Nitrógeno Ingerido (g)

Nf= Nitrógeno Fecal (g)

##### **b.4.3. Digestibilidad verdadera**

Partiendo de los registros tomados en la determinación de la digestibilidad aparente se procedió a determinar la digestibilidad verdadera, teniendo en cuenta para esto el valor obtenido después de someter a un grupo de ratas a una alimentación con una dieta aprotéica, permitiendo de esta manera valorar la excreción de nitrógeno fecal. Para la determinación

de la Digestibilidad verdadera se empleó la siguiente fórmula indicada por FAO / WHO /UNU (2007):

$$Dv = \frac{Ni - (Nf - Nfm)}{Ni} \times 100$$

Donde:

Dv = Digestibilidad verdadera

Ni= Nitrógeno Ingerido (g)

Nf= Nitrógeno Fecal (g)

Nfm = Nitrógeno Fecal endógeno (g)

#### **b.4.4. Cómputo de aminoácidos corregido por digestibilidad (PDCAAS)**

Se realizó el análisis de aminoácidos por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) a las semillas cocidas (con mejor respuesta biológica frente a las extruidas) y crudas, para lo cual se empleó el método LMCTL-006F 2001 establecido en La Molina Calidad Total Laboratorios.

Los resultados obtenidos en el análisis de aminoácidos fueron utilizados para estimar el cómputo de aminoácidos, según la metodología indicada por FAO/WHO/UNU (2007), con el empleo de la siguiente fórmula:

$$\text{Cómputo de Aminoácidos} = \frac{\text{mg de aminoácido esencial en 1 g de proteína de prueba}}{\text{mg del mismo aminoácido en 1 g de proteína de referencia}}$$

Con los datos obtenidos se procedió a determinar el PDCAAS, para lo cual se expresó el contenido del primer aminoácido esencial limitante de la proteína de prueba como un porcentaje del contenido del mismo aminoácido en un patrón de referencia. Este patrón se basó en los requerimientos de aminoácidos esenciales de niños de 2 a 5 años de edad publicados según FAO / WHO /UNU (2007). Posteriormente, este porcentaje se corrigió por la digestibilidad verdadera de la proteína de prueba; para esto se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{PDCAAS} = \text{digestibilidad verdadera} \times \text{Cómputo de aminoácidos}$$

### **3.5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

En la Figura 6 se describen las etapas del proceso tecnológico establecido para la obtención de las harinas de semillas de pajuro crudas, cocidas y extruidas:

**a. Materia prima**

Se trabajó con aproximadamente 80 kg, la cantidad total de semillas fue separada en tres partes, la primera se mantuvo en estado crudo, a la segunda se la sometió a un proceso de cocción tradicional (sancochado) y la tercera fue destinada para el proceso de extrusión, luego de los cuales se las procedió a moler para realizar las evaluaciones respectivas.

**b. Selección**

La selección consistió en separar toda materia prima que presentó signos de deterioro o daño visible, tanto físico como microbiológico. Esta operación se llevó a cabo manualmente.

**c. Clasificación**

Se verificó el estado fisiológico de las semillas de pajuro, clasificándose las semillas maduras (marrón oscuro) y de mayor tamaño. Esta operación se llevó a cabo manualmente.

**d. Lavado y desinfectado**

El lavado se realizó con la finalidad de retirar cualquier tipo de materia extraña que pudiera estar presente en las semillas. Para tal efecto se empleó agua potable fría.

El desinfectado se realizó con la finalidad de reducir la carga microbiana, para lo cual se utilizó una solución de hipoclorito de sodio 100 ppm (CLR).

**e. Pelado**

Se realizó con la ayuda de cuchillos, buscando retirar la cáscara y separarla del cotiledón.

**f. Cortado**

Se emplearon cuchillos, que permitieron reducir el tamaño de las semillas a partículas más pequeñas de 8 mm aproximadamente.

**g. Secado**

Las semillas cortadas se llevaron a un secador de bandejas, siendo sometidas a una temperatura de 50 °C por un tiempo de 24 horas, con la finalidad de eliminar el agua presente en el producto, tal como lo mencionan Alonso (2000), El-Hady y Habiba (2002).

#### **h. Molienda**

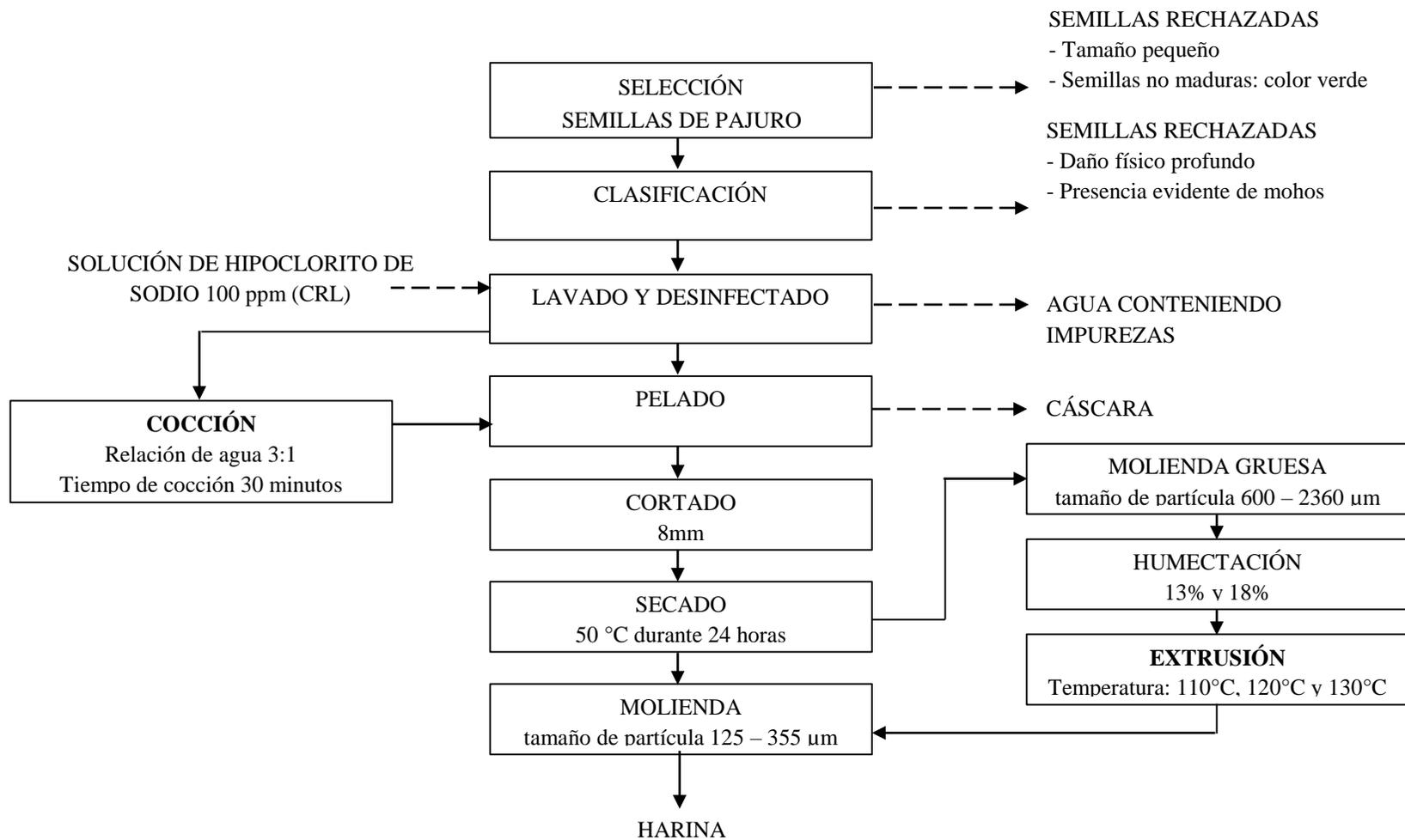
Las semillas secas se redujeron gradualmente de tamaño mediante el uso de un molino de martillos, con la finalidad de obtener una harina uniforme. La harina obtenida se almacenó en bolsas plásticas con cierre hermético a temperatura ambiente hasta su posterior análisis fisicoquímico.

#### **i. Cocción**

Se llevó a cabo empleándose el método tradicional a presión atmosférica, empleándose una cocina industrial y una olla de acero inoxidable, se trabajó con una relación de agua de 3:1 y un tiempo necesario para que las semillas alcanzaran una textura granular suave, es decir que estuvieran aptos para el consumo, lo cual se evaluó sensorialmente mordiendo un grano con los dientes incisivos y oprimiéndolo entre la lengua y el paladar, de acuerdo al método descrito por Elías *et al.* (1986) y López y Bressani (2008).

#### **j. Molienda gruesa**

Se realizó en un molino de martillos, llevando el tamaño de partícula a 600 – 2360  $\mu\text{m}$ , evitando que estos se pulvericen, con la finalidad de obtener semillas con tamaños adecuados para la extrusión.



**Figura 6:** Flujo de operaciones para obtener harina de semillas crudas, harina de semillas cocidas y harina de semillas extruidas.

## **k. Humectación**

Se añadió agua en aspersion sobre las semillas, realizando luego una buena mezcla para que el agua sea captada de manera homogénea por todas las partículas. De acuerdo a Brenes y Brenes (2003), la extrusión es más difícil de aplicar en las leguminosas debido a su bajo contenido en lípidos, los cuales se comportan como lubricante en el caso particular de la soya, por lo que es necesario añadir agua o vapor a estas semillas antes de ser extruidas.

Este acondicionamiento se tiene que dar por un tiempo prudencial para asegurar que toda el agua haya sido absorbida, puesto que cuando queda humedad en las partículas esta se evapora muy rápidamente en la zona de alimentación produciéndose apelmazamiento del material, obstruyéndose así su transporte. El ajuste de humedad se realizó en base a un balance de materia tal como lo menciona Vélchez (2011), llevando el producto a humedades finales de 13% y 18%. El balance se realizó de acuerdo a la siguiente expresión:

$$m_{\text{agua}} = m_1 \times \frac{(h_2 - h_1)}{(100 - h_2)}$$

Donde:

$m_{\text{agua}}$  = masa de agua a añadir

$m_1$  = masa inicial del producto

$h_1$  = humedad inicial del producto

$h_2$  = humedad final del producto

## **l. Extrusión**

Se llevó a cabo con el uso de un extrusor de tornillo simple (motor Inmetro de 1.5 HP, tornillo de paso variable con 30 cm longitud y diámetro de la boquilla de salida de 0.5 cm). Se utilizó 500 gramos por cada corrida, desechándose los primeros 100 gramos hasta estabilizar el paso y salida del material, según lo mencionado por Kameko (2005).

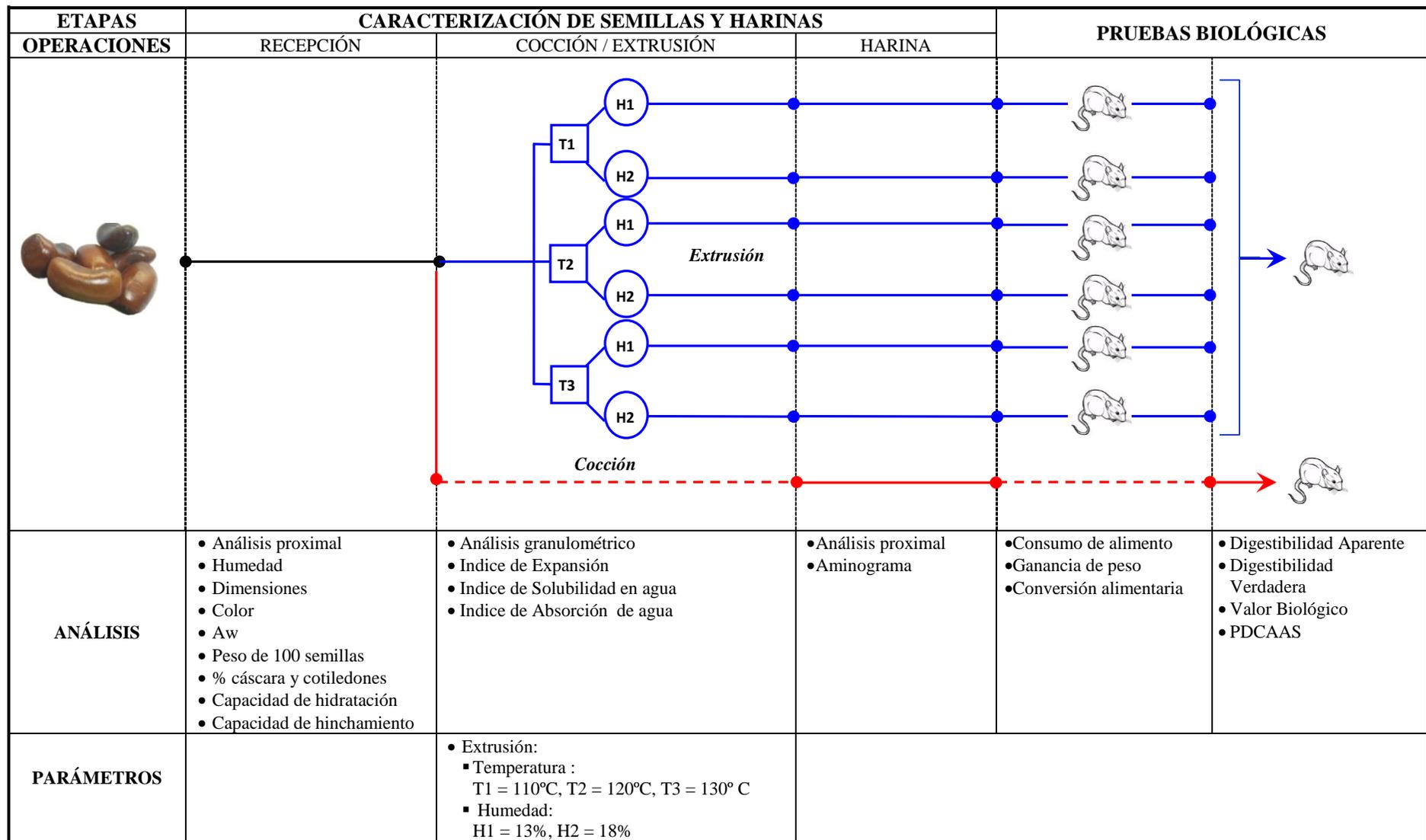
Se realizaron pruebas preliminares para evaluar el tiempo, temperaturas y humedades de extrusión más adecuada a experimentar, logrando establecer las siguientes variables.

- ✓ **Temperaturas:** Se trabajó con las temperaturas de 110 °C, 120 °C, y 130 °C.
  
- ✓ **Humedades:** Se trabajó con humedades de 13% y 18% según lo mencionado por Rojas (2002), El-Hady y Habiba (2002).

### **3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

#### **3.6.1. Diseño Experimental**

Los experimentos se llevaron a cabo siguiendo el esquema experimental mostrado en la Figura 7.



**Figura 7:** Esquema experimental para obtener harina de semillas de pajuro (*Erythrina edulis* Triana) cocidas y extruidas y su evaluación de calidad proteica.

### 3.6.2. Análisis estadístico

#### a. Para evaluar las propiedades funcionales de los extruidos, consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimentaria

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 (temperatura) x 2 (Humedad), además se empleó la prueba estadística de Tukey (Calzada, 1980) para determinar la diferencia entre medias de los factores en estudio. Se realizó el análisis de varianza (ANVA) a un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ .

El modelo aditivo lineal empleado es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Variable respuesta del i-ésimo tratamiento del factor  $\alpha$  (temperatura) en el j-ésimo tratamiento del factor  $\beta$  (humedad) de la k-ésima unidad experimental.

$\mu$  = Efecto de la Media poblacional

$\alpha_i$  = Efecto del nivel i del factor  $\alpha$  (Temperatura)

$\beta_j$  = Efecto del nivel j del factor  $\beta$  (Humedad)

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto de la interacción

$E_{ijk}$  = Efecto del error experimental de la i-ésima temperatura en la j-ésima humedad y la k-ésima unidad experimental.

$i = 1, 2, 3$                        $j = 1, 2$                        $k = 1, 2, 3$

#### b. Para la composición química de las semillas y mediciones biológicas de calidad proteica

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) en su forma simple a un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ . Para ello se realizó un ANVA para determinar las diferencias

significativas entre los tratamientos y la prueba de Tukey (Calzada, 1982) para determinar la comparación de medias de los tratamientos.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable respuesta del i-ésimo tratamiento con la j-ésimo repetición

$\mu$  = Efecto de la Media poblacional

$\tau_i$  = Efecto del nivel i-ésimo tratamiento

$E_{ij}$  = Efecto del error experimental de la i-ésima tratamiento con la j-ésima repetición

$i = 1, \dots, t$                        $j = 1, \dots, r$

Los cálculos estadísticos se aplicaron con el uso del software SAS SYSTEM versión 9.0.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Propiedades físico químicas de las semillas**

Teniendo en cuenta los criterios de evaluación correspondiente, se procedió a realizar la caracterización fisicoquímica de las semillas empleadas en la presente investigación, siendo los valores los que se detallan en el Cuadro 7.

#### **4.1.1. Color de la testa**

En relación al color de la testa, las semillas presentaron valores de L\* correspondientes a 27.26 lo cual corresponde con el hecho de ser una variedad oscura, en cuanto a los valores de a\* y b\* los resultados fueron de 8.60 y 4.81, respectivamente, lo que indica la presencia de tonos marrones y guindas, siendo los colores determinados característicos en estas semillas cuando alcanzan su estado de madurez.

#### **4.1.2. Dimensiones de la semilla**

Los resultados promedio para las semillas fueron 4.35 cm, 2.58 cm y 1.99 cm para el largo, ancho y espesor respectivamente, estos valores hacen notar que las semillas con las que se trabajaron en esta investigación corresponden a los tamaños mediano y grande en función a lo establecido por Mejía *et al.*, (1993), quienes tras realizar una evaluación de las características morfológicas y dimensionales de las semillas de pajuro, determinaron que semillas con una dimensión de entre 1.55 – 2.03 cm para el ancho y 3.98 cm para la longitud se consideran semillas medianas, mientras que semillas con dimensiones de 2.02 – 2.65 cm para el ancho y 6.00 cm para la longitud se deben considerar como semillas grandes. Teniendo

en cuenta los valores morfológicos de las semillas materia de este estudio notamos la superioridad de estas dimensiones respecto a las reportadas por Mujica *et al.*, (2011) al evaluar frejol común (*Phaseolus vulgaris*) que presentaron valores de 1.9 cm para el largo, 0.7 cm para el ancho y 0.5 cm para el espesor; resultados cercanos fueron los reportados por Solano *et al.*, (2009) también en frejoles obteniendo como resultado dimensiones de 1.08 cm para el largo, 0.63 cm para el ancho y 0.52 cm para el espesor, reflejando de igual forma la gran diferencia existente entre los frejoles comunes y las semillas de pajuro.

**Cuadro 7: Propiedades morfológicas y fisicoquímicas de las semillas de pajuro (*Erythrina edulis* Triana).**

<b>MEDICIONES</b>	<b>VALORES</b>
<b>Color de la testa</b>	
<i>L</i> *	27.26
<i>a</i> *	8.60
<i>b</i> *	4.81
<b>Dimensiones (cm)</b>	
Largo	4.35
Ancho	2.58
Espesor	1.99
<b>Peso de 100 semillas secas (g)</b>	478.96
<b>Cáscara</b>	
(% respecto a la semilla entera)	10.8
<b>Cotiledones</b>	
(% respecto a la semilla entera)	89.2
<b>Actividad de agua</b>	0.983
<b>Humedad de semillas frescas (%)</b>	66
<b>Capacidad de hidratación</b>	
(g/semilla)	7.28
<b>Índice de hidratación</b>	0.53
<b>Capacidad de hinchamiento</b>	
(ml/semilla)	5.56
<b>Índice de hinchamiento</b>	0.2

#### **4.1.3. Peso de 100 semillas**

Schoonhoven y Pastor (1987), manifiestan que el peso de la semilla para el caso de frejoles se clasifica en pequeño (menos de 25 g), mediano (25 a 40 g) y grande (mayor a 40 g). Núñez (2011) tras realizar una evaluación agromorfológica del frejol ñuña (*Phaseolus vulgaris L.*) logró determinar un peso de 49.9 – 58.4 g correspondiente al peso de 100 semillas; por su parte en muestras de frejol canario centenario logro obtener un peso de 100 semillas correspondiente a 46.17 g, clasificando a lo reportado por estos dos autores como semillas grandes según los criterios antes mencionados; sin embargo, estos valores son ampliamente superados en casi 10 veces por las semillas de pajuro analizadas en la presente investigación que bajo condiciones similares de evaluación (semillas secas) llegaron a pesar 478.96 g, reflejando esto la gran diferencia y la superioridad de estas semillas frente a las de los frejoles. Cabe resaltar lo mencionado por Paz *et al.*, (2007), quienes señalan que 60 semillas de pajuro en estado fresco hacen aproximadamente 1 kg de este alimento.

Flores (2002), sostiene que esta característica es muy importante ya que es un indicador del tamaño del grano y es un factor de selección cuando se busca nuevas variedades de grano grande y de buena conformación, además es importante tener en cuenta que algunos genotipos pueden tener relativamente bajo o mediano rendimiento promedio; pero el tamaño de grano se caracteriza por ser grande; es decir, el peso de 100 semillas es mayor; lo cual sirve para seleccionar futuras variedades.

#### **4.1.4. Porcentaje de cáscara y cotiledones**

La forma de los cotiledones es arriñonada y son la parte de la semilla más representativa, equivalente a 89.2% del peso total, mientras que el 10.8% de la semilla está compuesta por un tegumento oscuro de textura resistente, porcentajes similares a los reportados por Gómez – Villalva (2005), quien menciona que las semillas de leguminosas está constituida por tres componentes principales: cotiledón (89%), embrión (1%) y cubierta (10%), los cuales difieren significativamente en su composición química; los cotiledones son los componentes mayoritarios de la semilla y su reserva de nutrientes, ya que contribuyen a la mayor proporción de proteínas (96%), grasa (90%), carbohidratos (77%) y minerales (89%); por ello el descascarillado y la eliminación del embrión no afectarían en gran medida a la concentración de nutrientes de la semilla. Goyoaga (2005), manifiesta que la proporción de cada una de las partes de la semilla de haba es la siguiente: el par de cotiledones representa

el 86% del peso total de la semilla, la testa constituye el 13% y el eje embrionario el 1%. Por otra parte Caiza (2011), determinó que en muestras de tarwi estos porcentajes son de 84.66% y 10.74% para los cotiledones y la cáscara respectivamente; resultados similares fueron los obtenidos por Jacinto *et al.*, (2003), quien reportó valores de 11.4% y 9.1% en porcentajes de cáscara para frejoles bayo y canario respectivamente. Por su parte Adebawale *et al.*, (2005) evidenciaron que el porcentaje de la cáscara respecto a la semilla se encuentra dentro del rango correspondiente a 11.05% y 14.02% tras evaluar seis especies de frejol mucuna.

Los valores reportados por cada uno de estos autores nos permiten notar la similitud entre los porcentajes que representan los cotiledones y la cáscara respecto a la semilla de pajuro en el amplio grupo de las leguminosas.

#### **4.1.5. Actividad de agua**

La actividad de agua fue de 0.983 con una humedad de 66% que representa el mayor componente de las semillas de pajuro en estado fresco, valores que reflejan gran similitud a lo reportado por Macías y Vines (2011) quienes determinaron en muestras de haba valores correspondientes a 0.99 y 68.81% para la actividad de agua y la humedad, respectivamente. Por su parte Jay (2002) y Gabriel (2008) sostienen que la actividad de agua es la cantidad de agua disponible para el crecimiento de microorganismos y para que se puedan llevar a cabo diversas reacciones químicas y enzimáticas que afectan la estabilidad de los alimentos, siendo valores superiores a 0.6 los necesarios para la proliferación de bacterias, levaduras y hongos, lo que hace que las semillas en estado fresco se encuentren propensas al ataque de estos microorganismos en caso de no ser sometidas al tratamiento tecnológico adecuado. Por su parte Yildiz (2010) sostiene que la actividad de agua en todos los alimentos es siempre un valor menor a 1.0.

#### **4.1.6. Capacidad de hidratación, índice de hidratación, capacidad de hinchamiento e índice de hinchamiento**

Las semillas presentaron una capacidad de hidratación de 7.28 g/semilla y un índice de hidratación de 0.53, a su vez una capacidad de hinchamiento de 5.56 ml/semilla con un índice de hinchamiento 0.2, valores que son superiores a los reportados por Adebawale *et al.*, (2005), quienes obtuvieron valores correspondientes a 0.2 g/semilla y 0.23 para la capacidad de hidratación e índice de hidratación respectivamente, así como valores de 0.26 ml/semilla

para la capacidad de hinchamiento y 0.24 para el índice de hinchamiento en muestras de frejoles de la especie *Mucuna veracruz white*, indicando estos valores la dureza relativa de la cáscara e impermeabilidad de las semillas de esta especie, siendo menores dichas características en el caso de las semillas de pajuro.

Frente a esto Fennema (2010) manifiesta que a medida que aumenta la hidratación y la penetración del agua a las cavidades de la superficie del grano hinchan la proteína, indicando que el hinchamiento de la proteína aumenta la movilidad y flexibilidad de la cadena y también facilita el acceso de agua a los puentes de hidrógeno peptídicos y puentes salinos, lo que disminuye la temperatura de desnaturalización.

#### **4.1.7. Análisis granulométrico**

El tamaño de las semillas de pajuro, antes de ser extruidas se distribuye tal como se aprecia en el Cuadro 8.

Se puede observar que las semillas molidas presentan una proporción de finos, de 4.67, 1.08, 0.77 y 1.36% pasantes en los tamices N° 45, 80, 100 y 120 respectivamente; por las características estas partículas al ser demasiado pequeñas, fueron separadas y no se utilizaron en el proceso de extrusión ya que en pruebas preliminares realizadas se evidenció una obstrucción y quemado de la muestra dentro del extrusor. Frente a esto Kameko (2005), menciona que el tamaño de partícula del producto a extruir es relevante para el procesamiento, por lo que es recomendable que las partículas no sean muy pequeñas ya que estas se funden rápidamente y no favorecen al transporte del material al interior del extrusor, así como tampoco favorecen al índice de expansión ofreciendo productos más densos.

**Cuadro 8: Granulometría de las semillas de pajuro molidas.**

<b>N° TAMIZ</b>	<b>TAMAÑO (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>PESO (g)</b>	<b>%</b>
<b>8</b>	2360	36.79	37.25
<b>12</b>	1700	19.78	20.03
<b>16</b>	1180	14.49	14.67
<b>20</b>	850	8.08	8.18
<b>30</b>	600	6.17	6.25
<b>45</b>	355	5.67	5.74
<b>80</b>	180	4.61	4.67
<b>100</b>	150	1.07	1.08
<b>120</b>	125	0.76	0.77
<b>Plato</b>	37	1.34	1.36
<b>TOTAL</b>	<b>7500</b>	<b>98.76</b>	<b>100.00</b>

Las partículas retenidas en los tamices N° 8, 12, 16, 20 y 30 cuyo equivalente es el 86.38% del total de la muestra, fueron empleados en el proceso de extrusión, ya que presentaron granulometría mucho más homogénea y experimentalmente ha sido posible observar que no se presentan problemas de transporte dentro de los parámetros trabajados.

Harper (1981), considera que las partículas con una granulometría de 1.41 mm son ideales puesto que retrasan la gelatinización hasta justo antes de salir del dado, haciendo más fácil su transporte. Kokini *et al.*, (1992), manifiestan que el diámetro de las partículas es inversamente proporcional a la velocidad de transferencia de calor, por ende es inversamente proporcional a la gelatinización del almidón, desnaturalización de la proteína, formación de enlaces isopeptídicos, etc.

## **4.2. Propiedades funcionales de los extruidos**

Respecto a las propiedades funcionales de los extruidos en el cuadro 9 se observan los valores correspondientes a los seis tratamientos sometidos a extrusión.

### **4.2.1. Índice de expansión (IE)**

El índice de expansión es significativamente diferente en las tres temperaturas de extrusión ( $P < 0.05$ ), siendo mayor a los 130 °C y menor a los 110 °C. Según los resultados observados, el IE de las semillas extruidas aumenta conforme se incrementa la temperatura de extrusión, observándose incrementos superiores al 50% en cada temperatura respecto a la anterior. Estos resultados son superiores a lo obtenido por Casas (1996), quien observó un incremento del 10% en el IE de una mezcla de maíz y habas tras extruir las muestras a 100 °C y 140 °C, siendo los promedios de 1.10 y 1.20 cm respectivamente.

Por otro lado, se observa un mayor IE ( $P < 0.05$ ) por efecto de la humedad al 13%, independientemente de la temperatura, superando en un 3% respecto a los extruidos a una humedad de 18%. Este hallazgo es consistente con lo reportado por Pilco (2011) quien observó un incremento del 9% en el IE en muestras de quinua y maíz extruidas con 14% de humedad, así como con los resultados de Kameko (2005) quién observó un incremento de 10% en el IE cuando sometió a extrusión una mezcla de oca, olluco y quinua acondicionada con 13% de humedad. En base a lo mencionado se ha obtenido un mayor IE a una humedad de 13%; la disminución del IE a 18% de humedad pudo deberse a la influencia de la humedad del producto, frente a esto Pilco (2011), determinó que cuando la humedad se incrementa, la temperatura de extrusión cae y disminuye la expansión del extruido, lo cual genera un producto denso y duro, debido a una gelatinización incompleta del almidón, siendo esta una característica no deseada en el producto, caso contrario sucede si el contenido de humedad es reducido, la temperatura de extrusión aumenta y la expansión del extruido es mayor.

Se observan, además, diferencias significativas por efecto de la interacción entre los factores temperatura y humedad ( $P < 0.05$ ), encontrándose un mayor IE de las semillas extruidas a una temperatura de 130 °C y 13% de humedad con un valor de 2.58 cm. Este valor resultó superior a lo reportado por Aro (2002), quien obtuvo un valor de 1.64 cm tras extruir una mezcla de granos, cereales y leguminosas; por otro lado los valores obtenidos también resultan superiores a lo obtenido por Romero *et al.*, (1985), quienes reportaron un valor de

1.52 cm en quinua extruida texturizada y 1.18 cm de la quinua extruida sin texturizar siendo en este caso el diámetro de la boquilla de 0.5 cm similares a los empleados en esta investigación.

Por su parte los tratamientos T1, T2, T3 y T4 con menor IE presentaron valores de 1.02, 0.98, 1.92 y 1.93 respectivamente, evidenciándose en estos que aproximadamente el 50% de los extruidos contenía de semillas casi intactas tal como se puede apreciar en la Figura 8.

#### **4.2.2. Índice de absorción de agua (IAA)**

El IAA mide el volumen ocupado por el almidón después de su hinchamiento al someterlo a un medio acuoso, lo que corresponde con el volumen del gel formado; por tal el IAA depende de la disponibilidad de grupos hidrófilos y de la capacidad de formación de gel de la macromolécula (Da Silva *et al.*, 2009).

Teniendo en cuenta lo señalado, se puede apreciar en el Cuadro 9 que el IAA es significativamente diferente ( $P < 0.05$ ) para las tres temperaturas de extrusión, siendo mayor a los 130 °C y menor a los 110 °C; sin embargo no se observan diferencias significativas entre las humedades. De acuerdo a estos resultados, el IAA de las semillas de pajuro extruidas aumenta conforme se incrementa la temperatura de extrusión, observándose un incremento de 40% a la temperatura de 120 °C respecto a la de 110 °C y un incremento de 19% a la temperatura de 130 °C respecto a la de 120 °C.

**Cuadro 9: Efecto de las condiciones de extrusión sobre las propiedades funcionales de las semillas extruidas.**

FACTORES EN ESTUDIO			PROPIEDADES FUNCIONALES		
TRATAMIENTO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Índice de Expansión (cm)	Índice de Absorción de Agua (%)	Índice de Solubilidad en Agua (%)
T1	110 °C	13%	1.02 <sup>a</sup>	4.44 <sup>a</sup>	17.77 <sup>a</sup>
T2		18%	0.98 <sup>a</sup>	4.29 <sup>b</sup>	15.07 <sup>b</sup>
T3	120 °C	13%	1.92 <sup>b</sup>	6.03 <sup>c</sup>	28.83 <sup>c</sup>
T4		18%	1.93 <sup>b</sup>	6.40 <sup>d</sup>	31.40 <sup>d</sup>
T5	130 °C	13%	2.58 <sup>c</sup>	7.57 <sup>e</sup>	38.85 <sup>e</sup>
T6		18%	2.43 <sup>d</sup>	7.17 <sup>f</sup>	41.27 <sup>e</sup>
P (Temperatura*Humedad)			0.0230	<.0001	0.0075
Efecto de la Temperatura		110° C	1.00333 <sup>c</sup>	4.36500 <sup>c</sup>	16.4167 <sup>c</sup>
		120° C	1.92500 <sup>b</sup>	6.21500 <sup>b</sup>	30.1167 <sup>b</sup>
		130° C	2.50833 <sup>a</sup>	7.37000 <sup>a</sup>	40.0083 <sup>a</sup>
P (Temperatura)			<.0001	<.0001	<.0001
Efecto de la Humedad		13%	1.84111 <sup>a</sup>	6.01444 <sup>a</sup>	28.4833 <sup>a</sup>
		18%	1.78333 <sup>b</sup>	5.95222 <sup>a</sup>	29.2111 <sup>a</sup>
P (Humedad)			0.0191	0.0781	0.2663

a, b, c, d, e, f; letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística (P<0.05).



**Figura 8:** Semillas de pajuro extruidas: **T1.** 110 °C y 13 % de Humedad, **T2.** 110 °C y 18 % de Humedad, **T3.** 120 °C y 13 % de Humedad, **T4.** 120 °C y 18 % de Humedad, **T5.** 130 °C y 13 % de Humedad, **T6.** 130 °C y 18 % de Humedad.

Se observan, además, diferencias significativas por efecto de la interacción entre los factores temperatura y humedad ( $P < 0.05$ ), encontrándose un mayor IAA de las semillas extruidas a una temperatura de 130 °C y 13% de humedad con un valor de 7.57% correspondientes al tratamiento 5; siendo para los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T6 los valores de 4.44%, 4.29%, 6.03%, 6.40% y 7.17% respectivamente. Al respecto, Lin *et al.*, (2002), evidenciaron al extruir proteína de soya aislada y almidón de trigo que el contenido de humedad y la temperatura de extrusión fueron factores significativos para la capacidad de absorción de agua por lo que temperaturas mayores mejoran esta capacidad que es explicado porque a altas temperaturas de cocción las muestras tienden a expandirse ligeramente al salir del dado lo cual crea espacios más abiertos en la estructura de la muestra, esto puede ser la causa de que las muestras embeban más agua cuando se rehidratan. Al respecto, Hagenimana *et al.*, (2006) mencionan que generalmente el IAA aumenta en paralelo con el aumento de la temperatura de extrusión pues se ha observado que tiene un máximo pico a una temperatura determinada, después de la cual disminuye, probablemente debido a un aumento de dextrinización del almidón.

El valor obtenido en el tratamiento 5 es superior a lo reportado por Aro (2002), quien obtuvo un valor de 6.10% al evaluar una mezcla instantánea; por otro lado Owusu (1983) citado por este mismo autor reporta valores de 6%, 8.3%, 7.7% y 1.4% del IAA para maíz, almidón de arroz, trigo y maíz céreo cuando fueron sometidos a extrusión a una temperatura de 170 °C.

#### **4.2.3. Índice de solubilidad en agua (ISA)**

El ISA es significativamente diferente ( $P < 0.05$ ) para las tres temperaturas de extrusión, siendo mayor a los 130 °C y menor a los 110 °C; a la vez, no se observan diferencias significativas entre las humedades. De acuerdo a estos resultados, el ISA de las semillas extruidas aumenta conforme se incrementa la temperatura de extrusión, observándose un incremento de 83% a la temperatura de 120 °C respecto a la de 110 °C y un incremento de 33% a la temperatura de 130 °C respecto a la de 120 °C.

Se observan, además, que no existen diferencias significativas por efecto de la interacción entre los factores temperatura y humedad ( $P < 0.05$ ), para los tratamientos con mayor ISA que corresponde a los tratamientos T5 y T6, con valores de 38.85% y 41.27%, respectivamente, reflejando estos un mejor resultado con respecto al porcentaje de sólidos solubles del

producto, luego de que el almidón ha sufrido una modificación. Al respecto Da Silva *et al.*, (2009) señalan que el ISA se utiliza a menudo como una indicación de la degradación y dextrinización de moléculas de almidón, así como también permite medir el grado de conversión del almidón durante la extrusión. Frente a ello Rossen y Miller (1993), manifiestan que la solubilidad de un producto extruido es directamente proporcional al contenido de sólidos solubles como los carbohidratos, e inversamente proporcional al contenido proteico que este contenga ya que la proteína se hace insoluble al ser sometida a un tratamiento térmico.

El ISA obtenido en los tratamientos T5 y T6 resultan similares a los obtenidos en muestras de maíz extruido y arroz extruido que presentaron valores de 41% y 38% respectivamente, a la vez resultaron superiores a los valores reportados por Casas (1996) y Rojas (2002) quienes encontraron porcentajes de solubilidad de 34.6% para muestras de frejoles (*Phaseolus vulgaris L.*).

### **4.3. Análisis biológicos**

#### **4.3.1. Efecto de las semillas extruidas sobre el consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimentaria**

##### **a. Raciones**

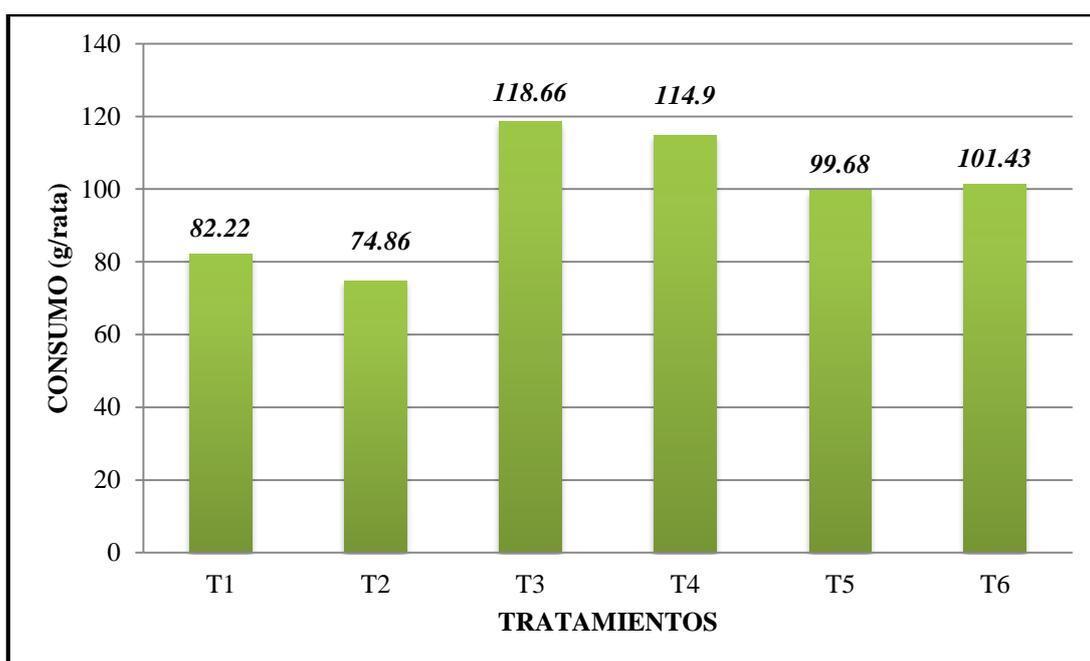
Las raciones fueron preparadas en base al análisis químico proximal de las semillas extruidas (Cuadro 10) y a los requerimientos nutricionales de las ratas; las raciones fueron isoproteicas e isocalóricas con 10 % de proteína, cuya composición se detalla en el Cuadro 11. Se pesaron los ingredientes, luego fueron llevados dentro de una mezcladora eléctrica hasta que la mezcla se homogenizó por completo, una vez realizado el mezclado las raciones fueron envasadas en recipientes de plástico debidamente tapados los cuales fueron guardados en un lugar fresco y libre de humedad.

##### **b. Consumo de alimento**

Los resultados respecto a los factores de extrusión (temperatura y humedad) y su influencia en el consumo de alimento, se presentan en el Cuadro 12, donde se puede apreciar que el consumo de alimento es significativamente diferente en las tres temperaturas de extrusión ( $P < 0.05$ ), siendo mayor a 120 °C y menor a 110 °C. Mientras que el efecto de la humedad

de extrusión sobre el consumo de alimento no presenta diferencias significativas entre 13% y 18%.

Se observan, además, que no existen diferencias significativas por efecto de la interacción entre los factores temperatura y humedad ( $P < 0.05$ ), aunque cabe resaltar que los tratamientos T3 y T4 presentan un consumo de alimento superior con cantidades de 118.6 y 114.9 g/rata respecto a los demás tratamientos, tal como se puede apreciar en la Figura 9.



**Figura 9:** Consumo de alimento total por tratamiento (g/rata).

Durante toda la etapa experimental, la categoría de animales correspondientes a los tratamientos T1 y T2 fueron los que consumieron menor cantidad de alimento, siendo superadas por los tratamientos T3, T4, T5 y T6, posiblemente a causa de una mayor palatabilidad de las dietas que contenían harina de semillas extruidas con mejores características organolépticas, principalmente en olor y sabor, factores que influyen positivamente en el consumo de alimento. Además, una expansión más homogénea se refleja en una mejor gelatinización y cocción de las semillas obteniéndose un producto más palatable, así mismo, se logró obtener un producto extruido de fácil masticación. Esto no sucedió en los tratamientos T1 y T2 los cuales al presentar semillas molidas parcialmente cocidos otorgaban al extruido un sabor ligeramente amargo.

**Cuadro 10: Análisis químico proximal de las semillas extruidas (100% base seca).**

COMPONENTES	UNIDAD	TRATAMIENTOS					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
<b>Materia seca</b>	%	90.21	87.75	91.50	89.45	92.93	90.29
<b>Proteína cruda</b>	%	20.67	20.97	20.96	20.45	20.78	20.99
<b>Extracto etéreo</b>	%	0.46	0.46	0.43	0.44	0.44	0.44
<b>Fibra cruda</b>	%	2.63	2.54	2.51	2.60	2.51	2.62
<b>Ceniza</b>	%	5.00	5.08	4.97	4.79	4.92	5.02
<b>ELN*</b>	%	71.25	70.93	71.12	71.72	71.34	70.92
<b>MATERIA ORGÁNICA</b>	%	95.00	94.92	95.03	95.21	95.08	94.98

\* Extracto libre de nitrógeno.

T1: Semillas extruidas a 110 °C y 13 % de Humedad

T2: Semillas extruidas a 110 °C y 18 % de Humedad

T3: Semillas extruidas a 120 °C y 13 % de Humedad

T4: Semillas extruidas a 120 °C y 18 % de Humedad

T5: Semillas extruidas a 130 °C y 13 % de Humedad

T6: Semillas extruidas a 113 °C y 18 % de Humedad

**Cuadro 11: Composición porcentual y valor nutritivo de las raciones preparadas a base de semillas extruidas.**

Ingrediente	T1		T2		T3		T4		T5		T6	
	%	Kcal.	%	Kcal.	%	Kcal.	%	Kcal.	%	Kcal.	%	Kcal.
Harina de pajuro extruido	53.11	178.14	53.80	175.52	51.62	175.84	54.12	180.41	51.24	177.38	52.24	175.24
Premezcla sales minerales*	4.00	---	4.00	---	4.00	---	4.00	---	4.00	---	4.00	---
Premezcla vitaminas*	5.00	18.93	5.00	18.93	5.00	18.93	5.00	18.93	5.00	18.93	5.00	18.93
Grasa vegetal	14.07	49.53	9.70	87.30	8.20	73.80	9.10	81.90	7.70	69.3	8.90	80.10
Maicena	8.70	78.30	13.50	47.52	16.00	56.32	14.57	51.28	17.43	61.35	17.00	59.84
Azúcar	11.38	45.52	10.20	40.80	11.37	45.48	9.47	37.88	10.82	43.28	9.10	36.40
Coronta molida	3.74	9.91	3.80	10.07	3.81	10.09	3.74	9.91	3.81	10.09	3.76	9.96
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>380.33</b>	<b>100</b>	<b>380.14</b>	<b>100</b>	<b>380.46</b>	<b>100</b>	<b>380.31</b>	<b>100</b>	<b>380.33</b>	<b>100</b>	<b>380.50</b>
<b>Valor nutritivo calculado</b>	<b>Contenido en la ración</b>											
<b>Proteína (%)</b>	10.23		10.16		10.18		10.16		10.17		10.18	
<b>Energía (Kcal/g)</b>	3.803		3.801		3.805		3.803		3.803		3.805	

\* Su composición se detalla en el **Anexo VI**.

**Cuadro 12: Efecto de las condiciones de extrusión sobre el consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimentaria.**

FACTORES EN ESTUDIO			PARÁMETROS DE EVALUACIÓN		
TRATAMIENTO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Consumo de alimento (g/rata)	Ganancia de peso (g/rata)	Conversión Alimentaria
T1	110 °C	13%	82.22 <sup>a</sup>	-11.77 <sup>a</sup>	-7.15 <sup>a</sup>
T2		18%	74.86 <sup>a</sup>	-24.92 <sup>b</sup>	-3.03 <sup>a</sup>
T3	120 °C	13%	118.66 <sup>a</sup>	4.52 <sup>c</sup>	26.60 <sup>b</sup>
T4		18%	114.9 <sup>a</sup>	5.59 <sup>c</sup>	21.06 <sup>bc</sup>
T5	130 °C	13%	99.68 <sup>a</sup>	6.99 <sup>c</sup>	14.30 <sup>c</sup>
T6		18%	101.43 <sup>a</sup>	7.08 <sup>c</sup>	14.66 <sup>c</sup>
P (Temperatura*Humedad)			0.7517	<.0001	0.0172
Efecto de la Temperatura		110 °C	78.542 <sup>c</sup>	-18.3400 <sup>b</sup>	-5.094 <sup>c</sup>
		120 °C	116.782 <sup>a</sup>	5.0533 <sup>a</sup>	23.835 <sup>a</sup>
		130 °C	100.557 <sup>b</sup>	7.0350 <sup>a</sup>	14.484 <sup>b</sup>
P (Temperatura)			0.0001	<.0001	<.0001
Efecto de la Humedad		13%	100.188 <sup>a</sup>	-0.0867 <sup>a</sup>	11.252 <sup>a</sup>
		18%	97.066 <sup>a</sup>	-4.0811 <sup>b</sup>	10.898 <sup>a</sup>
P (Humedad)			0.5357	0.0002	0.7669

a, b, c; letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística (P<0.05).

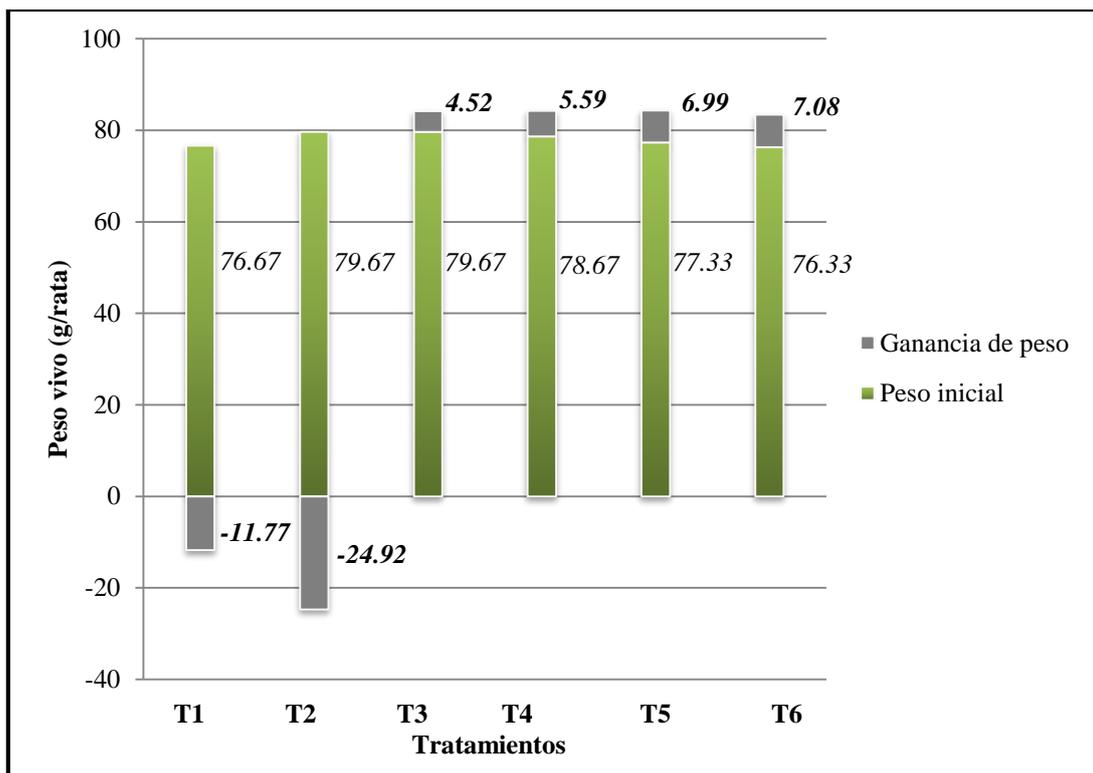
### c. Ganancia de peso

Los resultados respecto a los factores de extrusión (temperatura y humedad) y su influencia en la ganancia de peso se presentan en el Cuadro 12, donde se puede apreciar que la ganancia de peso es significativamente diferente para la temperatura de 110 °C con respecto a 120 °C y 130 °C ( $P < 0.05$ ), observándose una pérdida de peso en la primera, mientras que a las temperaturas de 120 °C y 130 °C se observó una ganancia de peso de 5.05 y 7.03 g/rata, respectivamente. Por otro lado, se observó una menor pérdida de peso para la humedad de 13% con una media de -0.0867, independientemente de la temperatura, resultando esta pérdida inferior a la reportada a la humedad de 18% con un valor de -4.0811, esto indica la existencia de diferencias significativas en la ganancia de peso por efecto de las humedades.

Por otra parte, los resultados indican que la interacción entre las temperaturas y las humedades tienen un efecto significativo ( $P < 0.05$ ) en la ganancia de peso, encontrándose una mayor ganancia en los tratamientos T3, T4, T5 y T6; así mismo, los tratamientos T1 y T2 con pérdidas de peso de 11.77 g y 24.92 g, respectivamente, reflejan una diferencia significativa entre ellos, siendo la pérdida de peso en el caso del tratamiento T2 mayor al tratamiento T1 tal como se puede apreciar en la Figura 10.

Las ganancias de peso logradas por los tratamientos T3, T4, T5 y T6 que fueron extruidos a 120 °C y 130 °C de temperatura con 13% de humedad y 18% de humedad, pueden ser explicadas por el tratamiento de mayor temperatura que posiblemente hayan hecho más disponibles los nutrientes. Al respecto Van der Poel (1990), señala que es bastante conocido que en las leguminosas crudas se encuentran varios factores limitantes que disminuyen su potencial nutricional, determinando una baja respuesta en los animales cuando el grano se incluye en forma cruda en alimentos balanceados.

Este concepto y lo ocurrido en los tratamientos T1 y T2 es reforzado por Pérez *et al.*, (1979), quienes evaluaron la harina de semillas de pajuro crudas, empleando cuyes como animales experimentales, logrando este autor evidenciar en la primera semana de prueba pérdidas de peso individuales de hasta 14 g y la muerte de un animal; en el curso de la segunda semana murieron el resto de los animales cuyo consumo de alimento había sido mínimo. Estos resultados llevan a este autor a señalar que la presencia de inhibidores de tripsina y lectinas en las semillas de pajuro es evidente, por lo que es necesario un adecuado tratamiento térmico.



**Figura 10:** Peso inicial y ganancia de peso promedio por tratamiento (g/rata).

Estos resultados, sumados a la presencia de factores tóxicos termolábiles propios de las leguminosas, condujeron a Villacrez (1987), a tratar térmicamente las semillas de pajuro siendo la técnica de cocción convencional la empleada, así como el uso de cuyes como animales experimentales; en esta investigación los animales murieron en 28 días corroborando estos resultados la necesidad de un tratamiento térmico debido a la presencia de factores tóxicos termolábiles presentes en esta leguminosa. El mismo autor hace notar que la presencia de alcaloides en las semillas es evidente, coincidiendo de esta manera con lo reportado por Domínguez 1973, citado por Barrera y Mejía (1998), Goyoaga (2005) y Fuertes *et al.*, (2010) en el Cuadro 4. Por su parte Chekee y Palo (1995), citados por Ramos *et al.*, (1998), mencionan que los alcaloides se presentan hasta en un 33% de las plantas dicotiledóneas, estando, eso sí, ausentes en las monocotiledóneas.

Frente a lo mencionado por estos autores, las características de los alcaloides, lectinas e inhibidores de tripsina como depresores del crecimiento pueden haber influido en la baja ganancia de peso de las ratas de los tratamientos T3, T4, T5 y T6 así como en la pérdida de peso de las ratas de los tratamientos T1 y T2 en los cuales las partículas de semillas molidas encontraban casi intactas. A lo que Gómez –Villalba (2005) agrega, que las dietas con

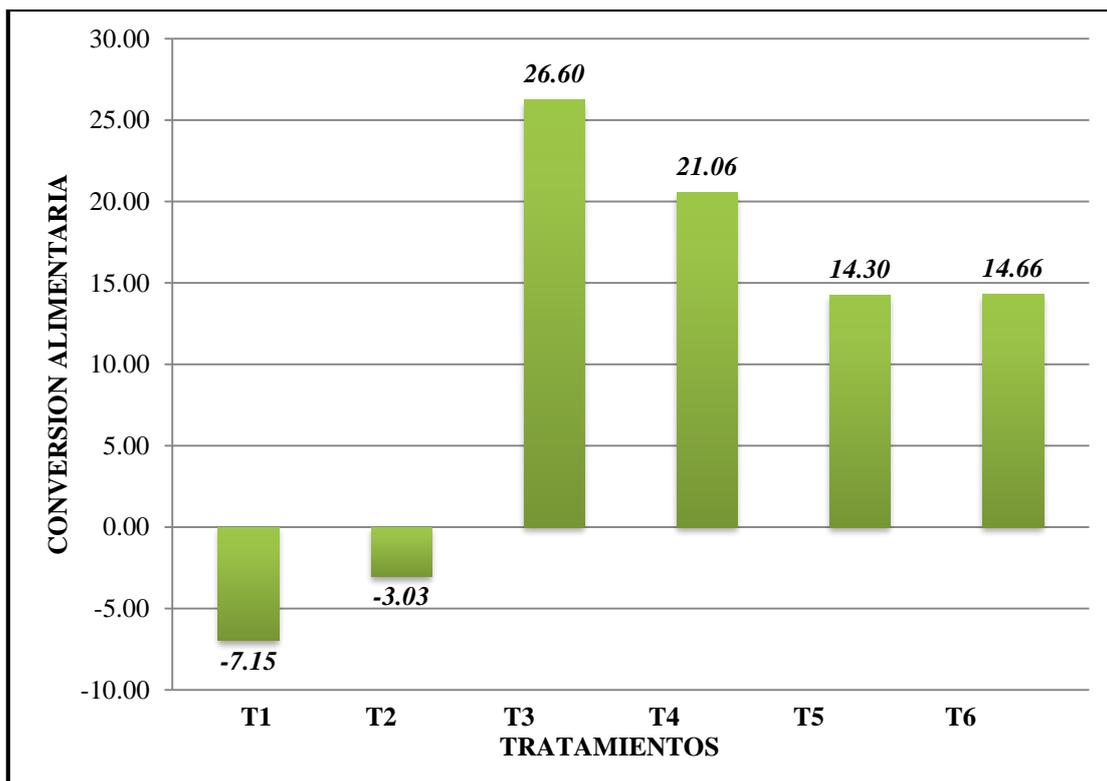
inhibidores de proteasas producen una disminución en el crecimiento y en la ganancia de peso diario de animales experimentales. Siendo el resultado similar a los obtenidos por Puszta *et al.*, (1992) citado por Gómez – Villalba (2005) quienes obtuvieron una disminución del 22% en el peso de las ratas cuando las alimentan con una dieta a la que se adicionó inhibidores de tripsina procedentes de frejol negro y Herkelman *et al.*, (1992) quienes observaron diferencias en el incremento de peso diario cuando alimentan cerdos con dietas de diferente contenido en inhibidores de proteasas siendo mayor el incremento de peso cuanto menor es la concentración de inhibidores de las proteasas.

#### **d. Conversión alimentaria**

Teniendo en cuenta que el índice de conversión alimentaria determina la cantidad de alimento necesario para lograr el incremento de peso, este índice se convierte en un indicador muy importante e indispensable puesto que nos permitirá comparar desde el punto de vista eficiente la transformación de los componentes alimentarios en productos finales.

Bajo este criterio, la conversión alimentaria es significativamente diferente en las tres temperaturas de extrusión ( $P < 0.05$ ), siendo menor a los 130 °C y mayor a los 120 °C. Según los resultados observados, existe una mejor respuesta en la conversión alimentaria conforme se incrementa la temperatura de extrusión. Mientras que el efecto de la humedad de extrusión sobre la conversión alimentaria no presenta diferencias significativas entre 13% y 18%.

Se observan, además, diferencias significativas por efecto de la interacción entre los factores temperatura y humedad ( $P < 0.05$ ), encontrándose una menor conversión alimentaria en los tratamientos T4, T5 y T6 con valores de 21.06, 14.30 y 14.66, respectivamente. Numéricamente el tratamiento 5 obtuvo la menor conversión alimentaria, pudiendo deberse principalmente a que en dicho tratamiento se obtuvo uno de los más elevados valores de ganancia de peso (6.99 g/rata), y a la vez el menor valor de consumo de alimento (99.68 g/rata), lo que demuestra una vez más como la calidad de la dieta mejora su aprovechamiento a favor de la respuesta animal. Por otra parte los valores de conversión alimentaria determinados para los tratamientos T1 y T2 con valores -7.15 y -3.03, respectivamente, resultan ser negativos al presentar pérdidas de peso, aunque el consumo de alimento resultó no ser significativamente diferente a los demás tratamientos, tal como se muestra en la Figura 11.



**Figura 11:** Conversión alimentaria.

#### 4.3.2. Composición química proximal de las semillas crudas, cocidas y extruidas

La composición química proximal correspondiente a las semillas crudas, cocidas y al tratamiento extruido con mejores propiedades funcionales y conversión alimentaria (tratamiento 5) se muestran en el Cuadro 13.

Con respecto a los porcentajes de proteína no existen diferencias significativas entre las muestras crudas, cocidas y extruidas siendo los valores de 21.10%, 20.58% y 20.78% respectivamente, encontrándose además estos valores dentro del rango (18 a 24%) de proteína cruda reportados en semillas de pajuro por otros investigadores (Villacrez, 1987; Barrera y Mejía, 1998; Saavedra, 2004). Sin embargo, la ligera reducción en el porcentaje de proteína de las semillas cocidas y extruidas, según Campos (2007) puede deberse al tratamiento térmico intenso lo que produce una ligera pérdida de nitrógeno por el sobrecalentamiento de las semillas, esto lo evidenció tras someter a tostado semillas de frejol mucuna (*Stizolobium deeringianum*) y observándose una reducción en el porcentaje de proteína de 25.29% a 24.27%; por su parte, Rojas (2002) sostiene que a la fuerza de cizalla a la que ha sido sometido el producto también tiene repercusiones pues las condiciones de

bajo contenido de humedad en la extrusión tienden a dar un grado de protección a la desnaturalización proteica, pero también crean las condiciones apropiadas para la generación de mayor cizalla y altas temperaturas que a su vez ocasionan pérdidas de hasta un 3% de la proteína cruda, así lo comprobó con el frejol panamito (*Phaseolus Vulgaris L.*) extruido llegando a reducir el porcentaje de proteína de 26.33% a 24.63%. Por otra parte, Fennema (2010) menciona que los alimentos con alto contenido proteico sometidos a tratamientos térmicos y mecánicos intensos, conducen a la formación de enlaces cruzados covalentes isopeptídicos, reacción de Maillard, oxidación de aminoácidos y una desaminación, afectando así el valor nutricional y el contenido de nitrógeno total.

En cuanto al extracto etéreo existen diferencias significativas entre las semillas crudas que presentaron un valor de 0.54% con las cocidas y extruidas que presentaron valores de 0.47% y 0.44%, respectivamente; así mismo, no existen diferencias significativas en el porcentaje de extracto etéreo correspondiente a las muestras cocidas y extruidas. El porcentaje presentado por las semillas crudas es muy cercano a lo reportado por Pérez *et al.*, (1979), Villacrez (1987) y Barrera y Mejía (1998) quienes reportaron valores de 0.6%, 0.75% y 0.51%, respectivamente; esto nos lleva a considerar al pajuro dentro del grupo de las leguminosas bajas en este componente. Por otra parte, la disminución presentada en las semillas cocidas y extruidas se debe a la pérdida por oxidación tras la liberación de iones metálicos complejos, ruptura de enlace C – C, ruptura de enlace C – O que puede dar lugar a la formación de isómeros de posición de los hidroperóxidos, a la epoxidación, formación de dehidroperóxidos, ciclación intramolecular y dimerizaciones, así como la formación de complejos almidón – lípido que son resistentes a las técnicas de extracción de estos componentes (Belitz y Grosch, 1997; Onyango *et al.*, 2004; Jeantet, 2010). Según Gualberto *et al.*, (1997), citados por Luna (2005), afirman que la extrusión produce una volatilización de algunos ácidos grasos debido a la alta temperatura y en consecuencia a la disminución del contenido graso. Por otra parte Valls (1993), menciona que un producto al ser extruido sufre un proceso de emulsión debido a la fuerte presión al que es sometido quedando la grasa encapsulada por almidones y proteínas; por tales razones, para la realización correcta es necesario realizar una hidrólisis ácida y una posterior extracción, puesto que con el método del extracto etéreo no se consiguen los resultados que corresponden en realidad al producto.

**Cuadro 13: Cuadro comparativo del análisis químico proximal y energético de las semillas crudas y procesadas (100% base seca).**

COMPONENTES	UNIDAD	TIPOS DE PROCESAMIENTO		
		CRUDO	COCIDO	EXTRUIDO <sup>(1)</sup>
<b>Materia seca</b>	%	86.92	91.14	92.93
<b>Proteína cruda</b>	%	21.10 <sup>a</sup>	20.58 <sup>a</sup>	20.78 <sup>a</sup>
<b>Extracto etéreo</b>	%	0.54 <sup>a</sup>	0.47 <sup>b</sup>	0.44 <sup>b</sup>
<b>Fibra cruda</b>	%	2.86 <sup>a</sup>	2.83 <sup>a</sup>	2.51 <sup>b</sup>
<b>Ceniza</b>	%	4.91 <sup>a</sup>	4.51 <sup>b</sup>	4.92 <sup>a</sup>
<b>ELN<sup>(2)</sup></b>	%	70.59	71.61	71.34
<b>Materia orgánica</b>	%	95.09	95.49	95.08
<b>Valor energético<sup>(3)</sup></b>	Kcal	392	394	391

a, b; letras diferentes en la misma fila indican diferencia estadística (P<0.05).

(1)El extruido se realizó a una temperatura de 130 °C y una humedad de 13%

(2)Extracto Libre de Nitrógeno

(3) Estimados a través de los factores de conversión de Atwater, según lo indicado por Oliveira *et al.*, (2011).

El porcentaje de fibra cruda correspondiente a las semillas crudas y cocidas muestran que no existe diferencia significativa entre estas dos muestras las cuales presentan valores de 2.86% y 2.83% respectivamente. Por otra parte, las semillas crudas y cocidas presentan diferencias significativas con las semillas extruidas en las que se obtuvo un valor de 2.51% siendo este valor menor que las otras muestras. El valor de las semillas crudas determinado en este experimento es menor a los reportados por Pérez *et al.*, (1979) y Saavedra (2004) quienes reportaron valor de 4.1% y 4.37%, respectivamente.

Según Kameko (2005), el contenido de fibra es importante porque afecta algunas propiedades físicas y sensoriales de los extruidos. Un aumento en el contenido de fibra produce extruidos más densos, orificios más grandes, un color más oscuro y puede también conferir un sabor amargo. Desde el punto de vista del procesamiento, un producto con más fibra requiere más fuerza (energía) para ser extruido. En el caso de las semillas extruidas se evidenció que adquirieron un color más oscuro y un sabor menos amargo de lo característico. Por otra parte, el bajo contenido de fibra es consecuencia de la eliminación de la celulosa presente en la cáscara de las semillas, lo que resulta favorable para un buen proceso de extrusión.

Los valores obtenidos respecto a la ceniza muestran que no existen diferencias significativas entre las muestras de semillas crudas con las extruidas siendo los valores de 4.91% y 4.92% respectivamente, sin embargo si existe una diferencia significativa entre estas dos muestras con las semillas cocidas la que presentó un valor de 4.51%. En cuanto a este componente las semillas crudas resultan ser superiores al valor reportado por Villacrez (1987) quien determinó un valor de 2.68%, pero inferiores a los reportados por Pérez *et al.*, (1979) y Barrera y Mejía (1998) quienes determinaron valores de 5.7% y 5.64%, respectivamente.

Respecto al valor energético mostrado por las semillas crudas, cocidas y extruidas fue de 392 Kcal, 394 Kcal y 391Kcal respectivamente, valores que se encuentran ligeramente por encima a los reportados por Khattab *et al.*, (2009), quien determinó en muestras de frejol cowpea (*V. sinensis L.*), frejol común (*Phaseolus vulgaris L.*) y alverjas (*P. sativum L.*) valores correspondientes a 383.91 Kcal, 377.13 Kcal y 381.75 Kcal respectivamente.

Aunque con los tratamientos no se modificó de forma apreciable el análisis químico proximal de las semillas cocidas y extruidas, con respecto al crudo; si se considera una

modificación de su valor nutricional, ya que por acción del agua o del calor se pueden inactivar los factores antinutricionales y por efecto, liberar parte de la grasa contenida en las semillas y abrir la estructura terciaria de la proteína, mejorando la disponibilidad de aminoácidos. Además en la composición química que mantiene, se presentan niveles altos de proteína y extracto libre de nitrógeno y niveles bajos de fibra, ceniza y humedad, lo que se considera, para cualquier materia prima, como un indicador inicial del buen contenido energético del alimento.

Las diferencias en la composición de las semillas respecto con otros autores, es sabido que a pesar de que las leguminosas son una importante fuente de macro y micronutrientes, su composición varía entre las distintas especies de leguminosas, pudiendo encontrarse incluso dentro de la misma especie diferencias notables entre las distintas variedades o genotipos, según las diferentes condiciones edafoclimáticas, prácticas de cultivo, composición del suelo donde fueron sembradas, la época de la cosecha, localización geográfica, entre otros (Gómez - Villalba, 2005; Chaparro, 2009; Pérez, 2011).

#### **4.3.3. Evaluación de la calidad proteica de semillas cocidas y extruidas**

##### **a. Raciones**

Las raciones fueron preparadas en base al análisis proximal de las semillas cocidas y extruidas (Tratamiento 5) así como a los requerimientos nutricionales de las ratas; las raciones fueron isoproteicas e isocalóricas con 10 % de proteína (Cuadro 14). Se pesaron los ingredientes, luego fueron llevados dentro de una mezcladora eléctrica hasta que la mezcla se homogenice por completo, una vez realizado el mezclado las raciones fueron envasadas en recipientes de plástico debidamente tapados los cuales fueron guardados en un lugar fresco y libre de humedad.

**Cuadro 14: Composición porcentual y valor nutritivo de las raciones preparadas a base de semillas cocidas y extruidas.**

INGREDIENTE	Cocido		Extruido <sup>(1)</sup>	
	%	Kcal.	%	Kcal.
Harina de semillas de pajuro	52.77	179.41	51.24	177.38
Premezcla Sales minerales <sup>(2)</sup>	4.00	---	4.00	---
Premezcla de vitaminas <sup>(2)</sup>	5.00	18.93	5.00	18.93
Grasa vegetal	14.86	52.31	7.70	69.3
Maicena	8.20	73.80	17.43	61.35
Azúcar	11.53	46.12	10.82	43.28
Coronta molida	3.64	9.65	3.81	10.09
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>380.22</b>	<b>100</b>	<b>380.33</b>
<b>Valor nutritivo calculado</b>	<b>Contenido en las raciones</b>			
Proteína (%)	10.16		10.17	
Energía (Kcal/g)	3.8022		3.8030	

(1) El extruido se realizó a una temperatura de 130 °C y una humedad de 13%.

(2) Su composición se detalla en el Anexo VI.

## **b. Evaluaciones biológicas**

Los resultados observados en el presente estudio (Cuadro 15) indican un consumo de alimento significativamente mayor ( $P < 0.05$ ) para las semillas extruidas, llevando esto a obtener un mayor consumo de nitrógeno para las semillas tratadas de esta forma, resultando significativamente mayores ( $P < 0.05$ ) que las semillas cocidas.

De igual forma, los resultados concernientes a excreción fecal y urinaria son significativamente mayores ( $P < 0.05$ ) en las semillas extruidas, lo que conduce a obtener una mayor cantidad de nitrógeno fecal y urinario, siendo en ambos casos significativamente mayor ( $P < 0.05$ ) para las semillas extruidas.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos respecto al consumo y excreción de nitrógeno, el valor biológico aparente obtenido para el caso de las semillas cocidas es mayor al valor obtenido en las semillas extruidas siendo sus valores 65.52% y 60.46%, respectivamente. Sin embargo, en ambos casos tanto las semillas cocidas como en las extruidas presentan valores superiores a los reportados por Díaz (1999) quien determinó en muestras de frejol rojo, frejol amarillo, frejol blanco, frejol negro y frejol canario valores de 47.4%, 60.3%, 57%, 51.4% y 50.1% respectivamente, después de someterlos a un proceso de sancochado por 2.5 horas en condiciones normales; así mismo, Rojas (2002), evidenció un valor correspondiente a 58.67% en muestras de frejol panamito luego de someterlo a un tratamiento térmico de extrusión bajo las condiciones de 140 °C de temperatura y 13% de humedad.

Respecto a la digestibilidad aparente, las semillas cocidas presentaron un valor de 67.44% siendo estos valores muy cercanos a los determinados por Díaz (1999) quien reportó valores de 70.8%, 70.7%, 64.7%, 62.8% y 74.6% para muestras de frejol rojo, frejol amarillo, frejol blanco, frejol negro y frejol canario respectivamente. Por otra parte, Rojas (2002), obtuvo un valor de 72.82% en muestras de frejol panamito luego de someterlo a un proceso de extrusión, siendo superior a lo obtenido con las semillas extruidas en la presente investigación con las que se obtuvo un valor de 65.15%, lo que lleva a pensar que las semillas de pajuro resultan ser más sensibles al calor puesto que al ser extruidas a 130 °C, temperatura inferior a la empleada por Rojas (2002) que utilizó una temperatura de 140 °C, se obtuvo un valor de digestibilidad aparente menor. Los valores de digestibilidad aparente obtenidos

tanto para las semillas cocidas como extruidas pueden considerarse razonablemente altos ya que la digestibilidad de las proteínas de origen vegetal es mucho menor que las de origen animal; según Cheftel *et al.*, (1989) las proteínas animales se digieren y absorben en una proporción del 90%, mientras que los de algunas proteínas vegetales sólo pueden ser liberados y absorbidos en un 60 a 70%.

**Cuadro 15: Evaluación biológica de las semillas cocidas y extruidas.**

MEDICIONES	MUESTRAS	
	Semillas cocidas	Semillas extruidas <sup>(1)</sup>
<b>Consumo</b>		
Consumo de alimento (g)	25.89 <sup>b</sup>	38.77 <sup>a</sup>
N ingerido (g)	0.43 <sup>b</sup>	0.66 <sup>a</sup>
<b>Heces</b>		
Excreción fecal (g)	6.06 <sup>b</sup>	9.21 <sup>a</sup>
N fecal (g)	0.14 <sup>b</sup>	0.23 <sup>a</sup>
<b>Orina</b>		
Excreción urinaria (ml)	15.74 <sup>b</sup>	27.65 <sup>a</sup>
N urinario (g)	0.10 <sup>b</sup>	0.17 <sup>a</sup>
<b>Valor Biológico aparente (%)</b>	65.52	60.46
<b>Digestibilidad aparente (%)</b>	67.44	65.15
<b>Digestibilidad verdadera (%)</b>	76.74	71.21

a, b; letras diferentes en la misma fila indican diferencia estadística (P<0.05).

(1) Semillas extruidas a una temperatura de 130 °C y 13% de humedad.

Los valores correspondientes a la digestibilidad verdadera fueron 76.74% y 71.21% para las semillas de pajuro cocidas y para las semillas extruidas, respectivamente; en el caso de las semillas cocidas, la digestibilidad verdadera muestra un valor cercano al reportado por la FAO/WHO/UNU (2007), en cuyo informe se presentan resultados de distintas fuentes proteicas siendo en el caso de frejoles de 78% y lo reportado por Bressani (1991), quien manifiesta que la digestibilidad proteica de las principales leguminosas destinadas a la alimentación humana, con sólo unas pocas excepciones es baja, es por ello que la variabilidad es de interés, ya que puede sugerir que dentro de una especie, algunas variedades son más digeribles que otras, siendo las digestibilidades de la proteína reportadas por este

autor de 59.8, 51.4 y 52.9 % para frejoles blancos, negros y rojos, respectivamente; así mismo, menciona que la cocción en presencia de agua, aumenta la calidad proteica, digestibilidad de proteínas y carbohidratos e inactiva los inhibidores de proteasas.

Pérez *et al.*, (1979) mencionan que la presencia de factores tóxicos termolábiles como lectinas e inhibidores de tripsina y no termolábiles como los alcaloides presentes en las semillas de pajuro corrobora la necesidad de un adecuado tratamiento. Al respecto, Arango (2008), añade que los alcaloides al ser compuestos de carácter básico, varían su solubilidad en función en los diferentes pH del solventes, es decir según se encuentre en estado de base (solubles en solventes orgánicos no polares) o de sal (solubles en solventes polares), siendo esto evidente en el caso de las semillas extruidas ya que estas muestran menores índices de calidad proteica, contrariamente a lo observado en las semillas cocidas por ebullición, presentando estas mejores índices de calidad proteica, llevando a notar que parte de los alcaloides presentes en la semillas de pajuro se solubilizaron en el agua de cocción lo que no sucedió con las extruidas puesto que en este tratamiento resultaron ser termoestables.

Por otro lado, Fennema (2010), manifiesta que es frecuente que las desnaturalizaciones intensas insolubilizan las proteínas, que desde el punto de vista nutricional, la desnaturalización parcial de las proteínas suele mejorar la digestibilidad y la disponibilidad biológica de sus aminoácidos esenciales, tal como sucede en el caso de la cocción por ebullición. Por su parte Gonzales (2003) menciona que la solubilidad de la proteína disminuye conforme ocurre la desnaturalización durante la extrusión, las reacciones responsables del efecto son: la reacción de Maillard por la presencia de azúcares reductores, formación de enlaces químicos intermoleculares (peptídicos y disulfuro), la formación de complejos proteína – proteína, proteína – carbohidrato y proteína – lípido. Respecto a esto Sarwar (1997), añade que las altas temperaturas producen cadenas de péptidos reticulados (como lisinoalanina y lantionina), resultando en la reducción de la biodisponibilidad de aminoácidos y calidad proteica.

## **c. Evaluaciones químicas**

### **c.1. Perfil de aminoácidos**

En esta determinación se emplearon las harinas de semillas crudas y cocidas (ya que presentaron mejores resultados en las evaluaciones biológicas respecto a las semillas extruidas). Los valores correspondientes al perfil de aminoácidos se muestran en el Cuadro 16.

En primer término se observa que el tratamiento térmico disminuye en menor o mayor grado los niveles de prácticamente todos los aminoácidos esenciales y no esenciales; las reducciones más notables son evidenciadas en lisina e histidina para el caso de aminoácidos esenciales, siendo el contenido de lisina (6.92 g) en harina de semillas crudas superior a los demás aminoácidos contenidos en esta muestra, así como superior a las reportadas por Pérez *et al.*, (1979), quien determinó un valor de 6.91 g de lisina/100 g de proteína cruda (Cuadro 3) para el caso de semillas de pajuro crudas así como valores muy similares en otras leguminosas. No obstante el triptófano y la metionina (de las que sólo se detectan trazas) son notoriamente bajos, tal como se observa en casi todas las leguminosas.

El contenido de lisina es inferior al determinado por Rojas (2002) en muestras de frejol panamito quien reportó un valor correspondiente a 9.2 g/ 100 g de proteína cruda, disminuyendo este valor a 8.1 luego de someterlo a un tratamiento de extrusión a 140 °C y 13 % de humedad, siendo en el caso de las semillas de pajuro la disminución de 6.92 a 5.59 g/ 100 g de proteína cruda luego que las semillas fueran sometidas al proceso de cocción por ebullición, frente a esto Amaya *et al.*, (1991), encontró que la pérdida de lisina del frejol común es del 22% luego de someterlo a cocción convencional, siendo la pérdida para el caso de las semillas de pajuro cocidas de un 19% en este aminoácido. El mismo autor menciona que las pérdidas de lisina dependerán de la severidad y el tiempo de tratamiento térmico.

**Cuadro 16: Perfil de aminoácidos (g/100 g de proteína cruda) de las semillas crudas y cocidas.**

<b>AMINOÁCIDOS</b>	<b>SEMILLAS CRUDAS</b>	<b>SEMILLAS COCIDAS</b>
<b>Esenciales</b>		
Histidina	1.61	0.78
Isoleucina	3.13	2.87
Leucina	6.11	5.59
Lisina	6.92	5.59
Metionina	0.47	0.68
Fenilalanina	4.03	3.30
Treonina	4.12	3.94
Triptófano	1.00	1.02
Valina	3.79	3.89
<b>No esenciales</b>		
Ácido aspártico	17.16	8.79
Ácido glutámico	10.38	10.54
Serina	3.22	3.64
Glicina	2.46	2.53
Alanina	5.45	3.84
Arginina	3.74	5.30
Prolina	4.74	5.25
Tirosina	2.37	2.48

La reducción del contenido de aminoácidos ocasionada por una cocción prolongada es reportada por Ziena *et al.*, (1991) y Khalil y Mansour (1995) en habas, quienes mencionan que es necesario que la temperatura de calentamiento y la duración del tratamiento, no excedan la temperatura óptima requerida para eliminar el efecto de los antinutrientes presentes en las leguminosas sin la alteración de los nutrientes básicos. Por su parte, Quitral *et al.*, (2001), manifiestan que el contenido de lisina disminuye por efecto del calor, lo que se atribuye a una reacción que ocurre entre el grupo  $\alpha$ -amino de lisina y el grupo amino de asparagina y glutamina, ocasionando un enlace cruzado que disminuye el valor nutritivo por impedimento del ataque enzimático. Por efecto del calor también se producen reacciones de entrecruzamiento entre cadenas de polipéptidos por acilación de grupos amino libres, lo que da como resultado una disminución de lisina disponible, siendo este aminoácido considerado nutricionalmente disponible solamente si su grupo  $\alpha$ -amino está libre. También por efecto del calor se produce reacción entre aminoácidos y azúcares reductores, conocida como reacción de Maillard, la que presenta la desventaja de disminuir el valor nutritivo de los alimentos ya que disminuye la disponibilidad de aminoácidos y lisina es el aminoácido más reactivo en esta reacción.

Gómez – Villalva (2005), señala que todas las proteínas de las leguminosas son pobres en aminoácidos azufrados, pero las cantidades de otros aminoácidos esenciales, como la lisina, es mucho mayor que en los cereales. Por lo tanto, con respecto al contenido en aminoácidos azufrados, los cereales y las leguminosas son nutricionalmente complementarios. El grado de suplementación debe también depender, sin embargo, de los contenidos de los segundos aminoácidos limitantes: treonina, en cereales y triptófano en leguminosas. Los bajos niveles de aminoácidos azufrados es la principal causa de su escaso valor biológico, se ha demostrado que a través de la adición de metionina a las dietas que contienen leguminosas se puede mejorar dicho valor.

En cuanto a los aminoácidos no esenciales los que se encuentran en mayor proporción son el ácido aspártico y el ácido glutámico con cantidades de 17.16 y 10.38 g/100 g de proteína cruda, respectivamente; sin embargo, el valor correspondiente al ácido aspártico se ve reducido a 8.79 luego de someter las semillas al proceso de cocción tradicional, lo que no sucede en el caso del ácido glutámico pues en este caso se observa un aumento a 10.54.

Por otra parte, se puede apreciar un ligero aumento de algunos aminoácidos después someter las semillas de pajuro al proceso de cocción, caso similar a lo reportado por Saleh y El-Adawy (2006), quienes encontraron un aumento luego de someter muestras de garbanzo a procesos de cocción por ebullición y microondas, así mismo, Khattab *et al.*, (2009) trabajaron con muestras de frejol cowpea, frejol común y arvejas sometidas a diversos tratamientos tecnológicos como remojo, cocción por ebullición, tostado, autoclavado, micronización y fermentación, determinándose el mismo efecto; frente a lo ocurrido, en ambas investigaciones se señala que la razón del aumento de los niveles de aminoácidos es una reacción inesperada y no se encuentra clara, por lo que podría ser atribuida a la degradación de otros aminoácidos como resultado del procesamiento.

### **c.2. Cómputo de aminoácidos corregido en función de la digestibilidad de la proteína (PDCAAS)**

Habiéndose determinado el contenido de aminoácidos esenciales y la digestibilidad de las semillas, es necesario realizar el PDCAAS según lo recomendado por la FAO/WHO/UNU (2007), los resultados correspondientes a esta evaluación se muestran en el Cuadro 17.

El cómputo de aminoácidos considerado en la evaluación de las semillas de pajuro cocidas indica como primer aminoácido limitante a la metionina para el patrón de referencia, cuya relación de aminoácidos fue 0.27 para el grupo de 2 – 5 años de edad, siendo este el valor más bajo, caso contrario a lo observado para la lisina, treonina y triptófano con los que se obtuvieron valores más altos, este hallazgo es consistente con lo reportado por Pérez *et al.*, (1979), tras someter semillas de pajuro a un proceso de autoclavado por 30 minutos.

**Cuadro 17: Perfil de aminoácidos esenciales (mg/g de proteína cruda) de las semillas cocidas, patrón de referencia y cálculo del PDCAAS.**

<b>AMINOÁCIDOS ESENCIALES</b>	<b>PATRON DE REFERENCIA<sup>(1)</sup></b>	<b>SEMILLAS COCIDAS</b>	<b>CÓMPUTO DE AMINOÁCIDOS<sup>(2)</sup></b>
Histidina	19	7.8	0.41
Isoleucina	28	28.7	1.03
Leucina	66	55.9	0.85
Lisina	58	55.9	0.96
<b>Metionina</b>	<b>25</b>	<b>6.8</b>	<b>0.27</b>
Fenilalanina	63	33.0	0.52
Treonina	34	39.4	1.16
Triptófano	11	10.2	0.93
Valina	35	38.9	1.11
<b>Digestibilidad Verdadera (%)</b>			<b>76.74</b>
<b>PDCAAS</b>			<b>20.87%</b>

(1) Requerimiento patrón para niños de 2 – 5 años de edad según FAO/OMS (1992).

(2) Valor en negrita muestra el aminoácido limitante.

En base a lo mencionado el valor del PDCAAS para las semillas cocidas es 20.87% (0.20), para el grupo de 2 – 5 años de edad. En conjunto el PDCAAS calculado para las semillas cocidas resultan ser más bajos a los determinados por Pastor – Cavada *et al.*, (2009) en seis muestras de Lupinos quien determinó el valor más bajo en *L. micranthus* con 0.4, mientras que los más altos se observaron en *L. cosentinii* con 0.80 y menor a lo observado en otras leguminosas, como los arvejas con 0.66 (Frias *et al.*, 2011), frejoles con 0.68 y lentejas con 0.52; pero cercanos a los valores reportados por Anyango *et al.*, (2011) para dos muestras de sorgo evaluadas en forma de harina cruda y mediante tres formas tradicionales de consumo como son papilla espesa sin fermentar (ugali), avena fina fermentada (uji) y pan plano fermentado (injera), siendo los valores de PDCAAS para el sorgo NS 5511 de 0.19, 0.10, 0.09 y 0.15 respectivamente y para sorgo Orbit 0.29, 0.26, 0.21 y 0.34 respectivamente.

## V. CONCLUSIONES

- Las semillas empleadas en este estudio tienen características superiores a otras leguminosas siendo el peso, las dimensiones, la capacidad de hidratación y la capacidad de hinchamiento características que las hacen más blandas e impermeables, requiriendo un menor tiempo de cocción.
- Las semillas extruidas a una temperatura de 130 °C y 13% de Humedad presentaron mejores propiedades funcionales como índice de expansión (2.58 cm), índice de absorción de agua (7.57%) e índice de solubilidad en agua (38.85%).
- Las semillas extruidas a temperatura de 130 °C y 13% de humedad, tuvieron mejores resultados sobre el grupo de ratas experimentales, reflejándose en el menor consumo de alimento y mayor ganancia de peso lo que se traduce en una mejor conversión alimentaria.
- La calidad proteica fue superior en las semillas cocidas, reflejándose en los ensayos de valor biológico (65.52%), digestibilidad aparente (67.44%) y digestibilidad verdadera (76.74%) respecto a las semillas extruidas.
- Las semillas cocidas presentaron un PDCAAS de 20.87% (0.20) para el grupos de 2 – 5 años, presentando como aminoácido limitante a la metionina con 6.8 mg/g de proteína cruda, reflejando así valores bajos en comparación con otras leguminosas.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Remojar las semillas de pajuro durante el acondicionamiento previo a la extrusión, la misma que debe ser extruida a una temperatura  $\geq 130$  °C para obtener un producto de mayor calidad proteica.
- Suplementar con aminoácidos azufrados o con vegetales ricos en estos aminoácidos, por lo que es recomendable tener en cuenta una formulación variada.
- Promover la industrialización de las semillas de pajuro, con la finalidad de obtener un producto de buena calidad que pueda ser introducido en programas de apoyo social.
- Realizar un análisis sensorial a las semillas de pajuro cocidas y extruidas con la finalidad de evaluar la aceptabilidad de producto por el público consumidor.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- ADEBOWALE, Y; ADEYEMI, A; OSHODI, A. 2005. Variability in the physicochemical, nutritional and antinutritional attributes of six *Mucuna* species. Food Chemistry 89: 37– 48.
- ALONSO, R; AGUIRRE, A; MARZO, F. 2000. Efects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. Food Chemistry. 68:159 – 165.
- AMAYA, H; ACEVEDO, E; BRESSANI, R. 1991. Efecto del recalentamiento sobre el valor nutritivo de la proteína del frejol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) cocido. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 41(2):222 – 237.
- ANYANGO, J; DE KOCK, H; TAYLOR, J. 2011. Impact of cowpea addition on the Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score and other protein quality parameters of traditional African foods made from non-tannin and tannin sorghum. Food Chemistry 124: 775 –780.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2005. Official Methods of Analysis. 18th Edition. Washington. USA.
- ARAGÓN, I; CHUSPE, M; NOGUERA, G. 2013. Estrategia Regional Forestal del Cusco: Conservación, Recuperación y Manejo Forestal Sostenible Integrado de los Bosques del Cusco a través de Paisajes Forestales Multifuncionales. Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente. Cusco. Perú.
- ARANGO, G. 2008. Alcaloides y Compuestos Nitrogenados. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia.

- ARO, J. 2002. Elaboración de una mezcla alimenticia a base de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), cebada (*Hordeum vulgare* L.), maíz (*Zea mays* L.), haba (*Vicia faba* L.) y soya (*Glycine max* Merr) por proceso de cocción extrusión. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- BARRERA, N; MEJÍA, M. 1998. Chachafruto, Balú, Sachaporoto; *Erythrina edulis* Triana. Pasado, presente y futuro, 3ra Edición, Ministerio de Agricultura, Palmira, Colombia.
- BLANCO, A; NAVARRETE, D; BRESSANI, R; BRAHAM, J; GOMEZ – BRENES, R; ELIAS, L. 1986. Composición química y evaluación de la calidad de la proteína del frejol en humanos adultos por el método de balance nitrogenado de corto tiempo. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 36(1): 79 -97.
- BRENES, A; BRENES, J. 2003. Tratamiento tecnológico de los granos de leguminosas: influencia sobre su valor nutritivo. IX Curso de Especialización FEDNA. CSCI y LUCTA, S.A. Barcelona. España.
- BRESSANI, R. 1991. Papel de los granos leguminosos comestibles tropicales en los alimentos y la nutrición. Instituto de Nutrición de América Central y Panamá - INCAP.
- CAIZA, J. 2011. Obtención de Hidrolizado Enzimático de proteína de chocho (*lupinus mutabilis*) a partir de harina integral. Tesis para optar el título de Ingeniero Agroindustrial. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- CALVO, M; MENDOZA, E. 2012. Toxicología de los Alimentos. Primera edición. Editorial Mc Graw Hill. México.
- CALZADA, B. 1980. Métodos estadísticos para la Investigación. 2da Edición. Lima, Perú.
- CAMPANELLA, O. 2011. Curso Internacional: Reología y Extrusión, Aplicaciones en la Industria Alimentaria. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.

- CAMPOS, J. 2007. Evaluación Nutricional del frejol mucuna (*Stizolobium deeringianum*) y su uso en la alimentación de cuyes en crecimiento y engorde. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- CARIAS, D; CIOCCIA, A; HEVIA, P. 1995. Grado de concordancia entre la digestibilidad de proteínas animales y vegetales medidas in vivo e in vitro y su efecto sobre el cómputo químico. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 45 (2): 111 – 116.
- CASAS, H. 1992. Propagación y plantación del Pajuro. Instituto Nacional de investigación Agraria y Agroindustrial. Dirección general de Investigación forestal y de vida silvestre. Serie divulgativa folleto N° 0.4/4.1 N° 23-92. Lima, Perú.
- CASAS, J. 1996. Evaluación de los parámetros de extrusión de una mezcla de harina de habas y maíz usando el método de superficie respuesta. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- CERONI, A. 2003. Composición florística y vegetación de la Cuenca la Gallega. Morropón Piura. Universidad Nacional Agraria la Molina. Ecología Aplicada. Año/Vol.2 N° 001. Lima, Perú.
- CHAPARRO, S. 2009. Efecto de diferentes procesos fisicoquímicos en la reducción de factores antinutricionales de la semilla de vitabosa (*mucuna deeringiana*). Tesis para optar al título de Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- CHEFTEL, J; CUQ, J; LORIENT, D. 1989. Proteínas Alimentarias. Ed. ACRIBIA S.A. Zaragoza, España.
- CONTRERAS, C; CASTAÑO, E; SENCIA, E; SENCIA, T; CCOICCA, G; MACCARCCO, L; ACOSTA, M; ACOSTA, M; HUAMÁN, S. 2003. Fruto de la tierra: El conocimiento. Investigaciones campesinas basadas en la Propia Práctica (Ayacucho, Apurímac, Cuzco). Primera Edición, MARENASS - Proyecto Manejo de Recursos Naturales Sierra Sur, Cuzco, Perú.

- DA SILVA, M; CARVALHO, C; ANDRADE, C. 2009. The effects of water and sucrose contents on the physicochemical properties of non-directly expanded rice flour extrudates. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 29(3): 661 – 666.
- DIAZ, J. 1999. Evaluación de la calidad de la proteína en cinco variedades de frejol común (*Phaseolus vulgaris*) y su relación con el contenido de taninos. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- EL-HADY, A; HABIBA, R. 2003. Effect of soaking and extrusion conditions on antinutrients and protein digestibility of legume seeds. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.* 36: 285 – 293.
- ELIZALDE, A; PORRILLA, Y; CHAPARRO, D. 2009. Factores antinutricionales en semillas. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Vol. 7 N° 1.
- FAO/OMS. 1992. Evaluación de la calidad de las proteínas. Informe de una consulta de expertos. Bethesda. Estados Unidos.
- FAO/WHO/UNU. 2007. Joint of Expert Consultation on Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition. Geneva, Suiza.
- FAO. 2011. Semillas en Emergencia: Manual Técnico. Roma, Italia.
- FENNEMA, O; DAMODARAN, S; PARKIN, K. 2010. *Química de los Alimentos*, 3ra edición, Editorial ACRIBIA, S.A., Zaragoza, España.
- FLORES, J. 2002. Evaluación y selección por rendimiento y calidad de grano en frejol de palo (*Cajanus Can Milli*) en la zona media del valle de Cañete. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica. Ica, Perú.
- FRIAS, J; GIACOMINO, S; PEÑAS, E; PELLEGRINO, N; FERREYRA, V; APRO, N; OLIVERA, M; VIDAL, C. 2011. Assessment of the nutritional quality of raw and

extruded *Pisum sativum* L. var. laguna seeds. LWT - Food Science and Technology. 44:1303 – 1308.

FUERTES, C; JURADO, B; GORDILLO, G; NEGRÓN, L; NUÑEZ, E; ESTEBAN, M; TÁVARA, A. 2010. Estudio Integral de Plantas Biocidas del Algodonero. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Ciencia e Investigación 13(1): 34-41.

GABRIEL, A. 2008. Estimation of water activity from pH and °Brix values of some food products. Food Chemistry. 108:1106–1113.

GARCÍA, 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. Tesis optar el Título de Ingeniero Forestal. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.

GÓMEZ, R, 1992. Actividad de agua (Aw) de los alimentos. Métodos de determinación. Tecnología de los Alimentos. Facultad de veterinaria. Córdoba España.

GÓMEZ-VILLALVA, E. 2005. Transformación y mejora del valor nutritivo de la harina del guisante mediante la adición de enzima Fitasa. Tesis para optar el grado de Doctor. Universidad de Granada. Granada. España.

GONZÁLES, J. 2003. Influencia de las mezclas de harina de trigo (*Triticum vulgare*) y chachafruto (*Erythrina edulis* Triana), en la composición y las características organolépticas del pan. Tesis para optar el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Colombia.

GONZALES, T. 2003. Formulación y evaluación Nutricional de una mezcla instantánea a base de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild), Frejol (*Phaseolus Vulgaris* L.), Cebada (*Hordeum vulgare* L.) y Leche para consumo humano. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.

- GOYOAGA, C. 2005. Estudio de factores no nutritivos en “*Vicia Faba L.*”: influencia de la germinación sobre su Valor nutritivo. Tesis para optar el grado de Doctor. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. España.
- HABIBA, R. 2002. Changes in anti-nutrients, protein solubility, digestibility, and HCl-extractability of ash and phosphorus in vegetable peas as affected by cooking methods. *Food Chemistry*. 77: 187 – 192.
- HAGENIMANA, A; DING, X; FANG, T. 2006. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*. 43: 38 – 46.
- HARPER, J. 1981. *Extrusion of Foods*. Vol. I and II. CRC press, Inc. Florida, United States.
- HERKELMAN, K; CROMWELL, G; STAHLY, T; PFEIFFER, T; KNABE, D. 1992. Apparent Digestibility of aminoacids in raw and heated conventional and low trypsin inhibitor soybean for pigs. *Journal Animal Science*. 70: 818 – 826.
- HERNÁNDEZ, M; DE LA VEGA, A; SOTELO, A. 1984. Determinación de la Digestibilidad proteínica in vitro e in vivo en cereales y leguminosas, crudos y cocidos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 34 (3): 513 – 521.
- IBPGR (INTERNATIONAL BOARD FOR PLANT GENETIC RESOURCES). 1982. *Phaseolus Vulgaris Descriptors*. Roma, Italia.
- JACINTO, C; CARRILLO, G; CAMPOS, A. 2003. Caracterización de cuatro variedades de frejol (*Phaseolus vulgaris L.*) por sus cualidades físicas y nutricionales. I. Aspectos Metodológicos. *Agronomía Mesoamericana*. 7: 37 – 41.
- JAY, J. 2002. *Microbiología moderna de los alimentos*. Cuarta Edición. Editorial ACRIBIA S.A. Zaragoza, España.
- KAMEKO, J. 2005. Determinación de los parámetros de extrusión de un extrusor de bajo costo para la obtención de una mezcla base para desayuno a partir de oca (*Oxalis tuberosa Mol.*), Olluco (*Ullucus tuberosum Loz.*) y Quinoa (*Chenopodium quinoa*

Hill.). Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú.

KHATTAB, R; ARNTFIELD, S; NYACHOTI, C. 2009. Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments, Part 1: Protein quality evaluation. LWT - Food Science and Technology. 42: 1107–1112.

KHALIL, A; MANSOUR, E.1995. The effect of cooking, autoclaving and germination on the nutritional quality of faba beans. Food Chemistry, 54(2), 177– 182

KOKINI, J; CHI-TANG, H; KARWE, M. 1992. Food Extrusion Science and Technology. The State University of New Jersey. New Jersey, EEUU.

KONOZY, E; BERNARDES, E; ROSA, C; FACA, V; GREENE, L; WARD, R. 2003. Isolation, purification, and physicochemical characterization of a D-galactose-binding lectin from seeds of *Erythrina speciosa*. Archives of Biochemistry and Biophysics. 410: 222–229.

LÓPEZ, C; BRESSANI, R. 2008. Uso del cowpea (*Vigna unguiculata*) en mezclas con frijón común (*Phaseolus vulgaris*) en el desarrollo de nuevos productos alimenticios. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. ALAN Vol. 58 N° 1.

LUNA, G. 2005. Efecto del proceso de cocción extrusión en la fracción indigestible, capacidad antioxidante y algunas propiedades funcionales en tres variedades de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.

MACÍAS, J; VINCES, R. 2011. Elaboración de una sopa instantánea a partir de harina de Haba. Informe de Proyecto para la obtención del título de Ingeniero Alimentario. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

MATAIX, J. 2002. Nutrición y Alimentación Humana. Instituto de Nutrición y Tecnología de Alimentos. Editorial Océano. Granada, España.

- McDONALD, P; EDWARDS, R; GREENHALGH, J; MORGAN, C. 2006. Nutrición Animal. Sexta edición. Ed. Acribia S.A. Zaragoza. España.
- MEJÍA, M; JARAMILLO, A; BARRERA, N. 1993. Estudios preliminares sobre desarrollo y manejo de la semilla de chachafruto, *Erythrina Edulis* Triana. Universidad Nacional de Colombia. Acta Agronómica. Vol. 43 N° 1- 4
- MENG, X; THREINEN, D; HANSEN, M; DRIEDGER, D. 2010. Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. Food Research International. 43: 650 – 658.
- MONSALVE, C. 2000. Catálogo preliminar de fitolitos producidos por algunas plantas asociadas a las actividades humanas en el suroeste de Antioquia, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Crónica Forestal y del Medio Ambiente Vol. 15 N° 1.
- MONSALVE, C; CARÍAS, D; CIOCCIA, A; HEVIA, P. 2007. Efecto de un incremento en la diuresis sobre la absorción y retención de algunos nutrientes en ratas. Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana. 41 (1): 67-76.
- MOSCICKI, L. 2011. Extrusion-Cooking: Techniques Applications, Theory and Sustainability. Ed. WILEY-VCH Verlag & Co. KGaA. Weinheim, Germany.
- MUJICA, M; GRANITO, M; SOTO, N. 2011. Propiedades físicas y calidad de cocción de leguminosas cultivadas en Venezuela. Rev. Fac. Agron. 28: 104 – 122.
- NUÑEZ, C. 2011. Efecto de dos cepas de *Rhizobium* sp. y microorganismos efectivos en el rendimiento de grano seco de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar canario centenario en Costa Central. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú.
- OLIVEIRA, A; CANUTO, D; MEDEIROS, A; BORGES, J; VELOSO, M. 2011. Nutritional quality and protein value of exotic almonds and nut from the Brazilian Savanna compared to peanut. Food Research International 44: 2319–2325.

- ONYANGO, C; NOETZOLD, H; BLEY, T; HENLE, T. 2004. Proximate composition and digestibility of fermented and extruded uji from maize–finger millet blend. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 37: 827– 832.
- PASTOR – CAVADA, E; JUAN, R; PASTOR, J; ALAIZ, M; VIOQUE, J. 2009. Analytical nutritional characteristics of seed proteins in six wild *Lupinus* species from Southern Spain. *Food Chemistry.* 117:466 – 469.
- PAZ, E; ROCHA, A; TORRES, O. 2007. Evaluación de la sustitución de la proteína de torta de soya por harina de chachafruto (*Erythrina Edulis*) en la alimentación de pollos de engorde. Tesis para optar el Título de Ingeniero Zootecnista. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Popoyan. Colombia.
- PELLET, P; YOUNG, V. 1980. Evaluación Nutricional de Alimentos Proteínicos. Universidad de las Naciones Unidas. *Food and Nutrition Bulletin.*
- PÉREZ, G; MARTÍNEZ, C; DÍAZ, E. 1979. Evaluación de la Calidad de la proteína de la *Erythrina edulis* (BALU). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición.* ALAN Vol. XXIX N° 2.
- PÉREZ, G. 1984. Aislamiento y Caracterización de una Lectina de las semillas de *Erythrina edulis*. *Phytochemistry*, Vol. 23. No. 6, pp. 1229 - 1232.
- PÉREZ, C; BETANCUR, D; CASOTTO, M; CARMONA, A; TOVAR, J. 2007. Efecto de la extrusión sobre la biodisponibilidad de proteína y almidón en mezclas de harinas de maíz y frejol lima. *Archivos latinoamericanos de Nutrición.* Vol 57, N° 3.
- PÉREZ, M. 2011. Evaluación de la Composición Nutricional y Digestibilidad Aparente e ileal en porcinos del frejol mungo (*Vigna radiata* o *Phaseolus aureus*) con y sin Tratamiento Térmico. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- PILCO, J. 2011. Elaboración de un producto extruido tipo “snack” con cobertura dulce a partir de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) y Maíz (*Zea mays* L.). Tesis para optar

el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.

PIZZANI, P; VARGAS, R; PÉREZ, S; MÉNDEZ, A; MICHELANGELI, C; SIVOLI, L. 2006. Efectos del tostado sobre el valor de energía metabolizable verdadera y el contenido de factores antinutricionales de harinas de granos de *Canavalia ensiformis* (L.). Revista científica FCV – LUZ/ Vol. XVI, N° 5, 523 – 530.

QUISPE, A; TELLO, J. 2001. Especies Forestales de uso múltiple de los bosques de Neblina en el Nor Oriente del Perú. Editorial Miraflores. Lima, Perú.

QUITRAL, V; ABUGOCH, L; VINAGRE, J; LARRAÍN, M. 2001. Efecto de tratamientos térmicos sobre el contenido de lisina disponible en carne de jaiba mora (*Homalaspis plana*). Archivos Latinoamericanos de Nutrición. V.51 n.4.

RAMOS, G; FRUTOS, P; GIRÁLDEZ, F; MANTECÓN, A. 1998. Los Compuestos Secundarios de las Plantas en la Nutrición de los Herbívoros. Arch. Zootec. 47: 597 – 620.

RODRÍGUEZ, S; GÁMEZ, L. 2010. Clave vegetativa para la identificación de árboles de la familia Fabaceae de la ciudad de Mérida, Venezuela. Pittieria 34: 89 – 111.

ROJAS, G, 2002. Efecto del tratamiento térmico de la extrusión sobre la calidad proteica del frejol (*Phaseolus Vulgaris* L.) del tipo panamito. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.

ROMERO, A; BACIGALUPO, A; BRESSANI, R. 1985. Efecto de la Extrusión en las Características Funcionales y la Calidad Proteica de la Quinoa. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 35: 148 – 151.

ROSSEN, J; MILLER, R. 1993. Technology of extrusion. Food technology. 27(8):46 – 51.

RUSSO, R. 1997. The use of Erythrina species in the Americas In: Sidney BW and Powell. Nitrogen Fixing Tree Association. Hawaii 96779-9744, USA.

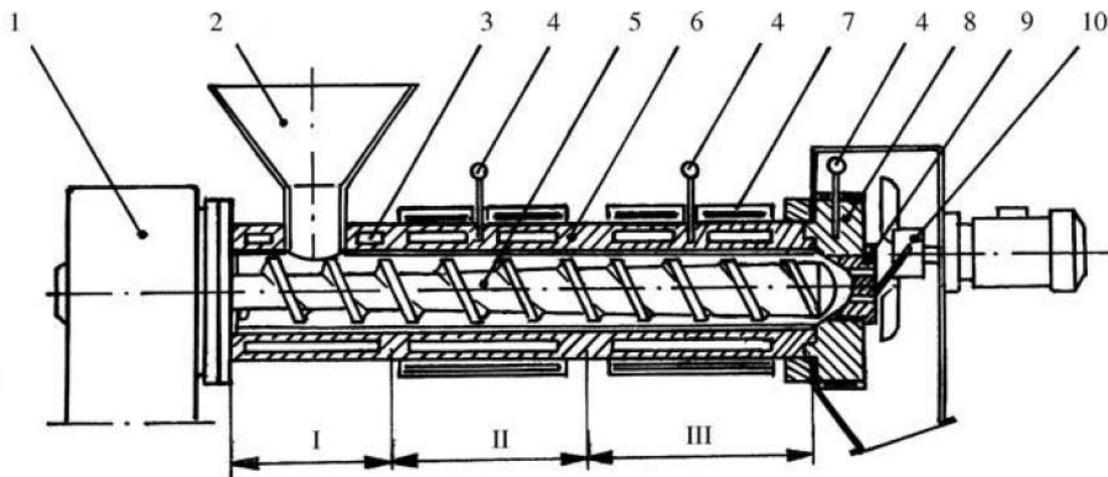
- SAAVEDRA, M. 2004. Estudio del Enraizamiento de Cuatro Ecotipos de Pajuro (*Erythrina edulis*) considerando el tercio Apical, Medio y Basal de la rama. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Cajamarca (UNC). Cajamarca, Perú.
- SALEH, A; EL-ADAWY, T. 2006. Nutritional composition of chickpea (*Cicer arietinum* L.) as affected by microwave cooking and other traditional cooking methods. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19: 806–812.
- SARWAR, G. 1997. The Protein Digestibility–Corrected Amino Acid Score Method Overestimates Quality of Proteins Containing Antinutritional Factors and of Poorly Digestible Proteins Supplemented with Limiting Amino Acids in Rats. *The Journal of Nutrition*.
- SENIORANS, F; IBANEZ, E; CIFUENTES, A. 2003. New trends in food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43, 507 – 526.
- SCHOONHOVEN, A; PASTOR, M. 1987. Sistema Estándar para la Evaluación de germoplasma de frejol. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia.
- SOLANO, F; DÍAZ, R; JACINTO, C; AGUIRRE, L; HUERTA DE LA PEÑA, A. 2009. Prácticas Agrícolas, Descripción Morfológica, Proteínica y Culinaria del grano de cultivares de frejol sembrados en la región de Tlaxcala, Guerrero. *Ra Ximhai*. Vol. 5 Num. 2 pp. 187 – 199.
- SORIANO, J. 2006. *Nutrición Básica Humana*. Editorial GUADA SL. Valencia, España.
- STOJCESKA, V; AINSWORTH, P; PLUNKETT, A; IBANOGLU, S. 2009. The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products. *Food Chemistry* 114 : 226–232.

- STOJCESKA, V; AINSWORTH, P; PLUNKETT, A; IBANOGLU, S. 2010. The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten-free products. *Food Chemistry*, 121: 156 – 164.
- SUÁREZ, M; KIZLANSKY, A; LÓPEZ, L. 2006. Evaluación de la calidad de las proteínas en los alimentos calculando el score de aminoácidos corregido por digestibilidad. *Nutrición Hospitalaria*. 21(1):47-5.
- TAPIA, M. 2000. Cultivos Andinos Subexplotados y su aporte a la Alimentación. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. 2da. Edición. Santiago, Chile.
- TENE, V; MALAGÓN, O; FINZI, P; VIDARI, G; ARMIJOS, CH; ZARAGOZA, T. 2007. An ethnobotanical survey of medicinal plants used in Loja and Zamora-Chinchipec, Ecuador. *Journal of Ethnopharmacology* 111: 63 – 81.
- VALLS, A. 1993. El proceso de extrusión en Cereales y Habas de soja: Efecto de la extrusión sobre la utilización de nutrientes. IX Curso de especialización FEDNA: Avances en Nutrición y Alimentación Animal. Barcelona, España.
- VÁSQUEZ, W; GLORIO, P. 2007. Obtención de calcio y magnesio a partir de conchas de choro (*Aulacomya ater* Molina) para enriquecer un néctar de durazno (*Prunus persica* L.) Variedad Blanquillo. *Revista Sociedad Química del Perú*. 73, N° 4: 235 – 248.
- VILCHEZ, L. 2011. Influencia del tamaño de partícula, Humedad y Temperatura en el proceso de extrusión de maca (*Lepidium meyenii* Walp), para la elaboración de una barra energética. Tesis para optar el Título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- VILLACREZ, M. 1987. Estudio químico bromatológico de las semillas de *Erythrina Edulis* Triana ex Micheli “Pajuro”. Tesis para optar el título Químico Farmacéutico, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- WALSH, G. 2003. Biopharmaceuticals Biochemistry and biotechnology. 2° edición. John Wiley & Sons, Ltd. Inglaterra.

- WŁODARCZYK, M; JAMROZ, J. 2008. Analysis of sorption properties of starch–protein extrudates with the use of water vapour. *Journal of Food Engineering* 85:580–589.
- YILDIZ, F. 2010. *Advances In Food Biochemistry*. CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business. Estados Unidos.
- YULIANI, S; TORLEY, P; D'ARCY, B; NICHOLSON, T; BHANDARI, B. 2006. Extrusion of mixtures of starch and D-limonene encapsulated with  $\beta$ -cyclodextrin: Flavour retention and physical properties. *Food Research International* 39: 318 – 331.
- ZIENA, H; YOUSSEF, M; EL-MAHDY, A. 1991. Amino acid composition and some antinutritional factors of cooked faba beans Medammis: Effects of cooking temperature and time. *Journal of Food Science*, 56(5), 1347–1349, 1352.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO I. SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN EXTRUSOR MONOTORNILLO DE ALIMENTOS.



Numeración de la parte superior:

- (1) Motor
- (2) Alimentador
- (3) Camisa de refrigeración
- (4) Termocupla
- (5) Tornillo
- (6) Barril
- (7) Camisa de calentamiento
- (8) Cabeza
- (9) Dados
- (10) Cortadora.

Numeración de la parte inferior

- I-** Sección de transporte
- II-** Sección de compresión
- III-** Sección de fusión y plastificación.

FUENTE: Moscicki, 2011.

**ANEXO II. COMPOSICIÓN DE LAS MEZCLAS DE VITAMINAS Y SALES MINERALES  
(g/kg) USADAS EN LAS FORMULACIONES DE LAS RACIONES**

VITAMINAS		SALES MINERALES	
Riboflavina	0.200	Sulfato de aluminio	0.17
Tiamina	0.250	Carbonato de calcio	542.93
Pantotenato de Calcio	2.000	Sulfato de cobre	0.90
Niacina	2.000	Fosfato férrico	20.50
Cloruro de colina	12.000	Carbonato de magnesio	25.00
Inositol	12.500	Sulfato de magnesio	16.00
Ácido paraaminobezoico	12.000	Ioduro de potasio	0.11
Vitamina E 25%	16.800	Cloruro de potasio	112.00
Cianocobalamina	0.001	Fosfato de potasio monobásico	112.00
Biotina	0.010	Fluoruro de sodio	1.00
Ácido fólico	0.100	Sulfato de manganeso	0.39
Piridoxina	0.200	Cloruro de sodio	69.00
Menadiona	0.250		
Rovimix A, B <sub>2</sub> , D <sub>3</sub> , E (*)	10.000		
Azúcar	931.589		

(\*) Vitamina A = 100,000 UI; Vitamina B<sub>2</sub> = 50 mg ; Vitamina D<sub>3</sub> = 10,000 UI ; Vitamina E = 80 UI

Nota: Cantidades por gramo de premezcla

FUENTE: Bioterio, Universidad Nacional Agraria la Molina.

**ANEXO III. ANÁLISIS DE VARIANCA, PROCEDIMIENTO GLM Y PRUEBA DE TUKEY PARA EL ÍNDICE DE EXPANSIÓN DE LAS SEMILLAS DE PAJURO EXTRUIDAS.**

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	Fcalc.	Signif.
TEMPERATURA	2	6.90954444	3.45477222	1685.25	<.0001
HUMEDAD	1	0.01502222	0.01502222	7.33	0.0191
TEM*HUM	2	0.02154444	0.01077222	5.25	0.0230
ERROR	12	0.02460000	0.00205000		
TOTAL	17	6.97071111			

**PRUEBA GLM PARA INTERACCION TEMPERATURA\*HUMEDAD**

TRATAMIENTOS	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
T1	1.02333333	A
T2	0.98333333	A
T3	1.91666667	B
T4	1.93333333	B
T5	2.58333333	C
T6	2.43333333	D

**PRUEBA DE TUKEY (P<0.05) PARA TEMPERATURAS**

TEMPERATURA	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
130	2.50833	A
120	1.92500	B
110	1.00333	C

**PRUEBA DE TUKEY (P<0.05) PARA HUMEDADES**

HUMEDAD	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
13	1.84111	A
18	1.78333	B

**ANEXO IV. ANÁLISIS DE VARIANCA, PROCEDIMIENTO GLM Y PRUEBA DE TUKEY PARA EL ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA DE LAS SEMILLAS DE PAJURO EXTRUIDAS.**

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	Fcalc.	Signif.
TEMPERATURA	2	27.57310000	13.78655000	2936.78	<.0001
HUMEDAD	1	0.01742222	0.01742222	3.71	0.0781
TEM*HUM	2	0.45434444	0.22717222	48.39	<.0001
ERROR	12	0.05633333	0.00469444		
TOTAL	17	28.10120000			

**PRUEBA GLM PARA INTERACCION TEMPERATURA\*HUMEDAD**

TRATAMIENTOS	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
T1	4.44000000	A
T2	4.29000000	B
T3	6.03333333	C
T4	6.39666667	D
T5	7.57000000	E
T6	7.17000000	F

**PRUEBA DE TUKEY (P<0.05) PARA TEMPERATURAS**

TEMPERATURA	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
130	7.37000	A
120	6.21500	B
110	4.36500	C

**PRUEBA DE TUKEY (P<0.05) PARA HUMEDADES**

HUMEDAD	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
13	6.01444	A
18	5.95222	A

**ANEXO V. ANÁLISIS DE VARIANCA, PROCEDIMIENTO GLM Y PRUEBA DE TUKEY  
PARA EL ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA DE LAS SEMILLAS DE  
PAJURO EXTRUIDAS.**

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	Fcalc.	Signif.
TEMPERATURA	2	1684.203611	842.101806	480.25	<.0001
HUMEDAD	1	2.383472	2.383472	1.36	0.2663
TEM*HUM	2	26.483611	13.241806	7.55	0.0075
ERROR	12	21.041667	1.753472		
TOTAL	17	1734.112361			

**PRUEBA GLM PARA INTERACCION TEMPERATURA\*HUMEDAD**

TRATAMIENTOS	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
T1	17.7666667	A
T2	15.0666667	B
T3	28.8333333	C
T4	31.4000000	D
T5	38.8500000	E
T6	41.1666667	E

**PRUEBA DE TUKEY (P<0.05) PARA TEMPERATURAS**

TEMPERATURA	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
130	40.0083	A
120	30.1167	B
110	16.4167	C

**PRUEBA DE TUKEY (P<0.05) PARA HUMEDADES**

HUMEDAD	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
13	29.2111	A
18	28.4833	A

**ANEXO VI. ANÁLISIS DE VARIANCA Y PRUEBA DE TUKEY PARA EL PORCENTAJE DE PROTEÍNA DE LAS SEMILLAS DE PAJURO CRUDAS, COCIDAS Y EXTRUIDAS.**

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F <sub>calc.</sub>	Signif.
TRATAMIENTO	2	0.40722222	0.20361111	1.89	0.2314
ERROR	6	0.64753333	0.10792222		
TOTAL	8	1.05475556			

**PRUEBA DE TUKEY (P<0.05)**

TRATAMIENTOS	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
T1	21.1000	A
T3	20.7833	A
T2	20.5833	A

**ANEXO VII. ANÁLISIS DE VARIANCIA Y PRUEBA DE TUKEY PARA EL PORCENTAJE DE EXTRACTO ETÉREO DE LAS SEMILLAS DE PAJURO CRUDAS, COCIDAS Y EXTRUIDAS.**

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F <sub>calc.</sub>	Signif.
TRATAMIENTO	2	0.01448889	0.00724444	15.90	0.0040
ERROR	6	0.00273333	0.00045556		
TOTAL	8	0.01722222			

**PRUEBA DE TUKEY (P<0.05)**

TRATAMIENTOS	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
T1	0.54000	A
T2	0.46667	B
T3	0.44667	B

**ANEXO VIII. ANÁLISIS DE VARIANCA Y PRUEBA DE TUKEY PARA EL PORCENTAJE DE FIBRA CRUDA DE LAS SEMILLAS DE PAJURO CRUDAS, COCIDAS Y EXTRUIDAS.**

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F <sub>calc.</sub>	Signif.
TRATAMIENTO	2	0.22082222	0.11041111	24.12	0.0014
ERROR	6	0.02746667	0.00457778		
TOTAL	8	0.24828889			

**PRUEBA DE TUKEY (P<0.05)**

TRATAMIENTOS	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
T1	2.85333	A
T2	2.83000	A
T3	2.51000	B

**ANEXO IX. ANÁLISIS DE VARIANCA Y PRUEBA DE TUKEY PARA EL PORCENTAJE DE CENIZA DE LAS SEMILLAS DE PAJURO CRUDAS, COCIDAS Y EXTRUIDAS.**

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F <sub>calc.</sub>	Signif.
TRATAMIENTO	2	0.33626667	0.16813333	6.93	0.0276
ERROR	6	0.14553333	0.02425556		
TOTAL	8	0.48180000			

**PRUEBA DE TUKEY (P<0.05)**

TRATAMIENTOS	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
T3	4.9200	A
T1	4.9133	A
T2	4.5067	B

**ANEXO X. ANÁLISIS DE VARIANCA Y PRUEBA DE TUKEY PARA EL CONSUMO DE ALIMENTO.**

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	Fcalc.	Signif.
TEMPERATURA	2	4420.296391	2210.148196	20.48	0.0001
HUMEDAD	1	43.876589	43.876589	0.41	0.5357
TEM*HUM	2	63.071382	31.535691	0.29	0.7517
ERROR	12	1294.774994	107.897916		
TOTAL	17	5822.019357			

**PRUEBA DE TUKEY (P<0.05) PARA TEMPERATURAS**

TEMPERATURA	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
110	78.542	A
120	116.782	B
130	100.557	C

**PRUEBA DE TUKEY (P<0.05) PARA HUMEDADES**

HUMEDAD	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
13	100.188	A
18	97.066	A

**ANEXO XI. ANÁLISIS DE VARIANCA, PROCEDIMIENTO GLM Y PRUEBA DE TUKEY PARA LA GANANCIA DE PESO TOTAL DE RATAS ALIMENTADAS CON HARINA DE SEMILLAS DE PAJURO EXTRUIDAS.**

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F <sub>calc.</sub>	Signif.
TEMPERATURA	2	2390.131344	1195.065672	454.72	<.0001
HUMEDAD	1	71.800139	71.800139	27.32	0.0002
TEM*HUM	2	189.172811	94.586406	35.99	<.0001
ERROR	12	31.537733	2.628144		
TOTAL	17	2682.64203			

**PRUEBA GLM PARA INTERACCION TEMPERATURA\*HUMEDAD**

TRATAMIENTOS	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
T1	-11.77	A
T2	-24.91	B
T3	4.52	C
T4	5.59	C
T5	6.99	C
T6	7.08	C

**PRUEBA DE TUKEY (P<0.05) PARA TEMPERATURAS**

TEMPERATURA	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
130	7.0350	A
120	5.0533	A
110	-18.3400	B

**PRUEBA DE TUKEY (P<0.05) PARA HUMEDADES**

HUMEDAD	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
13	-0.0867	A
18	-4.0811	B

**ANEXO XII. ANÁLISIS DE VARIANCA Y PRUEBA DE TUKEY PARA EL CONSUMO DE ALIMENTO A BASE DE SEMILLAS COCIDAS Y EXTRUIDAS.**

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F <sub>calc.</sub>	Signif.
TRATAMIENTO	1	498.1985333	498.1985333	52.67	<.0001
ERROR	10	94.5832333	9.4583233		
TOTAL	11	592.7817667			

**PRUEBA DE TUKEY (P<0.05)**

TRATAMIENTOS	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
EXTRUIDO	38.775	A
COCIDO	25.888	B

**ANEXO XIII. ANÁLISIS DE VARIANCA Y PRUEBA DE TUKEY PARA EL NITRÓGENO INGERIDO.**

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F <sub>calc.</sub>	Signif.
TRATAMIENTO	1	0.15187500	0.15187500	59.29	<.0001
ERROR	10	0.02561667	0.00256167		
TOTAL	11	0.17749167			

**PRUEBA DE TUKEY (P<0.05)**

TRATAMIENTOS	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
EXTRUIDO	0.65833	A
COCIDO	0.43333	B

**ANEXO XIV. ANÁLISIS DE VARIANCA Y PRUEBA DE TUKEY PARA LA EXCRECIÓN FECAL.**

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F <sub>calc.</sub>	Signif.
TRATAMIENTO	1	29.76750000	29.76750000	13.67	0.0041
ERROR	10	21.76836667	2.17683667		
TOTAL	11	51.53586667			

**PRUEBA DE TUKEY (P<0.05)**

TRATAMIENTOS	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
EXTRUIDO	9.2117	A
COCIDO	6.0617	B

**ANEXO XV. ANÁLISIS DE VARIANCA Y PRUEBA DE TUKEY PARA LA EXCRECIÓN DE NITRÓGENO FECAL.**

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F <sub>calc.</sub>	Signif.
TRATAMIENTO	1	0.02613333	0.02613333	21.19	0.0010
ERROR	10	0.01233333	0.00123333		
TOTAL	11	0.03846667			

**PRUEBA DE TUKEY (P<0.05)**

TRATAMIENTOS	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
EXTRUIDO	0.23000	A
COCIDO	0.13667	B

**ANEXO XVI. ANÁLISIS DE VARIANCA Y PRUEBA DE TUKEY PARA LA EXCRECIÓN DE ORINA**

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F <sub>calc.</sub>	Signif.
TRATAMIENTO	1	425.4252083	425.4252083	8.18	0.0169
ERROR	10	520.0022833	52.0002283		
TOTAL	11	945.4274917			

**PRUEBA DE TUKEY (P<0.05)**

TRATAMIENTOS	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
EXTRUIDO	27.653	A
COCIDO	15.745	B

**ANEXO XVII. ANÁLISIS DE VARIANCIAS Y PRUEBA DE TUKEY PARA LA EXCRECIÓN DE NITRÓGENO URINARIO**

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F <sub>calc.</sub>	Signif.
TRATAMIENTO	1	0.01333333	0.01333333	7.52	0.0208
ERROR	10	0.01773333	0.00177333		
TOTAL	11	0.03106667			

**PRUEBA DE TUKEY (P<0.05)**

TRATAMIENTOS	PROMEDIO	AGRUPACIÓN
EXTRUIDO	0.16667	A
COCIDO	0.10000	B