

**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

Características nutricionales y funcionales de la harina del fruto germinado de basul  
(*Erythrina edulis*)

Presentado por:

Yeni Ventura Saldivar

Para optar el Título de Ingeniero agroindustrial

Abancay, Perú

2022



**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



“TESIS”

**CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES Y FUNCIONALES DE LA HARINA DEL FRUTO**  
**GERMINADO DE BASUL (*Erythrina edulis*)**

Presentado por **Yeni Ventura Saldivar**, para optar el Título de:

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

Sustentado y aprobado el 07 de octubre del 2020, ante el jurado evaluador:

**Presidente:**

  
Ing. Ruth Mery Ccopa Flores

**Primer Miembro:**

  
Ing. Alex Ernesto Muñoz Cáceres

**Segundo Miembro:**

  
Ing. Jorge Beltrán Mendoza Cáceres

**Asesor:**

  
PhD. Fulgencio Vilcanqui Pérez

## **Agradecimiento**

*En primer lugar, doy gracias a Dios por guiarme y ayudarme a conseguir uno de mis objetivos trazados.*

*A mi alma mater, la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac y a toda la plana de docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial por la formación académica y profesional de mi persona.*

*A mi asesor de tesis, PhD Fulgencio Vilcanqui Pérez por su valiosa asesoría y apoyo incondicional durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.*

*Al CONCYTEC (Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica) por el financiamiento otorgado para el desarrollo del presente trabajo de investigación, bajo el marco del convenio N°121-2018-FONDECYT-BM-IADT-SE.*



### **Dedicatoria**

*El siguiente trabajo de investigación lo dedico a mis padres, que, gracias a su amor, paciencia y apoyo incesante, tanto en lo moral como en lo económico, me permitieron culminar con el proyecto de Tesis.*

*Ellos me han dado todo lo que soy como persona: mis valores, principios, etc. y sobre todo fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional.*



Características nutricionales y funcionales de la harina del fruto germinado de basul  
(*Erythrina edulis*)

Línea de investigación: Caracterización, desarrollo de procesos e innovación en la  
agroindustria

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



## ÍNDICE

|                                                                                                      | Pág. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                                                                            | 1    |
| <b>RESUMEN</b> .....                                                                                 | 2    |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                                                                | 3    |
| <b>CAPÍTULO I</b> .....                                                                              | 4    |
| <b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....                                                              | 4    |
| 1.1 Descripción del problema .....                                                                   | 4    |
| 1.2 Enunciado del problema .....                                                                     | 5    |
| 1.2.1 Problema general .....                                                                         | 5    |
| 1.2.2 Problemas específicos:.....                                                                    | 6    |
| 1.2.3 Justificación de la investigación .....                                                        | 6    |
| <b>CAPÍTULO II</b> .....                                                                             | 8    |
| <b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b> .....                                                                   | 8    |
| 2.1 Objetivos de la investigación .....                                                              | 8    |
| 2.1.1 Objetivo general.....                                                                          | 8    |
| 2.1.2 Objetivos específicos: .....                                                                   | 8    |
| 2.2 Hipótesis de la investigación .....                                                              | 8    |
| 2.2.1 Hipótesis general.....                                                                         | 8    |
| 2.2.2 Hipótesis específicas.....                                                                     | 9    |
| 2.3 Operacionalización de variables .....                                                            | 10   |
| <b>CAPÍTULO III</b> .....                                                                            | 11   |
| <b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b> .....                                                               | 11   |
| 3.1 Antecedentes .....                                                                               | 11   |
| 3.2 Marco teórico .....                                                                              | 12   |
| 3.2.1 Generalidades del basul .....                                                                  | 12   |
| 3.2.2 Composición nutricional y antinutrientes del basul.....                                        | 14   |
| 3.2.3 Proceso de germinación .....                                                                   | 17   |
| 3.2.3.1 Fase I.....                                                                                  | 17   |
| 3.2.3.2 Fase II o fase lag .....                                                                     | 18   |
| 3.2.3.3 Fase III: .....                                                                              | 19   |
| 3.2.4 Cambios nutricionales ocurridos durante la germinación.....                                    | 20   |
| 3.2.5 Influencia de la germinación sobre la composición fenólica de las harinas de leguminosas ..... | 22   |



|                                                                                                                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.6 Influencia de la germinación sobre la capacidad antioxidante de las harinas de leguminosas .....                                                         | 23        |
| 3.2.7 Influencia de la germinación sobre las propiedades funcionales de las harinas de leguminosas .....                                                       | 25        |
| 3.3 Marco conceptual.....                                                                                                                                      | 25        |
| <b>CAPÍTULO IV .....</b>                                                                                                                                       | <b>28</b> |
| <b>METODOLOGÍA.....</b>                                                                                                                                        | <b>28</b> |
| 4.1 Tipo y nivel de investigación.....                                                                                                                         | 28        |
| 4.2 Diseño de la investigación .....                                                                                                                           | 28        |
| 4.3 Población y muestra.....                                                                                                                                   | 30        |
| 4.4 Procedimiento .....                                                                                                                                        | 30        |
| 4.4.1 Germinado de semillas de basul .....                                                                                                                     | 30        |
| 4.4.2 Obtención de la harina de basul germinado ( <i>Erythrina edulis</i> ).....                                                                               | 31        |
| 4.4.3 Determinación del contenido de los valores nutricionales de la harina de basul germinado                                                                 | 33        |
| 4.4.3.1 Análisis proximal.....                                                                                                                                 | 33        |
| 4.4.3.2 Digestibilidad <i>in vitro</i> de la proteína .....                                                                                                    | 33        |
| 4.4.3.3 Determinación de los compuestos bioactivos .....                                                                                                       | 34        |
| 4.4.3.4 Propiedades funcionales de la harina de basul germinado .....                                                                                          | 37        |
| 4.5 Técnicas e instrumentos .....                                                                                                                              | 39        |
| 4.6 Análisis estadístico .....                                                                                                                                 | 39        |
| <b>CAPÍTULO V. ....</b>                                                                                                                                        | <b>40</b> |
| <b>RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>                                                                                                                          | <b>40</b> |
| 5.1 Análisis de resultados .....                                                                                                                               | 40        |
| 5.1.1 Obtención de la harina de basul germinado.....                                                                                                           | 40        |
| 5.1.2 Efecto de las condiciones de germinado sobre las características nutricionales de la harina de basul germinado .....                                     | 46        |
| 5.1.3 Efecto de las condiciones de germinado sobre el contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante de la harina de basul germinado ..... | 50        |
| 5.1.3.1 Compuestos fenólicos totales.....                                                                                                                      | 50        |
| 5.1.3.2 Capacidad antioxidante DPPH y ABTS .....                                                                                                               | 51        |
| 5.1.4 Efecto de las condiciones de germinado sobre las propiedades funcionales de la harina de basul germinado .....                                           | 57        |
| <b>5.2 Contrastación de hipótesis .....</b>                                                                                                                    | <b>62</b> |
| 5.2.1 Hipótesis estadísticas .....                                                                                                                             | 62        |
| <b>5.3 Discusión de resultados .....</b>                                                                                                                       | <b>63</b> |
| 5.3.1 Obtención de la harina de basul germinado.....                                                                                                           | 63        |



|                                                                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.3.2 Efecto de las condiciones de germinado sobre las características nutricionales de la harina de basul germinado .....            | 64        |
| 5.3.3 Efecto de las condiciones de germinado sobre el contenido de compuestos fenólicos totales de la harina de basul germinado ..... | 66        |
| 5.3.4 Efecto de las condiciones de germinado sobre la capacidad antioxidante de la harina de basul germinado .....                    | 68        |
| 5.3.5 Efecto de las condiciones de germinado sobre las propiedades funcionales de la harina de basul germinado .....                  | 69        |
| <b>CAPÍTULO VI.....</b>                                                                                                               | <b>72</b> |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>                                                                                           | <b>72</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                                                                                                | <b>74</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>                                                                                                                    | <b>83</b> |



## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1</b> — Operacionalización de las variables.....                                                                                                        | 10 |
| <b>Tabla 2</b> — Contenido de aminoácidos del basul y otros alimentos .....                                                                                      | 14 |
| <b>Tabla 3</b> — Valores de aminoácidos de algunas leguminosas .....                                                                                             | 15 |
| <b>Tabla 4</b> — Composición química del fruto de basul.....                                                                                                     | 16 |
| <b>Tabla 5</b> — Plan de tratamiento de datos .....                                                                                                              | 29 |
| <b>Tabla 6</b> — Porcentaje de semillas viables y rendimiento de los diferentes tratamientos de basul germinado .....                                            | 43 |
| <b>Tabla 7</b> — Componentes nutricionales de la harina de basul sometida a diferentes condiciones de germinado y sin germinar .....                             | 47 |
| <b>Tabla 8</b> — Pruebas de los efectos intersujetos sobre las características nutricionales .....                                                               | 48 |
| <b>Tabla 9</b> — Compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante de la harina de basul sometida a diferentes condiciones de germinado y sin germinar ..... | 53 |
| <b>Tabla 10</b> — Pruebas de los efectos intersujetos sobre el contenido fenólico total y la actividad antioxidante .....                                        | 53 |
| <b>Tabla 11</b> — Propiedades funcionales del basul sometida a diferentes condiciones de germinado y sin germinar .....                                          | 59 |
| <b>Tabla 12</b> — Prueba de los efectos intersujetos sobre las propiedades funcionales .....                                                                     | 60 |
| <b>Tabla 13</b> — Plan de tratamiento de datos y resultados obtenidos .....                                                                                      | 84 |
| <b>Tabla 14</b> — Porcentaje de semillas viables .....                                                                                                           | 85 |
| <b>Tabla 15</b> — Rendimiento del proceso de germinación.....                                                                                                    | 86 |
| <b>Tabla 16</b> — Proteína total .....                                                                                                                           | 87 |
| <b>Tabla 17</b> — Grasa .....                                                                                                                                    | 88 |
| <b>Tabla 18</b> — Fibra cruda .....                                                                                                                              | 89 |
| <b>Tabla 19</b> — Cenizas .....                                                                                                                                  | 90 |
| <b>Tabla 20</b> — ELN (Extracto libre de nitrógeno) .....                                                                                                        | 91 |
| <b>Tabla 21</b> — Digestibilidad <i>in vitro</i> de la proteína .....                                                                                            | 92 |
| <b>Tabla 22</b> — Polifenoles totales .....                                                                                                                      | 93 |
| <b>Tabla 23</b> — Capacidad antioxidante DPPH.....                                                                                                               | 94 |
| <b>Tabla 24</b> — Capacidad antioxidante ABTS.....                                                                                                               | 95 |
| <b>Tabla 25</b> — Solubilidad en agua.....                                                                                                                       | 96 |



|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 26</b> — Capacidad de absorción de agua .....              | 97  |
| <b>Tabla 27</b> — Capacidad de retención de agua.....               | 98  |
| <b>Tabla 28</b> — Capacidad de hinchamiento .....                   | 99  |
| <b>Tabla 29</b> — Capacidad de absorción de aceite .....            | 100 |
| <b>Tabla 30</b> — Tabla ANOVA de un factor .....                    | 101 |
| <b>Tabla 31</b> — Prueba HSD de Tukey .....                         | 101 |
| <b>Tabla 32</b> — Diferencia significativa de medias.....           | 101 |
| <b>Tabla 33</b> — Tabla ANOVA de un factor .....                    | 102 |
| <b>Tabla 34</b> — Prueba HSD de Tukey .....                         | 102 |
| <b>Tabla 35</b> — Diferencia significativa de medias.....           | 102 |
| <b>Tabla 36</b> — Tabla ANOVA de un factor para la grasa.....       | 103 |
| <b>Tabla 37</b> — Tabla ANOVA de un factor para la proteína .....   | 103 |
| <b>Tabla 38</b> — Tabla ANOVA de un factor para la fibra cruda..... | 103 |
| <b>Tabla 39</b> — Tabla ANOVA de un factor para las cenizas .....   | 103 |
| <b>Tabla 40</b> — Tabla ANOVA de un factor para el ELN .....        | 103 |
| <b>Tabla 41</b> — Tabla ANOVA de un factor .....                    | 104 |
| <b>Tabla 42</b> — Prueba HSD de Tukey .....                         | 104 |
| <b>Tabla 43</b> — Diferencia significativa de medias.....           | 104 |
| <b>Tabla 44</b> — Tabla ANOVA de un factor .....                    | 105 |
| <b>Tabla 45</b> — Prueba HSD de Tukey .....                         | 105 |
| <b>Tabla 46</b> — Diferencia significativa de medias.....           | 105 |
| <b>Tabla 47</b> — Tabla ANOVA de un factor .....                    | 106 |
| <b>Tabla 48</b> — Prueba HSD de Tukey .....                         | 106 |
| <b>Tabla 49</b> — Diferencia significativa de medias.....           | 106 |
| <b>Tabla 50</b> — Tabla ANOVA de un factor .....                    | 107 |
| <b>Tabla 51</b> — Prueba HSD de Tukey .....                         | 107 |
| <b>Tabla 52</b> — Diferencia significativa de medias.....           | 107 |
| <b>Tabla 53</b> — Tabla ANOVA de un factor .....                    | 108 |
| <b>Tabla 54</b> — Prueba HSD de Tukey .....                         | 108 |
| <b>Tabla 55</b> — Diferencia significativa de medias.....           | 108 |
| <b>Tabla 56</b> — Tabla ANOVA de un factor .....                    | 109 |
| <b>Tabla 57</b> — Prueba HSD de Tukey .....                         | 109 |



|                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 58</b> — Diferencia significativa de medias .....                               | 109 |
| <b>Tabla 59</b> — Tabla ANOVA de un factor para la capacidad de retención de agua .....  | 110 |
| <b>Tabla 60</b> — Tabla ANOVA de un factor para la capacidad de absorción de aceite..... | 110 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 1</b> — Etapas de la germinación.....                                                                                                                                                | 20  |
| <b>Figura 2</b> — Flujo de operaciones para el germinado de semillas de basul ( <i>Erythrina edulis</i> )<br>.....                                                                             | 32  |
| <b>Figura 3</b> — Rendimiento del proceso a diferentes condiciones de germinado .....                                                                                                          | 44  |
| <b>Figura 4</b> — Porcentaje de semillas viables a diferentes condiciones de germinado .....                                                                                                   | 44  |
| <b>Figura 5</b> — Representación de los factores principales para el rendimiento y el factor de germinación.....                                                                               | 45  |
| <b>Figura 6</b> — Digestibilidad <i>in vitro</i> de la proteína de las diferentes condiciones de germinado<br>.....                                                                            | 49  |
| <b>Figura 7</b> — Representación de los factores principales sobre la digestibilidad <i>in vitro</i> de la proteína .....                                                                      | 49  |
| <b>Figura 8</b> — Contenido de fenoles totales de las diferentes condiciones de germinado .....                                                                                                | 54  |
| <b>Figura 9</b> — Capacidad antioxidante DPPH de las diferentes condiciones de germinado ..                                                                                                    | 54  |
| <b>Figura 10</b> — Capacidad antioxidante ABTS de las diferentes condiciones de germinado                                                                                                      | 55  |
| <b>Figura 11</b> — Representación de los efectos principales sobre el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante ABTS.....                                                       | 56  |
| <b>Figura 12</b> — Representación de los efectos principales sobre la solubilidad en agua, capacidad de absorción de agua y capacidad de hinchamiento de la harina de basul germinado<br>..... | 61  |
| <b>Figura 13</b> — Pelado de la materia prima (basul) .....                                                                                                                                    | 112 |
| <b>Figura 14</b> — Selección de la materia prima .....                                                                                                                                         | 112 |
| <b>Figura 15</b> — Proceso de germinado de las semillas de basul .....                                                                                                                         | 113 |
| <b>Figura 16</b> — Proceso de secado por convección forzada de las semillas de basul.....                                                                                                      | 113 |
| <b>Figura 17</b> — Obtención de la harina de basul germinado a diferentes condiciones.....                                                                                                     | 114 |
| <b>Figura 18</b> — Harina de basul germinado de diferentes granulometrías .....                                                                                                                | 114 |
| <b>Figura 19</b> — Solubilidad en agua de la harina de basul germinado a diferentes condiciones<br>.....                                                                                       | 115 |
| <b>Figura 20</b> — Capacidad de absorción de aceite de la harina de basul germinado a diferentes condiciones .....                                                                             | 115 |



|                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 21</b> — Baño maría de las diferentes muestras para la digestibilidad <i>in vitro</i> de la proteína .....        | 116 |
| <b>Figura 22</b> — Digestibilidad <i>in vitro</i> de la proteína de basul germinado a diferentes condiciones .....          | 116 |
| <b>Figura 23</b> — Determinación de los fenoles totales de la harina de basul germinado a diferentes condiciones.....       | 117 |
| <b>Figura 24</b> — Determinación de la capacidad antioxidante de la harina de basul germinado a diferentes condiciones..... | 117 |



## INTRODUCCIÓN

El contexto en el que se encuentra nuestro país con respecto a problemas asociados a la anemia y a la desnutrición crónica infantil es preocupante. Según ENDES (Encuesta Demográfica y de Salud Familiar), 2017, el departamento de Apurímac posee un índice de desnutrición crónica infantil de 20,9%, cifra que es superior al promedio nacional, el cual es del 12,9%. La población afectada lo constituyen principalmente niños menores de cinco años, madres gestantes y lactantes, quiénes son propensos a consecuencias como altos índices de anemia, problemas de crecimiento y bajo rendimiento cognitivo.

A pesar de que hasta la fecha el estado peruano ha venido ejecutando diversos esfuerzos para combatir este problema: como los programas de asistencia alimentaria para niños escolares Qali warma, programa Juntos, etc., las estadísticas aún permanecen y causan preocupación. En los últimos años, se ha incrementado el interés en el desarrollo de una amplia variedad de productos alimenticios a base de harina de granos andinos, cereales y leguminosas, debidos a su bajo costo, perfil nutricional y otros atributos, por lo que resultan alimentos muy promisorios para combatir estos problemas. Dentro de este grupo se tiene “el basul”, una leguminosa silvestre caracterizada por su gran valor nutritivo, elevado contenido de proteínas y otros componentes bioactivos.

Por otra parte, el proceso de germinación es una tecnología milenaria barata que permite mejorar a bajo costo el valor nutritivo de los alimentos, los compuestos bioactivos y las propiedades funcionales. Durante este proceso los antinutrientes son reducidos significativamente, lo que propicia una mayor biodisponibilidad de los nutrientes como las proteínas, minerales, entre otros, trayendo como consecuencia elevados niveles de digestibilidad, específicamente en las proteínas.

Se han documentado varios trabajos en referencia al efecto del remojo y la germinación sobre los factores nutricionales, anti nutricionales y propiedades funcionales de diversas harinas de cereales y legumbres, pero el efecto de la condición de iluminación (luz, oscuridad) durante la germinación de la semilla de basul sobre las características nutricionales, propiedades funcionales y compuestos bioactivos todavía no está investigada. El presente estudio tuvo como objetivos: determinar las condiciones de germinación del basul y evaluar el efecto de las condiciones de germinado del fruto de basul sobre las características nutricionales, los compuestos bioactivos y las propiedades funcionales de la harina de basul germinado.



## RESUMEN

El basul o poroto (frejol de árbol), es una leguminosa silvestre que presenta porcentajes atractivos en cuanto a sus características nutricionales: alto contenido de proteínas, carbohidratos, fibra dietética y otros componentes. Debido a este valor nutricional es importante y necesario aumentar su consumo y diversificar su uso como ingrediente en el desarrollo de productos alimenticios. Los objetivos del estudio fueron evaluar el efecto de las condiciones de germinado (tiempo de remojo, germinación y condición de iluminación) de las semillas de basul sobre las características nutricionales, compuestos bioactivos y propiedades funcionales de la harina de basul germinado. En las características nutricionales fueron evaluadas el contenido de proteína total, grasa, fibra cruda, cenizas, extracto libre de nitrógeno y la digestibilidad *in vitro* de la proteína. El contenido fenólico total fue determinado por el método de Folin- Ciocalteu y la capacidad antioxidante mediante el método DPPH y ABTS. En las propiedades funcionales, se evaluaron la solubilidad en agua, la capacidad de absorción y retención de agua, capacidad de hinchamiento y de absorción de aceite. Para la presente investigación se utilizó el diseño completamente al azar (DCA) con un arreglo factorial de 2x2x2. Las diferentes condiciones de germinado no tuvieron influencia significativa sobre algunos de los componentes nutricionales y la capacidad antioxidante DPPH de la harina de basul germinado. Hubo efecto significativo sobre la digestibilidad *in vitro* de la proteína con respecto al tratamiento cero, incremento hasta un 6,25% en el tratamiento 5 (24h de remojo, 96h de germinado y en luz). De igual forma en algunas de las propiedades funcionales, tales como la solubilidad en agua y la capacidad de absorción de agua se observaron incrementos: de 38,37% a 85,14% y de 3,76g/g a 5,5g/g, respectivamente. En cuanto a los compuestos fenólicos totales y a la capacidad antioxidante ABTS, mediante la germinación también se logra incrementar dichos componentes con respecto al tratamiento sin germinar, de hasta un 10,63% en el tratamiento 8 (24h de remojo, 96h de germinado, oscuridad) para los polifenoles totales y un 13,08% para la capacidad antioxidante ABTS en el tratamiento 2 (18h de remojo, 96h de germinado, oscuridad). El proceso de germinado mejora la digestibilidad *in vitro* de la proteína, el contenido de polifenoles totales y la capacidad antioxidante ABTS y algunas de las propiedades funcionales relacionadas con la interacción con el agua.

**Palabras clave:** Basul. Digestibilidad *in vitro*; Propiedades funcionales, Polifenoles, Capacidad antioxidante.



## ABSTRACT

The basul or poroto (tree bean), is a wild legume that presents attractive percentages in terms of its nutritional characteristics: high content of proteins, carbohydrates, dietary fiber and other components. Due to this nutritional value, it is important and necessary to increase its consumption and diversify its use as an ingredient in the development of food products. The objectives of the study were to evaluate the effect of the germination conditions (soaking time, germination and lighting condition) of the basul seeds on the nutritional characteristics, bioactive compounds and functional properties of the germinated basul flour. In the nutritional characteristics, the content of total protein, fat, crude fiber, ash, nitrogen-free extract and the in vitro digestibility of the protein were evaluated. The total phenolic content was determined by the Folin-Ciocalteu method and the antioxidant capacity by the DPPH and ABTS method. In functional properties, water solubility, water absorption and retention capacity, swelling capacity and oil absorption capacity were evaluated. For the present investigation, the completely randomized design (DCA) with a factorial arrangement of 2x2x2 was used. The different germination conditions did not have a significant influence on some of the nutritional components and the antioxidant capacity DPPH of the germinated basul flour. There was a significant effect on the in vitro digestibility of the protein with respect to zero treatment, an increase of 6.25% in treatment 5 (24h soaking, 96h germination and in light). Similarly, in some of the functional properties, such as water solubility and water absorption capacity, increases were observed: from 38,37% to 85,14% and from 3,76g /g to 5,5g/g, respectively. Regarding the total phenolic compounds and the antioxidant capacity ABTS, by means of germination it is also possible to increase said components with respect to the treatment without germination, up to 10.63% in treatment 8 (24h soaking, 96h germination, dark) for total polyphenols and 13.08% for the antioxidant capacity ABTS in treatment 2 (18h soaking, 96h germination, darkness). The sprouting process improves the in vitro digestibility of the protein, the content of total polyphenols and the antioxidant capacity ABTS and some of the functional properties related to the interaction with water.

**Keywords:** *Basul. In vitro digestibility; Functional properties, Polyphenols, Antioxidant capacity*



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Descripción del problema

En las últimas décadas hubo un incremento acelerado en el número de casos de enfermedades no transmisibles como el sobrepeso, la hipertensión arterial, diabetes tipo 2, cáncer en el colon y entre otros, en los países desarrollados y en los países en vías de desarrollo como el Perú (VILCANQUI *et al.*, 2018). Se cree que estos problemas actuales de salud estén originados tanto por el incremento del consumo de proteínas de origen animal, debido a la crianza de animales a gran escala y por los cambios en los patrones dietéticos como consumo excesivo de alimentos altamente procesados con un elevado contenido en grasas saturadas y colesterol, carbohidratos refinados e insuficiente cantidad de fibra dietética, dejando a un lado el consumo de proteínas de origen vegetal (KENDALL *et al.*, 2010).

Por otra parte, la desnutrición crónica es un síndrome nutricional importante que afecta a la población mundial (lo padecen más de 170 millones de niños en edad preescolar en los países en desarrollo de Asia y África). Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2015) y la Cámara de Comercio de Lima (2015) en el Perú más de 19 158 niños sufren desnutrición crónica. En la región Apurímac se reportó una tasa de desnutrición crónica infantil de 20,9% que afecta mayormente a niños de las poblaciones alto andinas con escasos recursos económicos (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA, 2017).

El basul (*Erythrina edulis*) constituye una leguminosa promisoría para combatir dichos problemas, ya que se caracteriza por el alto contenido de proteínas (35,27 %) (ESPINOZA, 2018) y otros componentes muy importantes como la fibra dietética, minerales y vitaminas, aparte de ello, las proteínas de esta legumbre son buenos complementos de las otras fuentes de proteína vegetal, puesto que aporta aminoácidos esenciales como la lisina, leucina, ácido aspártico, ácido glutámico y arginina (MIÑARRO *et al.*, 2012), de los que carecen por ejemplo los cereales, sin embargo, uno de los inconvenientes de esta legumbre es el contenido de cantidades significativas de sustancias antinutricionales como los taninos, que al formar complejos insolubles con las proteínas reducen su digestibilidad; al igual que la presencia de ácido fítico o fitatos que disminuyen la absorción intestinal y la



biodisponibilidad de ciertos minerales al formar complejos con dichos minerales esenciales (Cu, Zn, Fe, K, Mg y Ca) (MARTÍNEZ *et al.*, 2002).

Con la finalidad de reducir estos efectos adversos de las legumbres se han estudiado diferentes métodos de tratamiento, entre ellos el remojo, el germinado, la fermentación y la cocción (ELBALOULA *et al.*, 2014), sin embargo, el germinado presenta cierto inconveniente, ya que la humedad necesaria para hacer germinar las legumbres o granos de cereales es la que también algunas bacterias potencialmente peligrosas aprovechan para crecer.

A ello debe añadirse que a la hora de germinar una semilla, grano de cereal u otra hortaliza muchos autores sólo toman en cuenta dos factores tradicionales de germinado: tiempo de remojo y tiempo de germinado, no consideran las condiciones físicas como la luz y la oscuridad, cuyos antecedentes mencionan que juega un papel importante en la composición nutricional de las leguminosas (KUO *et al.*, 2004) ya que la presencia de la luz durante la germinación aumenta los cambios metabólico de la semilla lo que incrementa el valor nutritivo de las leguminosas (URBANO *et al.*, 2005).

Aunque existen algunos estudios del efecto de las condiciones de germinado sobre las propiedades nutricionales y funcionales de las harinas de cereales y leguminosas, la información individual de cada producto se reporta escasamente, además no se encuentran estudios previos sobre los germinados de basul, ni sobre la influencia del tiempo de remojo, tiempo de germinado y condición de iluminación sobre las características nutricionales, compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante y propiedades funcionales de la harina de basul germinado.

## 1.2 Enunciado del problema

### 1.2.1 Problema general

¿Qué efecto tiene las condiciones de germinado del basul sobre las características nutricionales, los compuestos bioactivos y las propiedades funcionales de la harina de basul germinado (*Erythrina edulis*)?



### 1.2.2 Problemas específicos:

- ¿Cuáles son los parámetros tecnológicos adecuados para la obtención de basul germinado (*Erythrina edulis*) en función al porcentaje de semillas viables?
- ¿Qué efecto tiene las condiciones de germinado del basul sobre las características nutricionales de la harina de basul germinado (*Erythrina edulis*)?
- ¿Qué efecto tiene las condiciones de germinado del basul sobre el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante de la harina de basul germinado (*Erythrina edulis*)?
- ¿Qué efecto tiene las condiciones de germinado del basul sobre las propiedades funcionales de la harina de basul germinado (*Erythrina edulis*)?

### 1.2.3 Justificación de la investigación

Desde el punto de vista nutricional, la utilidad o la funcionalidad de cualquier grano o semilla, depende principalmente de la cantidad y la calidad de la proteína. Las proteínas son un grupo importante de biomacromoléculas que están involucradas en las funciones fisiológicas. Las proteínas vegetales naturales son materiales útiles debido a su seguridad, alta biocompatibilidad, valor nutricional y bajo costo. Por lo tanto, encontrar nuevas proteínas vegetales ricas en aminoácidos esenciales es importante para la industria alimentaria.

Las leguminosas se han consumido durante al menos 10 000 años y se encuentran entre los alimentos más consumidos en el mundo. Desde el punto de vista nutricional, las legumbres son consideradas fuentes importantes de proteína vegetal y a la vez de carbohidratos complejos, algunos de absorción lenta como el almidón y otros no digeribles como los componentes de la fibra alimentaria, minerales esenciales, vitaminas y muchos otros antioxidantes y compuestos que promueven la salud: carotenoides, compuestos fenólicos, clorofila, vitamina A y vitamina C.

El basul (*Erythrina edulis*) es una leguminosa que se encuentra distribuida en áreas tropicales y sub tropicales de América. En el Perú se encuentra en los valles interandinos desde los 900 a 3200 m.s.n.m., como son las regiones de Cajamarca, Amazonas, Loreto, Ancash, Huánuco, Pasco, Junín, Ayacucho, Cuzco, Apurímac, La Libertad y Madre de Dios (VARGAS, 2016).



Del fruto del basul (*Erythrina edulis*) se pueden obtener harinas para la incorporación en productos de panificación con características físicas, nutricionales y sensoriales aceptables. A pesar del valor nutritivo que posee esta leguminosa, no tiene el reconocimiento que merece debido a la insuficiente innovación para el desarrollo de productos que se adapten a la vida actual y la baja producción local que lleva a la competencia con importaciones de baja calidad y más baratas. A ello debe añadirse la preferencia de muchos consumidores por las proteínas de origen animal, de mayor prestigio, más facilidad en su preparación y con mayor aceptación sensorial (OLMEDILLA *et al.* , 2010). Debido a su valor nutricional es importante y necesario aumentar su consumo y diversificar su uso como ingrediente en el desarrollo de productos alimenticios.

Tal cómo se han demostrado en diversos estudios con trigo, tarwi, frijoles y otras semillas. El proceso de germinación generalmente mejora la calidad nutricional de las legumbres, no sólo por la reducción de los componentes antinutritivos, sino también por el aumento de los niveles de aminoácidos libres, carbohidratos aprovechables, fibra alimentaria y otros determinados compuestos bioactivos como los compuestos fenólicos que aumentan la funcionalidad de las semillas.

Durante este proceso las enzimas que se sintetizan comienzan la hidrólisis del almidón y de las proteínas, por lo que dan lugar a alimentos más fáciles de digerir. Como consecuencia de la acción de estas enzimas tiene lugar la síntesis de nuevos constituyentes de la célula, por lo que se producen numerosos cambios bioquímicos, nutricionales y sensoriales. Por otra parte, dicho proceso ejerce una gran influencia en el contenido de vitaminas, ya que estimula la biosíntesis de determinadas vitaminas hidrosolubles.

La aplicación de este proceso biológico, de amplio uso tradicional, tiene actualmente un gran interés nutricional e industrial, ya que se consiguen nuevos productos con elevado valor nutritivo que podrían ser usados para determinados grupos de la población como ancianos, niños o utilizarse como suplemento en otros alimentos pobres en proteínas.



## CAPÍTULO II

### OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### 2.1 Objetivos de la investigación

##### 2.1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de las condiciones de germinado del basul sobre las características nutricionales, compuestos bioactivos y propiedades funcionales de la harina de basul germinado.

##### 2.1.2 Objetivos específicos:

- Determinar los parámetros tecnológicos de germinación en función al porcentaje de semillas viables para la obtención de harina de basul germinado (*Erythrina edulis*).
- Evaluar el efecto de las condiciones de germinado del basul sobre las características nutricionales de la harina de basul germinado (*Erythrina edulis*).
- Evaluar el efecto de las condiciones de germinado del basul sobre el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante de la harina de basul germinado (*Erythrina edulis*).
- Evaluar el efecto de las condiciones de germinado del basul sobre las propiedades funcionales de la harina de basul germinado (*Erythrina edulis*).

#### 2.2 Hipótesis de la investigación

##### 2.2.1 Hipótesis general

Las condiciones de germinado incrementan los valores de las características nutricionales, el contenido de polifenoles totales, la capacidad antioxidante y las propiedades funcionales de la harina de basul germinado.



### 2.2.2 Hipótesis específicas

- Las condiciones de germinado determinan el porcentaje de semillas viables para la obtención de harina de basul germinado (*Erythrina edulis*).
- El tiempo de remojo, tiempo de germinado y la presencia o ausencia de luz influyen sobre el contenido de proteína total, grasa, fibra cruda, ceniza, extracto libre de nitrógeno y digestibilidad *in vitro* de la proteína de la harina de basul germinado.
- El tiempo de remojo, tiempo de germinado y la presencia o ausencia de luz influyen sobre los compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante ABTS y DPPH de la harina de basul germinado.
- El tiempo de remojo, tiempo de germinado y la presencia o ausencia de luz influyen sobre la solubilidad en agua, capacidad de absorción de agua, capacidad de retención de agua, capacidad de hinchamiento y capacidad de absorción de aceite de la harina de basul germinado.



## 2.3 Operacionalización de variables

En la siguiente tabla 1 se detalla la operacionalización de las variables de la presente investigación.

**Tabla 1 — Operacionalización de las variables**

| Variables                      | Indicador                                     | Índice                      |
|--------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| VARIABLES INDEPENDIENTES       |                                               |                             |
| Condiciones de germinado       | Tiempo de remojo                              | h                           |
|                                | Tiempo de germinado                           | h                           |
|                                | Iluminación (luz y oscuridad)                 | Adimensional                |
| VARIABLES DEPENDIENTES         |                                               |                             |
| Características de germinación | Porcentaje de semillas viables                | %                           |
|                                | Rendimiento                                   | %                           |
| Valores nutricionales          | Humedad                                       | %                           |
|                                | Proteínas totales                             | %                           |
|                                | Grasa                                         | %                           |
|                                | Fibra cruda                                   | %                           |
|                                | Cenizas                                       | %                           |
|                                | Extracto libre de nitrógeno                   | %                           |
|                                | Digestibilidad <i>in vitro</i> de la proteína | %                           |
| Compuestos bioactivos          | Fenoles totales                               | mg AGE/100 g m.s.*          |
|                                | Capacidad antioxidante ABTS, DPPH             | μmol TE/g m. s <sup>1</sup> |
| Propiedades funcionales        | Solubilidad en agua                           | %                           |
|                                | Capacidad de absorción de agua                | g agua/g m.s                |
|                                | Capacidad de retención de agua                | g agua/g m.s                |
|                                | Capacidad de hinchamiento                     | ml de agua/ g m.s           |
|                                | Capacidad de absorción de aceite              | g aceite/ g m.s             |

\* mg ácido gálico equivalente/100g de materia seca; <sup>1</sup> μmol de trolox equivalente/g de materia seca

## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 3.1 Antecedentes

- a) HANDA *et al.* (2017), estudió la optimización de las condiciones de remojo y germinación para disminuir los factores antinutricionales y al mismo tiempo mantener las propiedades nutricionales del frejol de caballo. En este trabajo, las semillas de frejol fueron remojadas por 6h, 12h y 18h seguidas y se germinaron durante 0, 24h y 48h bajo diferentes condiciones de iluminación (luz y oscuridad) y concluyó que las características fisicoquímicas y funcionales fueron afectadas significativamente tanto por el remojo como por la germinación. Basado en los atributos de calidad, se encontró que el tratamiento con 18h de remojo y 48h de germinación y en presencia de luz fue el mejor debido a la máxima disminución de los factores antinutricionales.
- b) En la investigación realizada por SANGRONIS *et al.* (2004), titulada “Propiedades funcionales de las harinas de leguminosas (*Phaseolus vulgaris* y *Cajan cajan*) germinadas”, llegó a la conclusión de que el proceso de germinación no afectó la concentración proteica en granos de *P. vulgaris* variedad blanca y negra; sin embargo, si aumentó en los granos del *C. cajan*. Los mayores cambios se observaron en las propiedades funcionales de las harinas de granos germinados, indicando que la germinación de los granos produce cambios en la estructura de la proteína, lo que genera una harina de características mejores a la del grano crudo, que pudiera usarse como ingrediente en el desarrollo de nuevos productos donde sean requeridas la capacidad de retener agua y de formar geles, espumas y emulsiones estables, tales como salchichas, postres y productos horneados. De esta manera se podría diversificar el uso de las leguminosas. Adicionalmente, recomiendan preparar aislados o concentrados de los granos germinados con la finalidad de estudiar el efecto de la germinación en la proteína de la leguminosa sin las interferencias de otros constituyentes presentes en la harina (SANGRONIS *et al.*, 2004).



- c) En otro trabajo de investigación “Efecto de la germinación sobre el perfil nutricional y proteínas del lupino (*Lupinus angustifolius L.*); los resultados de la germinación representan un medio atractivo y económico para mejorar el valor nutricional de la harina de lupino. Se destaca un aumento en el contenido de fibra dietética y una disminución en el contenido de lípidos, lo que mejoraría el valor nutricional de los alimentos incorporados con harina de lupino germinada. Además, el perfil de la proteína en la harina germinada de lupino posiblemente afecte las propiedades funcionales de las proteínas (RUMIYATI *et al.*, 2012).
- d) Estudios con pseudocereales como la quinua, en otro trabajo de investigación “Evaluación del efecto del proceso de extrusión en harina de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) normal y germinada”, se ha logrado identificar que el proceso de germinación de la quinua, generó alteraciones en la composición como aumento del contenido de la proteína de 15,06% a 15,74%, estos cambios fueron más pronunciados que en la quinua extruida. También hubo un incremento significativo en el índice de solubilidad y absorción de agua y sobre las propiedades de gelatinización (TOVAR *et al.*, 2017).

## 3.2 Marco teórico

### 3.2.1 Generalidades del basul

Desde el punto de vista botánico el basul pertenece a la familia Fabaceae, género *Erythrina*, y especie *edulis*.

Es propio de los valles interandinos del norte de Suramérica y de acuerdo a la región o país en donde esté ubicado recibe diferentes nombres. En Perú se le dice basul, pajuro, antiporoto, pashuro, pashigua, poroto, anteporoto y pisonay. En Venezuela se conoce como frijol mompás, mompás, balú y bucaré y en Ecuador como guato, sacharopoto, zapote de cerro, frijol de monte, pashullo, poroto y porotón.

Es un árbol frondoso de altura variable (entre 10 a 15 metros), sus hojas son de un color verde oscuro intenso con pequeñas espinas en la nervadura central de la cara posterior, sus flores son de color rojo carmesí los cuales se convierten en un racimo de vainas alargadas, que contendrá a los granos o semillas de basul de color marrón o rojo oscuro con un tamaño de 2,5 a 5,2cm.



El árbol de *Erythrina edulis* es una planta silvestre y en algunas zonas es semicultivada, crece en los valles interandinos (Apurímac, Cajamarca, Ayacucho y otros) y desde el punto de vista ecológico, posee cualidades muy importantes tales como la notable capacidad de fijar nitrógeno, controlar la erosión de suelos, no requiere de cuidados ni tratamientos fitosanitarios, se adapta con facilidad a suelos áridos y puede soportar largos periodos de sequía (CÁRDENAS, 2012).

Los frutos del basul son consumidos regularmente por los campesinos, quienes a través de sus conocimientos empíricos pueden asegurar de las cualidades nutritivas que este posee. En los últimos años, se ha obtenido información importante de la composición proximal de este fruto, resaltando el contenido de proteínas (20-25%) (VARGAS, 2016). Investigaciones recientes afirman que a partir de los frutos de basul, se puede obtener harinas e incluirlas en productos de panificación (panes, galletas, panetones y otros). En este contexto, VARGAS (2016), realizó el estudio “Caracterización fisicoquímica de pan molde blanco con sustitución parcial de harina de pajuro (*Erythrina edulis*)” en el que determinó que el basul presenta un contenido de 21,3% de proteína, 11,8% de humedad, 2,9% de cenizas, 0,94% de fibra, 1,52% de grasa y 61,54% de carbohidratos. Además, arribó a la conclusión de que el contenido de harina de pajuro en la formulación del pan molde tiende a disminuir la luminosidad, aumentando la tonalidad rojiza y amarillenta. En cuanto a las propiedades físicas, hubo un ligero aumento del volumen en el pan molde con 10% de harina de pajuro y 85% de harina de trigo, señalando que esta sustitución no afecta significativamente el volumen del pan molde.

En otro trabajo de investigación desarrollada por ESPINOZA (2018) “Análisis químico proximal de granos y harina de “pajuro” (*Erythrina edulis*) y elaboración de una bebida proteica con sabor a chocolate”, llegó a la conclusión de que la formulación con 3g de harina de pajuro, 8g de leche en polvo, 4g de azúcar en polvo, 0,6g de pectina y 0,75g de cacao en polvo en 100ml de agua, tuvo la mayor aceptación sensorial. Por lo que en la actualidad se viene desarrollando diversas investigaciones con respecto a la utilización del fruto del basul.



### 3.2.2 Composición nutricional y antinutrientes del basul

El basul (*Erythrina edulis*) presenta múltiples bondades como alimento: elevado contenido de proteínas (llegando a alcanzar hasta un 25% por cada 100 gramos de legumbre) (ESCAMILO, 2008), mayor valor biológico de la proteína (70,9%) en comparación con otras legumbres como la lenteja (44%), frijol (58%) y la arveja (63,7%) (ACERO, 2002) y un aminograma comparable al del huevo y superior al del frijol (*Phaseolus vulgaris*) y la arveja (*Pisum sativum*) (PÉREZ *et al.*, 1979) como se observa en la tabla 2 y 3. Es un alimento completo cuando se mezcla con maíz y alimentos ricos en metionina y en triptófano (BARRERA *et al.*, 1997).

En el análisis de las fracciones proteicas de basul, ARANGO *et al.* (2012) aprecia una presencia mayoritaria de glutelinas (13,29% de 18,24% de proteínas totales). Las glutelinas son uno de los componentes principales del gluten que, a su vez, tiene la propiedad tecnofuncional de formar miga en los productos de panificación.

Su gran valor nutricional se puede apreciar mejor en la tabla 2, donde se muestra el contenido total de aminoácidos del basul comparado al de otras leguminosas como el frijol, la arveja, soya y haba, estos valores están dados en gramos de aminoácidos por cada 16 gramos de nitrógeno (PÉREZ BAÉZ, 2011).

**Tabla 2 — Contenido de aminoácidos del basul y otros alimentos**

| Producto | Lis  | His  | Tre  | Val  | Met  | Iso  | Leu  | Tir  | Fen  | Trip |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Huevo    | 6,97 | 2,43 | 5,12 | 6,85 | 3,36 | 6,29 | 8,50 | 4,16 | 5,33 | 1,49 |
| Basul    | 6,91 | 5,84 | 5,84 | 5,57 | 1,31 | 5,20 | 8,24 | 5,50 | 4,99 | 0,66 |
| Frijol   | 6,24 | -    | 3,87 | 4,22 | 1,17 | 3,73 | 6,51 | 2,70 | 4,72 | 0,56 |
| Arveja   | 6,90 | -    | 3,58 | 4,08 | 0,88 | 3,20 | 6,37 | 3,34 | 4,22 | 0,74 |

Extraído de PÉREZ ,(2011)

**Donde:**

Lis: lisina; His: histidina; Tre: treonina; Val: valina; Met: metionina; Iso: isoleucina; Leu: leucina; Tir: tirosina; Fen: fenilalanina; Trip: triptófano.



**Tabla 3 — Valores de aminoácidos de algunas leguminosas**

| <b>Aminoácido</b> | <b>Basul</b> | <b>Frijol</b> | <b>Arveja</b> | <b>Soya</b> | <b>Haba</b> |
|-------------------|--------------|---------------|---------------|-------------|-------------|
| Lisina            | 6,91         | 6,24          | 6,96          | 6,38        | 6,46        |
| Histidina         | 5,84         | 2,50          | 2,38          | 2,63        | 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        |
| Leucina           | 8,24         | 6,51          | 6,37          | 7,78        | 7,09        |
| Fenilalanina      | 4,99         | 4,72          | 4,22          | 4,94        | 4,32        |
| Triptófano        | 0,66         | 0,56          | 0,74          | 1,28        | N.D         |
| Tirosina          | 5,50         | 2,70          | 3,34          | 3,14        | 3,20        |
| Arginina          | 5,63         | 5,87          | 9,46          | 7,23        | 8,90        |
| Ac. aspártico     | 19,47        | 11,10         | 11,00         | 11,70       | 11,20       |
| Serina            | 5,71         | 5,57          | 4,75          | 5,12        | 4,48        |
| Ac. glutámico     | 17,42        | 16,20         | 18,40         | 18,70       | 15,00       |
| 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        |

Extraído de PÉREZ, (2011)

N.D: no determinado

En la tabla 4 se muestra la composición química de las semillas de basul (*Erythrina edulis*). El contenido de proteínas es de 20,50% en base seca. En cuanto al contenido de carbohidratos, fluctúa entre 68,20% en base seca, siendo el almidón el principal componente.



Tabla 4 — Composición química del fruto de basul

| Contenido     | Base fresca (%) | Base seca (%) |
|---------------|-----------------|---------------|
| Agua          | 80,50           | 0,00          |
| Proteína      | 4,00            | 20,50         |
| Grasa         | 0,10            | 0,51          |
| Carbohidratos | 13,30           | 68,20         |
| Fibra         | 1,00            | 5,13          |
| Cenizas       | 1,00            | 5,64          |

Extraído de PÉREZ, (2011)

Aparte del valor nutricional, el basul presenta en su composición factores antinutricionales, definidas como sustancias naturales no fibrosas, creadas por el metabolismo subsiguiente de las plantas como elemento de protección a situaciones estresantes o contra el ataque de mohos, bacterias, insectos y aves.

El término antinutrientes se utiliza para calificar a aquellos compuestos que afectan el valor nutricional del basul, obstaculizan o inhabilitan el aprovechamiento y asimilación de nutrimentos que provienen del basul (proteínas y minerales) y desde el punto de vista bioquímico estos factores son de naturaleza variada y pueden llegar a ser tóxicos o causar efectos fisiológicos poco deseables como la flatulencia, distensión estomacal, afectaciones pancreáticas, aglutinación de glóbulos rojos, disminución en la asimilación de nutrientes, entre otros (ELIZALDE *et al.*, 2009).

Los antinutrientes más predominantes en las leguminosas son alcaloides, inhibidores de tripsina, fitatos, etc. y probablemente en el basul se reportaría el contenido en ácido fítico. Desde el punto de vista nutricional, el interés del ácido fítico se debe principalmente a su capacidad de formar complejos con minerales esenciales (Cu, Zn, Fe, K, Mg y Ca) (MARTÍNEZ *et al.*, 2002), lo que disminuye la absorción intestinal y la biodisponibilidad de estos minerales para el hombre y los animales monogástricos; debido a que estos no están provistos de suficiente actividad de fosfatasas endógenas (fitasas) que sean capaces de liberar los minerales de la estructura del fitato. Además, los fitatos interaccionan con residuos básicos de proteínas formando complejos, como



proteína-fitato y proteína fitato mineral, por lo que se paralizan muchas reacciones enzimáticas a nivel digestivo (MAZZA, 2000).

Sin embargo, se ha demostrado que, durante el procesamiento de los alimentos y la digestión, la cantidad final de ácido fítico disminuye significativamente como consecuencia de su hidrólisis enzimática o química (CENTENO *et al.*, 2001).

El consumo de fitatos no solamente tiene efectos negativos sobre la salud humana; algunos trabajos recientes muestran que las formas menos fosforiladas favorecen la absorción intestinal de minerales; disminuyen el índice glicémico al inhibir la acción de las amilasas; quelan radicales  $3+$   $2+$  de Fe y Zn por lo que previenen el cáncer de colon; actúan además como antioxidantes pues inhiben la peroxidasa y previenen la formación de cálculos renales al reducir la formación de cristales de hidroxipatita (SMITHARD, 2002).

El ácido fítico también tiene efectos positivos en la reducción del colesterol sérico y los triglicéridos, la supresión de la oxidación mediada por el hierro y la prevención de algunos tipos de cáncer (HURRELL, 2003).

### 3.2.3 Proceso de germinación

La germinación de las semillas es definida como una serie de procesos metabólicos en el que se da la transformación del embrión en una plántula capaz de convertirse en una planta adulta. La germinación se inicia con la absorción de agua por la semilla o imbibición y termina con la emergencia de la radícula. A continuación, se detalla las fases del proceso de germinación:

#### 3.2.3.1 Fase I

**Absorción de agua por la semilla o imbibición:** Es el primer proceso que tiene lugar durante la germinación y es aquí donde el agua rehidrata las reservas alimenticias que sólo pueden transformarse en sustancias disponibles al embrión en presencia de agua, así como también, a los sistemas enzimáticos responsables del hidrólisis de las sustancias de reserva, lo que da lugar a un metabolismo muy activo (respiración y síntesis de proteínas) por parte de la semilla.



También debe añadirse que durante la imbibición hay una rápida e inmediata salida de solutos y metabolitos de bajo peso molecular (azúcares, ácidos orgánicos, iones, aminoácidos, péptidos, etc.) al medio circundante, la cual puede ser retrasada o inhibida por la presencia de azúcares o proteínas.

La magnitud de esta fase está determinada por tres factores: composición química de la semilla, permeabilidad de la envuelta seminal y disponibilidad de agua en el medio (RODRÍGUEZ, 2003).

### 3.2.3.2 Fase II o fase lag

**Activación del metabolismo y proceso de respiración, síntesis de proteínas y movilización de sustancias de reserva:** Las semillas contienen cantidades relativamente importantes de reservas alimenticias, que mantienen el crecimiento y el desarrollo de la plántula hasta que ésta es capaz de alimentarse por sí misma. Estas reservas se encuentran en su mayor parte, aunque no exclusivamente, formando cuerpos intracelulares que contienen lípidos, proteínas, carbohidratos y compuestos inorgánicos. En las leguminosas, por ejemplo, las reservas están localizadas en los cotiledones (AZCÓN *et al.*, 2008). Durante el proceso de germinación, en cereales, por ejemplo, las reservas de nutrientes principalmente almidón y cuerpos proteicos son convertidas en compuestos básicos como azúcares simples y aminoácidos que son transportados y oxidados para suplir el crecimiento y la elongación del embrión (RODRÍGUEZ, 2003).

Tras la hidratación de los distintos tejidos que forman la semilla, tiene lugar en ellos una serie de reacciones metabólicas de hidrólisis que transforman las sustancias nutritivas de reserva en moléculas más sencillas y asequibles para el embrión. Estas reacciones son catalizadas por enzimas hidrolíticas específicas, cuya actividad biológica se incrementa notablemente durante el proceso de germinación, en parte por la activación de enzimas preexistentes, pero sobre todo por la síntesis de nuevas moléculas enzimáticas. Los glúcidos y los lípidos son, generalmente, las fuentes más importantes de la energía que necesitará el embrión para iniciar su desarrollo, aunque en las semillas de algunas especies, las proteínas juegan un papel fundamental (RODRÍGUEZ, 2003).



#### a) Glúcidos

El almidón es la principal reserva energética para la mayoría de las semillas. En el proceso de degradación del almidón en moléculas de glucosa intervienen varias enzimas, entre los que destaca la  $\alpha$ -amilasa. La degradación del almidón se incrementa progresivamente durante el proceso de germinación, primero lentamente, y luego de una forma más rápida que termina con la práctica desaparición del polisacárido (RODRÍGUEZ, 2003).

#### b) Proteínas

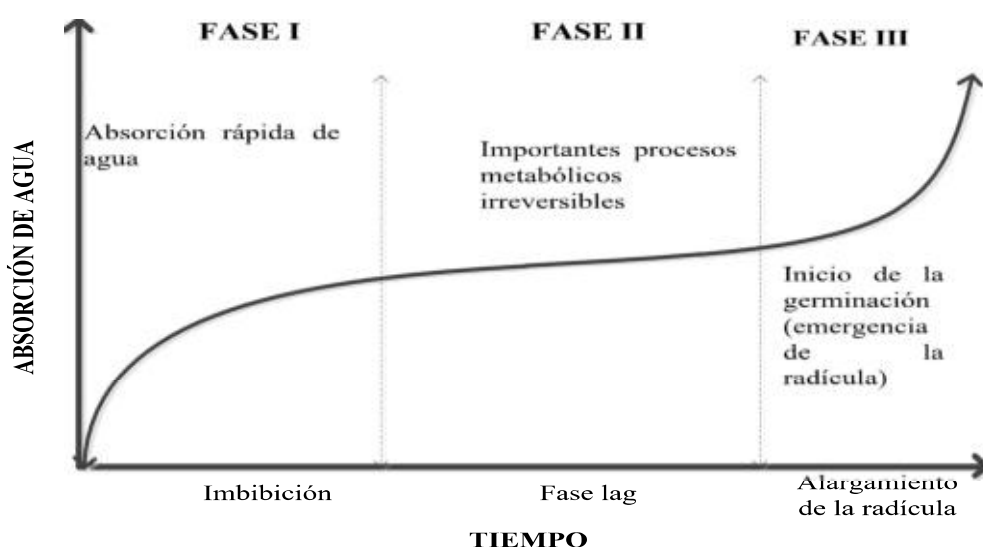
En algunas semillas, las proteínas constituyen la principal fuente de reserva energética. Las enzimas que hidrolizan las proteínas hasta aminoácidos libres son proteasas. En los granos de los cereales las proteínas de reserva están localizadas en los gránulos de la aleurona, acumulados, a su vez, en una capa de células que rodea al endospermo (capa de aleurona) y en las leguminosas en el cotiledón (RODRÍGUEZ, 2003)

#### 3.2.3.3 Fase III:

**Elongación del embrión y ruptura de la testa a través de la cual se observa la salida de la radícula:** La emergencia radicular marca el fin de la germinación y el comienzo del crecimiento de la plántula.

En la Figura 1 se observa la curva de la germinación de cereales, granos, leguminosas y otros alimentos.





**Figura 1 — Etapas de la germinación**

Extraído de RODRIGUEZ (2003)

### 3.2.4 Cambios nutricionales ocurridos durante la germinación

Cada vez más está extendido el proceso de germinación aplicado a las semillas de leguminosas, como proceso natural para obtener alimentos saludables, que son bien asimilados por el organismo al tener gran contenido de agua, vitaminas y minerales.

El proceso de remojo de las semillas y seguido del germinado, involucran una serie de cambios fisicoquímicos, como por ejemplo la producción de compuestos más simples a partir de las proteínas y carbohidratos de almacenamiento debido a la intensa actividad metabólica que experimenta la semilla. Estos cambios traen como consecuencia la reducción de los factores antinutricionales, el incremento en la digestibilidad de las proteínas y los carbohidratos, la biodisponibilidad de los minerales y el incremento del contenido de las vitaminas (SINGH *et al*, 2015).

En general el proceso de germinación mejora la calidad nutricional de las legumbres, no sólo por la reducción de los componentes antinutritivos, sino también por el aumento de los aminoácidos libres, carbohidratos aprovechables, fibra alimentaria y otros componentes (ZIELINSKI *et al* , 2006) y aumenta la funcionalidad de las semillas debido al aumento de determinados compuestos bioactivos (FERNÁNDEZ *et al*. 2003).

Durante este proceso el almidón va siendo modificado, transformado y en un momento determinado aumentará el almidón digerible, por lo que se podría deducir que la germinación mejora la disponibilidad del almidón.

Investigaciones realizadas sobre semillas de guisantes demuestran que el proceso de germinación tiende a modificar la estructura de los polisacáridos, afectando posiblemente a la integridad de los tejidos y provocando la ruptura de las asociaciones proteínas-carbohidratos. Esto implicaría una considerable síntesis de pared celular y, por tanto, un aumento y modificación de la fibra alimentaria y en consecuencia de sus propiedades físico-químicas y efectos fisiológicos (CABREJAS *et al.*, 2008). Los incrementos observados en el contenido de fibra alimentaria de semillas germinadas pueden ser debidos a una mayor solubilización de sustancias pécticas, que presentan una estructura ramificada y son más susceptibles de sufrir una ruptura durante este proceso (COSTA *et al.*, 2006).

En cuanto a los niveles de grasa se produce un aumento en harinas de leguminosas, debido a la actividad fotosintética que ejercen los cotiledones del producto germinado (OSMAN, 2007).

Se ha determinado que la cantidad de aminoácidos solubles cambia durante la germinación y también ocurre una movilización de las proteínas de almacenamiento en las leguminosas. SATHE *et al* (1983) observaron que la germinación por 5 días aumenta la cantidad de aminoácidos solubles de *Phaseolus vulgaris* en más de 3 veces con respecto al control (semillas no germinadas). Después de 6 días de germinación se observó un incremento en la cantidad de todos los aminoácidos en *Lens culinaris*, pero en particular con el aminoácido asparagina, cuyo aumento fue de 23 veces más con respecto al control, mientras que en *Phaseolus vulgaris* el contenido de asparagina se duplicó con respecto al control (DAVILA *et al.*, 2003).

Otra ventaja atribuida a la germinación es su efecto reductor sobre otros compuestos (SATHE *et al.*, 1983). Después de 3 días de germinación, la composición de carbohidratos solubles cambió en *Pisum salivan* debido a la acción de  $\alpha$ -galactosidasa. La concentración de glucosa y fructosa en *Lens culinaris* y *Phaseolus vulgaris* aumentó luego de 6 días de germinación y los  $\alpha$ -galactósidos fueron removidos (DAVILA *et al.*, 2003).



Por otro lado, el tiempo y las condiciones de germinación tales como luz y temperatura son factores determinantes en el desarrollo del olor y sabor en las semillas germinadas (VANDERSTOEP, 1981) y en el contenido de humedad de la semilla germinada. A su vez, la humedad determina cambios físicos y químicos tales como la composición de los carbohidratos solubles, cantidad de fitatos y alcaloides y niveles de vitamina C que modifican el valor nutritivo y el carácter de alimento funcional de las leguminosas (TRUGO *et al.*, 2000)

### **3.2.5 Influencia de la germinación sobre la composición fenólica de las harinas de leguminosas**

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios que incluyen un gran número de sustancias sumamente heterogéneas que se caracterizan por poseer un anillo aromático con al menos, una sustitución hidroxilo y una cadena lateral funcional. Estos compuestos están presentes en casi todos los tejidos de las plantas, presentándose en estado libre o unido a hidroxilácidos y azúcares.

Las legumbres poseen diferentes tipos de compuestos fenólicos que varían dependiendo no sólo de la especie sino también de la variedad. Entre este grupo de compuestos los que más se han estudiado en leguminosas son los taninos condensados o proantocianidinas, que hasta hace pocos años eran considerados antinutrientes debido a su facilidad para combinarse con proteínas, produciendo un aprovechamiento deficiente de dichos nutrientes (BARTOLOMÉ *et al.*, 2000).

El efecto de la germinación sobre el perfil fenólico lo modifica de forma diferente dependiendo del tipo de leguminosa que se trate. En compuestos de tipo flavonoideo se han observado cambios más importantes, destacando la formación de glicósidos de flavonoles en judías y la disminución de proantocianidinas en lentejas (HERNÁNDEZ *et al.*, 2006). En lentejas también se observa un aumento de los compuestos hidroxinámicos y una cierta disminución de los hidroxibenzoicos (HERNÁNDEZ *et al.*, 2006). Los cambios metabólicos observados están afectados por las condiciones de germinación, como luz y días de germinación. De esta forma estos autores observaron que la actividad antioxidante se reduce en el sexto día de germinación.



La gran variación en cuanto al comportamiento de los componentes fenólicos podría ser explicada por el complejo metabolismo bioquímico de las semillas durante el proceso germinativo (DUEÑAS *et al.*, 2009).

Las enzimas endógenas de las leguminosas se activan durante la germinación provocando diferencias en las variaciones de la composición química de judía y lenteja. Dichas enzimas, como las hidrolasas y polifenoloxidasas están directamente relacionadas con los compuestos fenólicos ya que su actividad aumenta durante la germinación, aunque de una manera diferente, dependiendo del tipo de leguminosa (RAO *et al.*, 1987).

Actualmente interesa incrementar el perfil de compuestos fenólicos en los alimentos por su importancia como compuestos bioactivos, poseen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antimutagénicas, anticancerígenas, antibacterianas, etc. y por su capacidad para modificar las funciones de algunas enzimas celulares clave.

Estudios epidemiológicos han establecido la relación entre el alto consumo de frutas y verduras y la prevención de enfermedades, debido a la presencia de compuestos bioactivos entre los que destacan la vitamina C, vitamina A, carotenoides y polifenoles, considerados agentes reductores que protegen a los tejidos del estrés oxidativo.

### **3.2.6 Influencia de la germinación sobre la capacidad antioxidante de las harinas de leguminosas**

Los compuestos fenólicos se incluyen principalmente en la categoría de captadores de radicales libres, aunque también pueden ejercer su acción antioxidante a través de otros mecanismos, como quelantes de iones metálicos que catalizan reacciones de oxidación (URSINI *et al.*, 1999). El efecto protector de estos compuestos está basado en la hipótesis de que los radicales libres, producidos durante los mecanismos de oxidación, están involucrados en los procesos de muchas enfermedades, por lo que los antioxidantes pueden actuar previniendo o retrasando su formación.



Recientemente hay un gran interés sobre la posible influencia de los antioxidantes en diversas enfermedades. Estudios epidemiológicos muestran que una correlación entre el consumo de alimentos ricos en compuestos fenólicos y un riesgo reducido de enfermedades cardiovasculares y de ciertos tipos de cáncer, mediante la protección de las lipoproteínas de baja densidad (LDL) frente a la oxidación y la reducción de la agregación plaquetaria (SHAHIDI, 2002).

Se conoce la importancia de los alimentos vegetales, especialmente de los frutos, como principales fuentes de compuestos fenólicos y consecuentemente de actividad antioxidante. En este sentido, actualmente se reconocen a las legumbres como fuentes de antioxidantes naturales (DUEÑAS *et al.*, 2009).

Diversos autores han estudiado la actividad antioxidante en distintos extractos de legumbres y sometidas a diferentes procesos tecnológicos, encontrando actividades antioxidantes mayores que los esperados en leguminosas, debido posiblemente a la fracción mayoritaria de flavonoides que presentan estos vegetales (HERNÁNDEZ *et al.*, 2006).

Según BOEKEL *et al* (2010), la capacidad antioxidante es un índice que describe la habilidad de los antioxidantes presentes en los alimentos para barrer los radicales libres previamente formados. Además de ser importante desde un punto de vista nutricional, la capacidad antioxidante de un ingrediente alimenticio también es importante desde la perspectiva de ofrecer estabilidad a los alimentos, como los efectos frente a la oxidación de alimentos que a menudo conduce a sabores inaceptables, colores, o la pérdida de nutrientes (DAVIS *et al.*, 2010).

ANTOLOVICH *et al*, (2002) indica que la capacidad antioxidante no puede ser medida directamente, sino más bien mediante los efectos de los antioxidantes en el control del grado de oxidación.

Los métodos para medir la capacidad antioxidante están básicamente clasificados en dos grupos, dependiendo del mecanismo de reacción: métodos basados en la transferencia del átomo de hidrógeno (TAH) y métodos basados en la transferencia de electrones (TE) HUANG *et al.* (2005); citados por ZULUETA *et al* (2009). La mayoría de los ensayos basados en la TAH aplican un esquema competitivo, en el que el antioxidante y el sustrato compiten por los radicales peroxilo generados térmicamente a través de la descomposición de compuestos azo.



Los ensayos basados en la TE miden la capacidad de un antioxidante en la reducción de un oxidante, que cambia de color cuando es reducido.

La intensidad del cambio de color está correlacionada con las concentraciones de antioxidantes en la muestra. Los ensayos de capacidad antioxidante equivalente Trolox (ABTS) y capacidad antioxidante del radical oxígeno (ORAC) son los más métodos más usados en TE y TAH, respectivamente (ZULUETA *et al.*, 2009).

### **3.2.7 Influencia de la germinación sobre las propiedades funcionales de las harinas de leguminosas**

Las propiedades funcionales son propiedades físico-químicas que proporcionan información sobre cómo un ingrediente en particular podría comportarse en una matriz alimentaria. Desempeñan un papel destacado durante la preparación, elaboración y almacenamiento de los alimentos y a su vez, se correlacionan con las propiedades sensoriales. Dichas propiedades se establecen por la composición y estructura molecular de los componentes individuales, como carbohidratos y proteínas y de las interacciones que se establecen entre ellos (KINSELLA, 1976). Entre las propiedades funcionales destacan aquellas que están relacionadas con el agua, ya que desarrollan un papel importante en los principales cambios que tienen lugar durante el procesado de alimentos. Por lo tanto, se puede decir que las propiedades de hidratación, entre las que destacan la capacidad de absorción de agua y la capacidad de retención de agua, influyen directamente en las características que conforman la matriz del alimento.

## **3.3 Marco conceptual**

- a) **Proteína:** Polímeros lineales formados por moléculas de aminoácidos. Están compuestos por carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y entre otros elementos destaca el azufre.
- b) **Aminoácidos:** Monómeros de las proteínas. Se caracterizan por poseer en su molécula un grupo carboxilo, un grupo amino y una cadena lateral R, unidas mediante enlaces covalentes a un átomo.



- c) **Valor biológico:** VB, BV, biological value, método biológico utilizado para medir la calidad de una proteína. Es la relación entre el nitrógeno retenido y el absorbido por los animales del laboratorio.
- d) **Emulsionante:** Sustancia que ayuda en la mezcla de dos sustancias que normalmente son poco miscibles o difíciles de mezclar. De esta manera al añadir este emulsionante, se consigue formar una emulsión. Se denomina así también a los aditivos alimentarios encargados de facilitar el proceso de emulsión de los ingredientes
- e) **Emulsión:** Líquido de aspecto lácteo que contiene en suspensión pequeñas partículas o gotas de otra sustancia insolubles en aquel.
- f) **Estabilidad:** Propiedad de un cuerpo de mantenerse en equilibrio estable o de volver a dicho estado tras sufrir una perturbación.
- g) **Solubilidad:** Capacidad de una sustancia o un cuerpo para disolverse al mezclarse con un líquido.
- h) **Absorción:** Acción de absorber. Retención de una sustancia por las moléculas que posee otro bien sea en estado líquido o gaseoso.
- i) **Ácido fítico:** Ácido orgánico que contiene fósforo, presente en los vegetales, sobretodo en semillas de leguminosas.
- j) **Quelante:** Producto químico que tiene la propiedad de combinarse con los iones positivos bivalentes y trivalentes, formando complejos estables, desprovistos de toxicidad y eliminables a través de la orina.
- k) **Propiedades funcionales:** Son propiedades no nutricionales que influyen en el comportamiento de algunos componentes de un alimento. Es el conjunto de propiedades físicas, químicas y organolépticas que determinan la estructura, calidad tecnológica, nutricional y aceptabilidad de un producto alimentario. Las propiedades funcionales



dependen de un gran número de criterios que son variables según el producto, entre ellos tenemos la solubilidad, adsorción y retención de agua, poder espumante, cohesión y adherencia, elasticidad, viscosidad y reificación, adsorbabilidad de grasas o de partículas extrañas, retención de gas, etc.

- l) Fenoles:** Compuestos que contienen por lo menos un ciclo bencénico en su composición.
- m) Biodisponibilidad:** Es el grado en el que un aminoácido o cualquier otro nutriente esencial es absorbido y puede ser metabolizado.
- n) Germinados:** Se denomina germinado a cualquier semilla cuyo metabolismo es estimulado por el contacto con el agua, el aire y el calor. Los cereales germinados tienen un mejor valor nutritivo que los granos crudos. Esto es debido a que la activación de los sistemas enzimáticos degrada a las proteínas y carbohidratos haciéndolos más digestibles. Durante la germinación aumenta el contenido y biodisponibilidad de ciertos nutrientes, se hidroliza parcialmente el almidón y la proteína.
- o) Hinchamiento:** Aumento de volumen que experimentan ciertas sustancias amorfas por absorción de líquidos, como el agua.



## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA**

#### **4.1 Tipo y nivel de investigación**

El tipo de investigación del presente trabajo de acuerdo a la naturaleza de los datos corresponde a cuantitativo y de acuerdo a los factores de estudio es de tipo experimental. De acuerdo al nivel de investigación es explicativo.

#### **4.2 Diseño de la investigación**

Se comparó una muestra patrón (sin germinar) con los diversos tratamientos germinados a diferentes condiciones mediante un diseño completamente aleatorizado (DCA) con un arreglo factorial de  $2 \times 2 \times 2$ . Los factores en estudio tienen dos niveles cada uno, tal y como se puede apreciar en la tabla 5 (tiempo de remojo: 18h y 24h; tiempo de germinado: 24h y 48h; condición de iluminación: ausencia y presencia de luz), haciendo un total 09 tratamientos con tres repeticiones ( $n=3$ ), lo que se traduce en 27 unidades de observación.



**Tabla 5 — Plan de tratamiento de datos**

|                | Factores          |                     |          | Repetición  | Unidades observadas | Variable de respuesta(Y)                                                       |
|----------------|-------------------|---------------------|----------|-------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
|                | Tiempo de remojo  | Tiempo de germinado | Ambiente |             |                     |                                                                                |
| 1              | $t_1=18\text{ h}$ | $T_1=96\text{ h}$   | PL       | 1<br>2<br>3 | 1<br>2<br>3         | $\left. \begin{matrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{matrix} \right\} \mu_1$          |
| 2              | $t_1=18\text{ h}$ | $T_1=96\text{ h}$   | AL       | 1<br>2<br>3 | 4<br>5<br>6         | $\left. \begin{matrix} Y_4 \\ Y_5 \\ Y_6 \end{matrix} \right\} \mu_2$          |
| 3              | $t_1=18\text{ h}$ | $T_2=144\text{ h}$  | PL       | 1<br>2<br>3 | 7<br>8<br>9         | $\left. \begin{matrix} Y_7 \\ Y_8 \\ Y_9 \end{matrix} \right\} \mu_3$          |
| 4              | $t_1=18\text{ h}$ | $T_2=144\text{ h}$  | AL       | 1<br>2<br>3 | 10<br>11<br>12      | $\left. \begin{matrix} Y_{10} \\ Y_{11} \\ Y_{12} \end{matrix} \right\} \mu_4$ |
| 5              | $t_2=24\text{ h}$ | $T_1=96\text{ h}$   | PL       | 1<br>2<br>3 | 13<br>14<br>15      | $\left. \begin{matrix} Y_{13} \\ Y_{14} \\ Y_{15} \end{matrix} \right\} \mu_5$ |
| 6              | $t_2=24\text{ h}$ | $T_1=96\text{ h}$   | AL       | 1<br>2<br>3 | 16<br>17<br>18      | $\left. \begin{matrix} Y_{16} \\ Y_{17} \\ Y_{18} \end{matrix} \right\} \mu_6$ |
| 7              | $t_2=24\text{ h}$ | $T_2=144\text{ h}$  | PL       | 1<br>2<br>3 | 19<br>20<br>21      | $\left. \begin{matrix} Y_{19} \\ Y_{20} \\ Y_{21} \end{matrix} \right\} \mu_7$ |
| 8              | $t_2=24\text{ h}$ | $T_2=144\text{ h}$  | AL       | 1<br>2<br>3 | 22<br>23<br>24      | $\left. \begin{matrix} Y_{22} \\ Y_{23} \\ Y_{24} \end{matrix} \right\} \mu_8$ |
| Muestra patrón |                   |                     |          | 1<br>2<br>3 | 25<br>26<br>27      | $\left. \begin{matrix} Y_{25} \\ Y_{26} \\ Y_{27} \end{matrix} \right\} \mu_9$ |

### 4.3 Población y muestra

Se consideró como universo y/o población de estudio a toda la producción de basul (*Erythrina edulis*) proveniente de la comunidad de Cruzpata, distrito de Lambrama, provincia de Abancay, departamento de Apurímac.

Las muestras fueron obtenidas mediante un muestreo estratificado al azar, el cual consistió en recolectar los frutos con las siguientes características: estado de madurez óptimo con una máxima coloración marrón, de tamaño homogéneo y sano.

Una vez recolectados los frutos con estas características se tomó diez kilos de muestra al azar, las que fueron lavadas, desinfectadas, germinadas, secadas y llevadas a la molinera para obtener harina de basul germinado.

### 4.4 Procedimiento

#### 4.4.1 Germinado de semillas de basul

Los frutos de basul en su estado de madurez fisiológica fueron recolectados de la comunidad de Cruzpata, distrito de Lambrama. La materia prima (basul) fue transportada hacia los laboratorios de la Universidad. En el Laboratorio de Panificación se prosiguió a realizar una selección separando los granos defectuosos, granos quebrados, con daños físicos, granos infestados, etc., para la germinación. Luego de contar con la suficiente cantidad de materia prima se trasladó a un envase para su lavado respectivo en agua potable y así eliminar los demás restos orgánicos adheridos al basul.

Las semillas fueron desinfectadas en una solución de hipoclorito de sodio a 25ppm por 10 min. Para el proceso de remojo y germinado se utilizó un diseño completamente aleatorizado con un arreglo factorial de 2x2x2. Se utilizó dos niveles del tiempo de remojo (18h y 24h) y para el germinado, dos niveles de tiempo (96h y 144h) y dos niveles de las condiciones de iluminación (presencia y ausencia de luz). Para el remojo de los frutos se añadió agua destilada dentro de las bandejas de acero inoxidable. Después se escurrió el exceso de agua y se cubrió con láminas de polietileno de baja densidad y se dejaron germinar. Las condiciones de oscuridad fueron generadas en una cámara de fermentación bien cubierta. En caso de que cada semilla lo haya requerido se humectó diariamente con agua para mantener tanto la humedad del medio como la hidratación de la semilla.



Para la determinación del porcentaje de semillas viables se empleó 40 granos de basul, las cuáles fueron sometidas a las operaciones anteriormente descritas. Al culminar con el proceso de germinado se hizo un recuento de los granos germinados y sin germinar y se determinó el porcentaje de semillas viables de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$SV = \frac{\text{Número de granos germinados}}{\text{Total de granos de basul}} * 100$$

**Donde**

SV: semillas viables

#### **4.4.2 Obtención de la harina de basul germinado (*Erythrina edulis*)**

Para la obtención de la harina de basul germinado se siguió la secuencia mostrada en la Figura 2, el cual incluye la obtención de las semillas germinadas de basul.

Los granos germinados fueron secados en una estufa de aire por convección forzada MEMMERT a 60°C por 15h, seguidamente fueron molidos manualmente y pasados por un tamizador eléctrico RETSCH AS200 y almacenados en envases de plástico para los análisis respectivos.



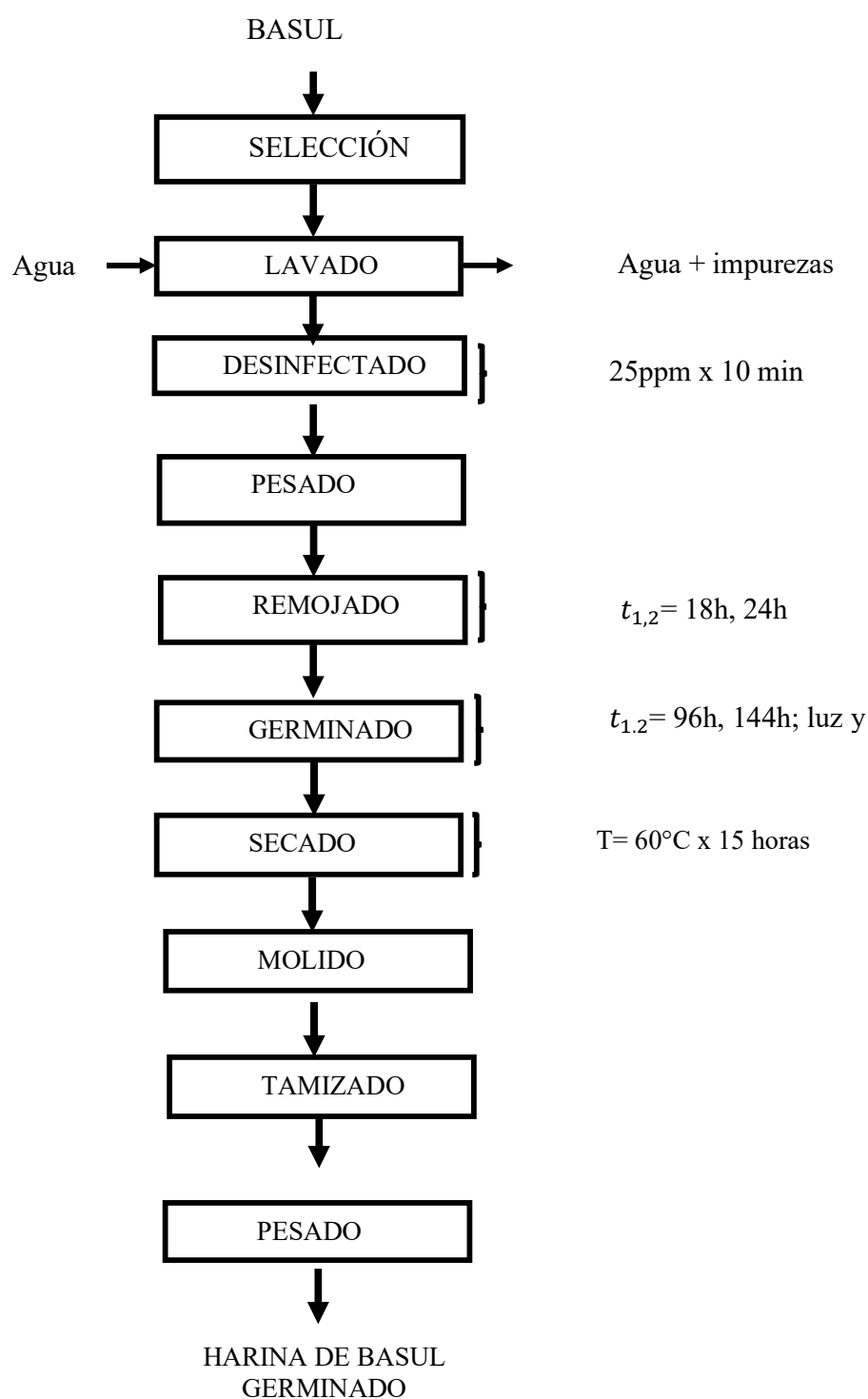


Figura 2 — Flujo de operaciones para el germinado de semillas de basul (*Erythrina edulis*)

#### **4.4.3 Determinación del contenido de los valores nutricionales de la harina de basul germinado**

El valor nutricional de la harina de basul germinado comprende tanto el análisis proximal (contenido en proteína total, grasa, fibra y cenizas) como la digestibilidad *in vitro* de la proteína.

##### **4.4.3.1 Análisis proximal**

Para la determinación de estos valores las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) de la Universidad Nacional Agraria La Molina. El laboratorio al cual se envió las muestras aplicó las metodologías de la Association of Official Analytical Chemists AOAC (2005) (Anexo 12).

AOAC (2005), 984.13; Proteína total (N x 6,25)

AOAC (2005), 2003.05; Grasa

AOAC (2005), 962.09; Fibra

AOAC (2005), 942.05; Cenizas

##### **4.4.3.2 Digestibilidad *in vitro* de la proteína**

La digestibilidad *in vitro* de la proteína se determinó por el método multienzimático pH variable, siguiendo la metodología descrita por HSU *et al* (1977).

Se preparó una solución multienzimática con 4,7mg de pepsina de mucosa gástrica porcina (SIGMA: 3200-4500 units/mg) y 1,3mg de pancreatina de páncreas porcina (SIGMA: 4xUSP) /ml de agua destilada. Luego esta solución fue mantenida en refrigeración. Se tomó 5ml del sistema de enzimas y se adicionó a 5 ml de suspensión de harina (6,25mg de proteína/ml de agua destilada), se ajustó el pH a 8.0 con HCl (0.1N) o NaOH (0.1N) y se incubó en el equipo de baño maría a 37°C. La mezcla fue agitada y el cambio de pH fue medido después de 10 min.



La digestibilidad *in vitro* de la proteína fue calculado usando la siguiente ecuación:

$$Y = 210,46 - 18,10X$$

**Donde**

X, es el pH de la suspensión proteica luego de 10 min de digestión con el sistema multienzimático; Y, es el porcentaje de hidrólisis de la proteína.

#### **4.4.3.3 Determinación de los compuestos bioactivos**

Fueron determinadas el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante ABTS y DPPH de la harina de basul germinado y sin germinar. Esta prueba se desarrolló en las instalaciones del Laboratorio de Físicoquímica de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

##### **a) Contenido de compuestos fenólicos totales**

El contenido de compuestos fenólicos totales, fue determinado por el método de Folin – Ciocalteau, conforme a lo reportado por SINGLETON *et al*, (1965) citado por ZULUETA *et al*, (2009). Los resultados se expresaron como mg de ácido gálico equivalente (AGE) por 100g m.s (materia seca).

Se ha preparado los reactivos: a) metanol al 80%, mediante la adición de 400ml de metanol en una fiola de 500ml, luego aforado con agua destilada; b) solución de carbonato de sodio al 7,5% (g/l); c) reactivo de Folin-Ciocalteu 1N, con 1000μl de reactivo Folin y 1000μl de agua destilada, la misma que fue agitada en vórtex y almacenado en un frasco ámbar.

Se obtuvo el extracto fenólico de las diferentes muestras, para ello se pesó 0,5g de harina de basul germinado en un tubo de centrifuga de 50ml y se mezcló con 10ml de metanol al 80%, se agitó por 30s en un vórtex y se dejó reposar por 24h a 4°C bajo oscuridad. Culminado este tiempo se centrifugó a 4 000rpm por 15 min. Después, el sobrenadante fue separado y se anotó el volumen obtenido. El extracto se guardó en frascos ámbar a -20°C en oscuridad para los análisis posteriores.



En tubos de vidrio protegidos de la luz, se colocaron 500µl del extracto, 250µl del reactivo Folin Ciocalteau 1N, 8ml de agua destilada y 1250µl de la solución de carbonato de sodio. El conjunto se homogenizó en un vórtex, se dejó reposar por espacio de 30 min en oscuridad y luego se procedió a leer la absorbancia en un espectrofotómetro UV-VIS a la longitud de onda de 755nm. Se corrió un blanco empleando 500µl de agua destilada en lugar de la muestra.

El contenido de compuestos fenólicos totales se calculó a través de una curva estándar determinada a 755nm, la cual tiene la siguiente ecuación:

$$y = 4,7179x - 0,0085$$

**Donde**

y, es la absorbancia; x, miligramos de ácido gálico equivalente (AGE) por mililitro.

#### **b) Capacidad antioxidante**

- **Método DPPH (2,2 difenil-i-picrilhidrazilo)**

Luego se prosiguió a medir la capacidad antioxidante de las muestras empleándose directamente el extracto fenólico de la harina de basul germinado preparado anteriormente. Se preparó la reacción en tubos de vidrio para ello se tomó 2850µl del radical DPPH y se añadió a 150µl de extracto fenólico de la harina de basul germinado. Se agitó en un vórtex ROHS FY1203000 por 30s y se dejó en oscuridad a temperatura ambiente por 30 min, luego se prosiguió a la medida de su absorbancia a 515nm en un espectrofotómetro GENESYS 20. Todas las medidas se realizaron por triplicado.



- **Método ABTS {ácido 2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico)}**

Se siguió como referencia al método descrito por SAMANIEGO *et al* (2007). Se preparó el reactivo A o disolución ABTS con 78,4mg de ABTS que fueron disueltas en agua destilada y se aforó en una fiola de 10ml y para el reactivo B se disolvió 13,2mg de persulfato de potasio en agua destilada y se aforó en una fiola de 10ml. También se preparó la solución madre ABTS mezclando volúmenes iguales del reactivo A y del reactivo B (1,5ml) y se dejó reposar por 12h a 4°C en condiciones de oscuridad. Transcurrido este tiempo se preparó la solución de trabajo ABTS para ello se diluyó la solución madre ABTS y el metanol puro en una relación de 1:60. Para 120ml de metanol se empleó 2ml de solución madre ABTS. Luego se llevó a una absorbancia de  $1,1 \pm 0,02$  ajustando con metanol puro a 734nm. Se midió la capacidad antioxidante de las muestras, previamente se preparó la reacción en los tubos de vidrio para ello se tomó 150µl de muestra (extracto fenólico de harina de basul germinado) y se añadió 2850µl de ABTS. Posteriormente, se mezcló bien durante 30s y se midió en un espectrofotómetro GENESYS 20 la absorbancia a 734nm a los 30 min. Todas las medidas se realizaron por triplicado.



#### 4.4.3.4 Propiedades funcionales de la harina de basul germinado

Las propiedades funcionales fueron determinadas conforme a la metodología descrito por VILCANQUI *et al* (2018) para un tamaño de malla igual a 150µm. Los procedimientos para cada análisis se describen a continuación:

##### a) Solubilidad en agua (SA)

La SA se determinó acorde a las metodologías propuestas por ZHANG *et al* (2009) y CHEN *et al* (2014). La harina de basul germinada fue mezclada con agua destilada al 1%(p/v) y calentada a 90°C por 30 min en un baño de agua con agitación MEMMERT. La solución se enfrió a temperatura ambiente y se centrifugó a 3000g por 30 min en una centrífuga CENTURION SCIENTIFIC K241. El sobrenadante fue recuperado en un recipiente y secado en una estufa de aire por convección forzada MEMMERT a 105°C por 2h. Los resultados de la solubilidad en agua fueron calculados con la siguiente ecuación y los valores fueron expresados en %.

$$SA = \left( \frac{m_2}{m_1} \right) \times 100$$

##### Donde

$m_1$ , es el peso seco inicial de la muestra (g);  $m_2$ , es el peso seco de la muestra después de la evaporación del agua (g)

##### b) Capacidad de absorción de agua (CAA) y capacidad de retención de agua (CRA)

La CAA y CRA se determinó de acorde al método descrito por MA y MU *et al* (2016). 100mg de harina de basul germinado fueron hidratados con 10ml de agua destilada en los tubos cónicos y se agitaron en un vórtex VWR 230V hasta obtener una mezcla homogénea. Para la CAA, las muestras hidratadas se dejaron a temperatura ambiente por una hora y para la CRA se almacenaron a 37°C por 18 h. Al finalizar este tiempo, las muestras fueron centrifugadas a 3000g por 10 min en una centrífuga CENTURION SCIENTIFIC K241 y se eliminó la fase sobrenadante.



Los resultados se calcularon con la siguiente ecuación y fueron expresados en g de agua absorbida o retenida por g de materia seca (g/g).

$$CAA \text{ y } CRA = (m_2 - m_1) / m_1$$

**Donde**

$m_1$ , es el peso seco de la muestra (g);  $m_2$  es el peso de la muestra húmeda (g)

**c) Capacidad de absorción de aceite (CAAC)**

La CAAC se determinó acorde al método descrito por MA y MU *et al* (2016) y REQUENA *et al* (2016). 200mg de muestra fueron pesados en tubos cónicos y se adicionaron 10ml de aceite. Las muestras fueron agitadas en un vórtex hasta obtener una mezcla homogénea y se almacenó por 18h a temperatura ambiente. Al finalizar este tiempo se centrifugó a 3000g por 20 min en una centrífuga CENTURION SCIENTIFIC K241. El aceite sobrenadante en el tubo fue removido. Los resultados se calcularon con la siguiente ecuación y se expresaron en g de aceite absorbido por g de materia seca (g/g).

$$CAAC = (m_2 - m_1) / m_1$$

**Donde**

$m_1$ , es el peso seco de la muestra (g);  $m_2$ , es el peso de la muestra con aceite (g)

**d) Capacidad de hinchamiento (CH)**

La CH fue determinada acorde al método descrito por MA y MU *et al* (2016) y REQUENA *et al* (2016). Se añadió 100mg de muestra a tubos con graduación volumétrica de 0,2ml y se agregó 15ml de agua destilada. Las muestras se agitaron suavemente en un vórtex hasta obtener una mezcla homogénea y se almacenaron por 18h a temperatura ambiente. Los resultados fueron calculados con la siguiente ecuación y expresados en ml de agua por g de materia seca (ml/g).

$$CH = \frac{v_2 - v_1}{m}$$

**Donde:**

$v_1$ , volumen de la muestra seca (ml);  $v_2$ , volumen de la muestra hidratada (ml);  $m$ , peso de la muestra seca (g).



#### 4.5 Técnicas e instrumentos

Para evaluar el efecto de los factores en estudio sobre las medias de las variables de respuesta, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) y la comparación múltiple de medias de Tukey (estadísticamente significativos:  $p < 0,05$ ), con el programa IBM SPSS Statistics versión 20. Al mismo tiempo se estudió el factor activo o significativo de las condiciones de germinado sobre las variables de respuesta a través del diseño factorial  $2^3$  y su respectivo ANOVA.

#### 4.6 Análisis estadístico

Para evaluar el efecto de las condiciones de germinado sobre las características nutricionales, los compuestos bioactivos y las propiedades funcionales de la harina de basul germinado se utilizó el diseño completamente aleatorizado (DCA) con un arreglo factorial de  $2 \times 2 \times 2$  (tiempo de remojo: 18h y 24h; tiempo de germinado: 96h y 144h y condición de iluminación: luz, oscuridad), cuyo modelo estadístico es la siguiente ecuación:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + e_{ijkl}$$

Donde  $y$ , es la variable de respuesta;  $\mu$ , es la media general,  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  son los efectos principales;  $(\alpha\beta)_{ij}$ ,  $(\alpha\gamma)_{ik}$  y  $(\beta\gamma)_{jk}$  son la interacción de dos factores y  $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$  el efecto de la interacción de tres factores.

Los datos fueron expresados como el promedio  $\pm$  desviación estándar (DE) de tres repeticiones ( $n=3$ ).



## **CAPÍTULO V.**

### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

#### **5.1 Análisis de resultados**

##### **5.1.1 Obtención de la harina de basul germinado**

En la tabla 6 se reportan los resultados del porcentaje de semillas viables y del rendimiento del proceso de obtención de harina de basul germinado.

Respecto al rendimiento, el tratamiento 2(18h de remojo, 96h de germinado, oscuridad) presenta el mayor porcentaje en comparación a los demás tratamientos (30,97%) (Figura 3) y en cuanto al porcentaje de semillas viables el tratamiento 8 (24h de remojo, 144h de germinado, oscuridad) presenta el máximo valor (95%) (Figura 4).

##### **a) Rendimiento**

Al realizar el análisis factorial, de acuerdo a los resultados en el Anexo 2(Análisis estadístico) se muestra que de los tres factores utilizados el efecto de la variable “tiempo de germinado” influye en mayor grado en el rendimiento de la obtención de harina de basul germinado.

La figura 5A refleja el comportamiento de los factores tiempo de remojo y tiempo de germinado sobre el rendimiento de la obtención de harina de basul germinado cuando las semillas son germinadas en condiciones de luz. Su interpretación nos indica que al variar el tiempo de germinado de 96h a 144h se produce un aumento en el rendimiento de 2,53% si el tiempo de remojo es 24h y lo hace disminuir en un 2,8% cuando el tiempo de remojo es de 18h.

En cambio, cuando las semillas son germinadas en condiciones de oscuridad y por tiempos variantes de 96h y 144h se produce un descenso en el rendimiento equivalente a un 4,32% y .0,05%, cuando el tiempo de remojo es de 18h y 24h, respectivamente (figura 5B).



b) Porcentaje de semillas viables

Al realizar el análisis factorial, de acuerdo a los resultados en el Anexo 2 (Análisis estadístico) se muestra que de los tres factores utilizados el efecto de la variable “tiempo de germinado” influye en mayor grado en el porcentaje de semillas viables. El otro factor que sigue es la condición de iluminación, lo cual puede apreciarse en el Anexo 3.

En la figura 5C se refleja el comportamiento de los factores en estudio sobre el porcentaje de semillas viables cuando las semillas son germinadas en condiciones de luz. Si se germinan de 96h a 144h, bajo el mismo tiempo de remojo igual a 18h y 24h se produce un incremento del porcentaje de semillas viables igual a 0,84% y 20,83%, respectivamente.

Este mismo comportamiento también se observa cuando las semillas son germinadas en condición de oscuridad. Si el basul se germina de 96h a 144h, bajo 18h de remojo se produce un incremento igual a 16,66%, de igual manera se observa un incremento de 20,83% cuando se remoja por 24h (Figura 5D).



**Tabla 6 — Porcentaje de semillas viables y rendimiento de los diferentes tratamientos de basul germinado**

| Características de germinación <sup>1</sup> | T1 <sup>2</sup>             | T2                         | T3                         | T4                       | T5                       | T6                        | T7                        | T8                        |
|---------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Semillas viables (%)                        | 83,33± 10,10 <sup>abc</sup> | 76,67± 5,20 <sup>abc</sup> | 84,17± 8,04 <sup>abc</sup> | 93,33± 1,44 <sup>c</sup> | 67,50± 6,61 <sup>a</sup> | 84,17± 6,29 <sup>ab</sup> | 88,33± 7,22 <sup>bc</sup> | 95,00± 2,50 <sup>c</sup>  |
| Rendimiento (%)                             | 29,03± 1,68 <sup>ab</sup>   | 30,97± 1,43 <sup>b</sup>   | 26,23± 0,79 <sup>a</sup>   | 26,65± 1,80 <sup>a</sup> | 26,67 <sup>a</sup>       | 27,50± 1,91 <sup>ab</sup> | 29,20± 0,69 <sup>ab</sup> | 27,45± 1,18 <sup>ab</sup> |

<sup>1</sup> valores son el promedio ±desviación estándar de tres observaciones independientes por tratamiento (n=3)

<sup>bcd</sup> superíndice con diferentes letras dentro de una fila indican diferencias significativas (p<0,05).

<sup>2</sup>T1, 18h de remojo, 96h de germinado, presencia de luz; T2, 18h de remojo, 96h de germinado, ausencia de luz; T3, 18h de remojo, 144h de germinado, presencia de luz; T4, 18h de remojo, 144h de germinado, ausencia de luz; T5, 24h de remojo, 96h de germinado, presencia de luz; T6, 24h de remojo, 96h de germinado, ausencia de luz; T7, 24h de remojo, 144h de germinado, presencia de luz; T8, 24h de remojo, 144h de germinado, ausencia de luz.

\* La harina de basul germinada fue obtenida de aproximadamente 475 g de semilla lavada, entera, con cáscara y con un tamaño de partícula de 0,6 mm.

\*Para el porcentaje de semillas viables se empleó 40 granos de basul.

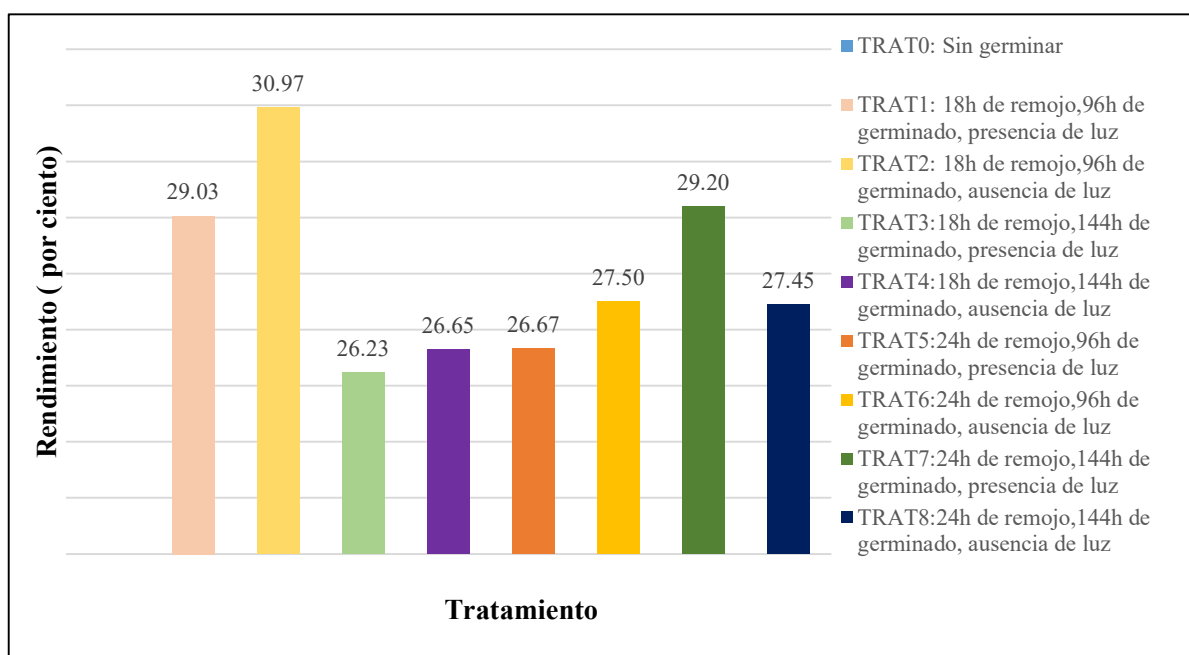


Figura 3 — Rendimiento del proceso a diferentes condiciones de germinado

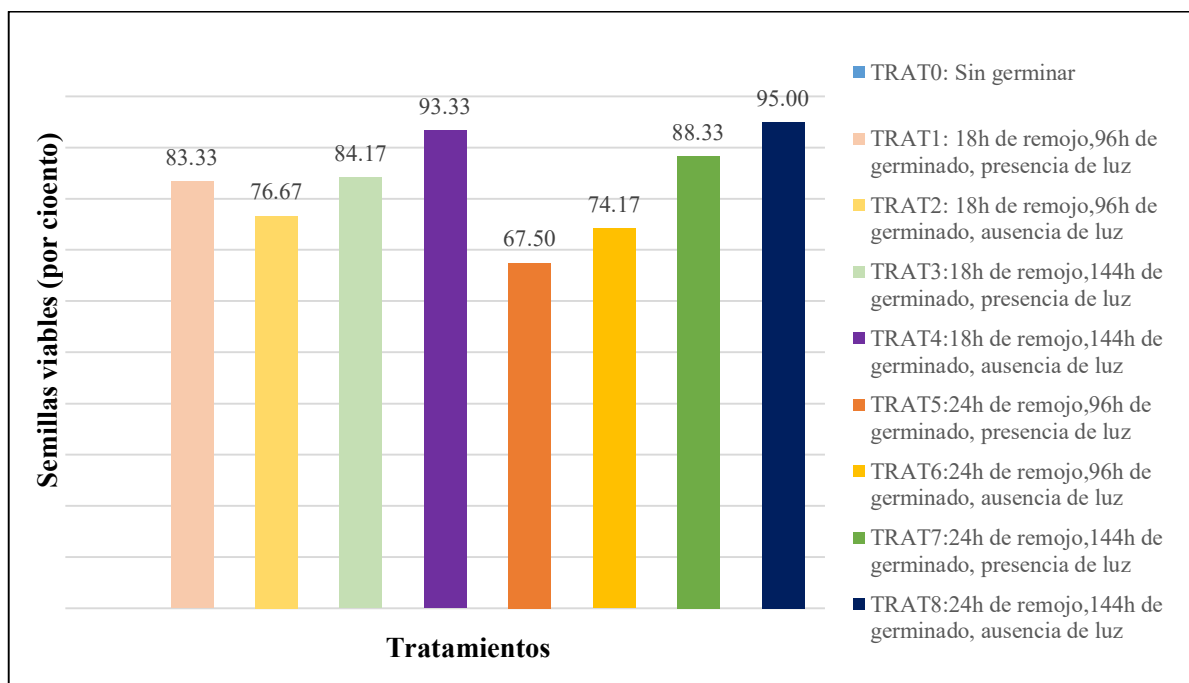
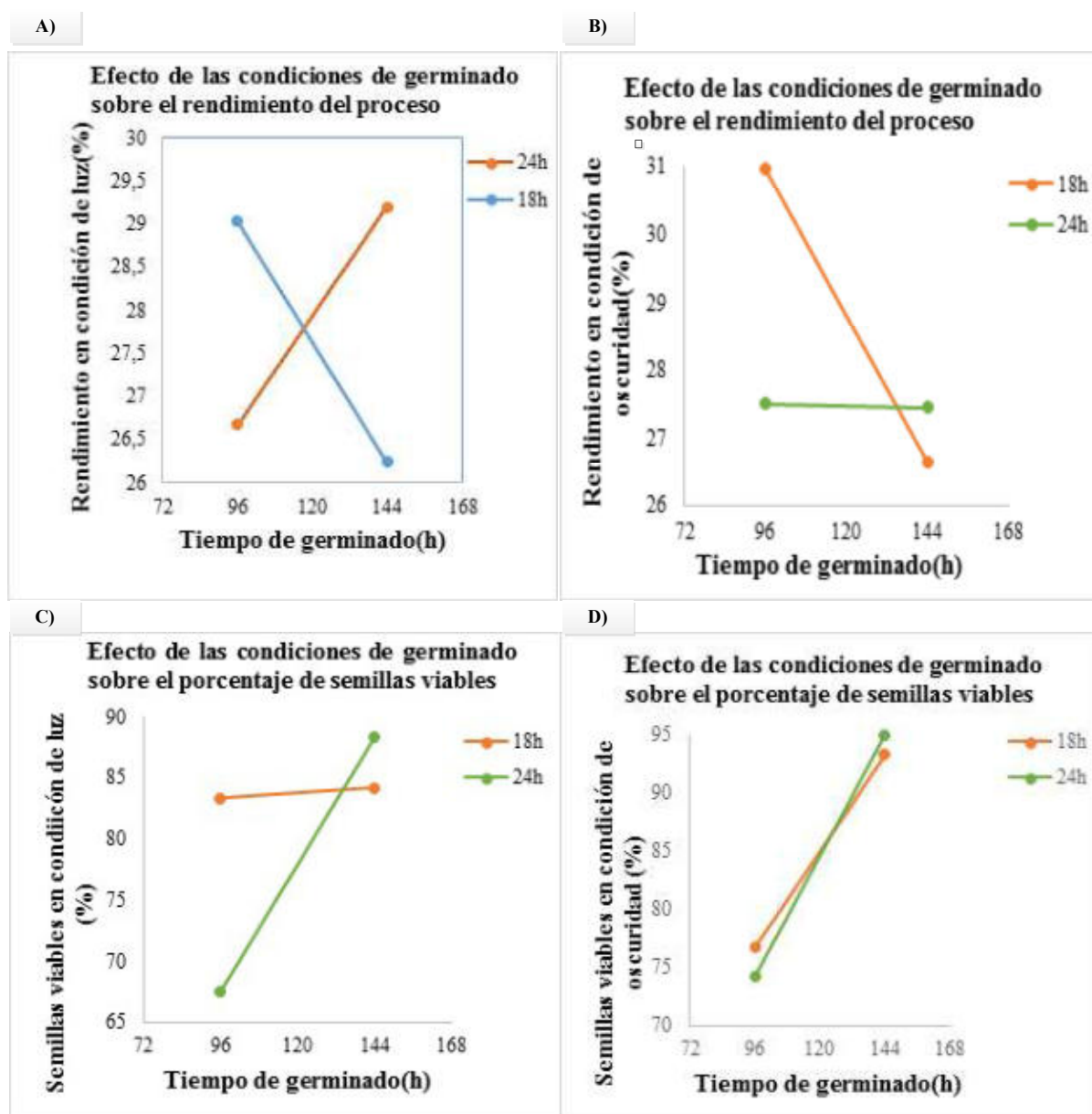


Figura 4 — Porcentaje de semillas viables a diferentes condiciones de germinado



**Figura 5 — Representación de los factores principales para el rendimiento y el factor de germinación**

- A: Efecto de los factores de germinación sobre el rendimiento en condición de luz
- B: Efecto de los factores de germinación sobre el rendimiento en condición de oscuridad
- C: Efecto de los factores de germinación sobre el porcentaje de semillas viables en condición de luz
- D: Efecto de los factores de germinación sobre el porcentaje de semillas viables en condición de oscuridad

### 5.1.2 Efecto de las condiciones de germinado sobre las características nutricionales de la harina de basul germinado

Los valores de proteína total, grasa, fibra cruda, cenizas, extracto libre de nitrógeno y digestibilidad *in vitro* de la proteína de los diferentes tratamientos de basul germinado y sin germinar se muestran en la Tabla 7. Los resultados muestran que no existen diferencias significativas ( $p>0.05$ ) de los componentes nutritivos entre las semillas germinadas a diferentes condiciones y las semillas sin germinar. No obstante, se puede apreciar una ligera disminución en el contenido de proteínas totales con respecto a la muestra testigo de 17,74% (Tratamiento 0, sin germinar) a 16,76% (Tratamiento 7: 24h de remojo, 144h de germinado, luz), equivalente a un descenso de 5,52%.

En el contenido de grasa se aprecia una mejora ligera de dicho componente, de 0,33% (Tratamiento 0, sin germinar) a 0,46% (Tratamiento 7, 24h de remojo, 144h de germinado, luz), equivalente a un aumento de 39,39%. En el caso de los demás componentes (fibra cruda, cenizas y extracto libre de nitrógeno), también se observa el mismo comportamiento, siendo los incrementos iguales a 15,51%, 4,46% y 1,56%, respectivamente.

Respecto a la digestibilidad *in vitro* de la proteína se observa un comportamiento opuesto, ya que existen diferencias significativas entre los diversos tratamientos de semillas germinadas (el tratamiento 2 es significativamente diferente al tratamiento 3, 4 y 5) (Figura 6).

Algunos de los tratamientos (3,4 y 5) presentaron un leve incremento con respecto a la semilla no germinada. El tratamiento que tuvo el mayor incremento en este indicador fue el de 24h de remojo, 96h de germinado y en presencia de luz (tratamiento 5) desde 70,43% (semilla no germinada) hasta 74,83%.

Al realizar el análisis factorial se observa que “el tiempo de remojo” es el factor que tiene mayor efecto sobre el contenido de extracto libre de nitrógeno (carbohidratos) y la interacción del “tiempo de remojo y germinado” influye en la digestibilidad *in vitro* de la proteína. En la Figura 7 se aprecia claramente esta interacción sobre la digestibilidad *in vitro* de la proteína, en particular se observa que, si se trabaja con un tiempo de germinado más alto, prácticamente da lo mismo utilizar cualquiera de los dos tiempos de remojo. Al variar el tiempo de remojo de 18h a 24h y germinar por 96h, se produce un incremento de hasta 12,42% (de 66,56% a 74,83%), lo contrario ocurre cuando se germina por 144h, pues la digestibilidad se reduce de 73,26% (tratamiento 3) a 70,37%(tratamiento7), en condiciones de oscuridad.



Tabla 7 — Componentes nutricionales de la harina de basul sometida a diferentes condiciones de germinado y sin germinar

| Componentes<br>(%b.s.) | Tratamiento              |                          |                         |                          |                         |                         |                          |                          |                          |       |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------|
|                        | T0 <sup>2</sup>          | T1                       | T2                      | T3                       | T4                      | T5                      | T6                       | T7                       | T8                       | p     |
| Proteína total         | 17,74±0,03 <sup>1a</sup> | 17,06±0,40 <sup>a</sup>  | 17,30±0,13 <sup>a</sup> | 17,24±0,26 <sup>a</sup>  | 17,17±0,15 <sup>a</sup> | 17,08±0,51 <sup>a</sup> | 17,30±0,28 <sup>a</sup>  | 16,76±0,70 <sup>a</sup>  | 17,11±0,12 <sup>a</sup>  | 0,431 |
| Grasa                  | 0,33±0,03 <sup>a</sup>   | 0,44±0,19 <sup>a</sup>   | 0,41±0,07 <sup>a</sup>  | 0,37±0,18 <sup>a</sup>   | 0,46±0,11 <sup>a</sup>  | 0,45±0,22 <sup>a</sup>  | 0,41±0,17 <sup>a</sup>   | 0,46±0,13 <sup>a</sup>   | 0,20±0,09 <sup>a</sup>   | 0,441 |
| Fibra cruda            | 5,61±0,8 <sup>a</sup>    | 6,48±1,79 <sup>a</sup>   | 5,38±0,22 <sup>a</sup>  | 5,44±0,16 <sup>a</sup>   | 5,52±0,19 <sup>a</sup>  | 4,98±0,3 <sup>a</sup>   | 4,78±0,26 <sup>a</sup>   | 5,61±0,17 <sup>a</sup>   | 5,21±0,77 <sup>a</sup>   | 0,294 |
| Ceniza                 | 4,71±0,16 <sup>a</sup>   | 4,60±0,14 <sup>a</sup>   | 4,69±0,13 <sup>a</sup>  | 4,82±0,14 <sup>a</sup>   | 4,76±0,21 <sup>a</sup>  | 4,92±0,27 <sup>a</sup>  | 4,84±0,1 <sup>a</sup>    | 4,76±0,19 <sup>a</sup>   | 4,75±0,51 <sup>a</sup>   | 0,498 |
| ELN                    | 71,62±0,62 <sup>a</sup>  | 71,42±1,44 <sup>a</sup>  | 72,22±0,34 <sup>a</sup> | 72,13±0,08 <sup>a</sup>  | 72,08±0,34 <sup>a</sup> | 72,57±0,50 <sup>a</sup> | 72,67±0,35 <sup>a</sup>  | 72,41±1,16 <sup>a</sup>  | 72,74±0,64 <sup>a</sup>  | 0,376 |
| Digestibilidad         | 70,43±0,69 <sup>ab</sup> | 66,56±1,26 <sup>ab</sup> | 64,27±1,74 <sup>a</sup> | 73,26±12,09 <sup>b</sup> | 74,29±1,67 <sup>b</sup> | 74,83±0,84 <sup>b</sup> | 69,34±1,93 <sup>ab</sup> | 70,37±2,35 <sup>ab</sup> | 68,98±1,62 <sup>ab</sup> | 0,107 |

<sup>1</sup> Valores son el promedio ±desviación estándar de tres observaciones independientes por tratamiento (n=3)

<sup>ab</sup> superíndice con diferentes letras dentro de una fila indican diferencias significativas (p<0,05)

<sup>2</sup>T0: sin germinar; T1: 18h de remojo, 96h de germinado, presencia de luz; T2: 18h de remojo, 96h de germinado, ausencia de luz; T3: 18h de remojo, 144h de germinado, presencia de luz; T4: 18h de remojo, 144h de germinado, ausencia de luz; T5: 24h de remojo, 96h de germinado, presencia de luz; T6: 24h de remojo, 96h de germinado, ausencia de luz; T7: 24h de remojo, 144h de germinado, presencia de luz; T8: 24h de remojo, 144h de germinado, ausencia de luz.

ELN (Extracto libre de nitrógeno)

**Tabla 8 — Pruebas de los efectos intersujetos sobre las características nutricionales**

| <b>Factores</b>                  | <b>Proteína</b> | <b>Grasa</b> | <b>Fibra cruda</b> | <b>Cenizas</b> | <b>ELN</b> | <b>Digestibilidad</b> |
|----------------------------------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------|-----------------------|
| Remojo                           | 0,405           | 0,537        | 0,074              | 0,167          | 0,031      | 0,500                 |
| Germinado                        | 0,460           | 0,398        | 0,891              | 0,893          | 0,901      | 0,130                 |
| Iluminación                      | 0,241           | 0,358        | 0,182              | 0,855          | 0,494      | 0,290                 |
| Remojo * Germinado               | 0,359           | 0,504        | 0,113              | 0,061          | 0,782      | 0,011                 |
| Remojo * Iluminación             | 0,534           | 0,167        | 0,726              | 0,688          | 0,996      | 0,461                 |
| Germinado * Iluminación          | 0,771           | 0,679        | 0,415              | 0,779          | 0,442      | 0,334                 |
| Remojo * Germinado * Iluminación | 0,480           | 0,182        | 0,251              | 0,419          | 0,257      | 0,916                 |

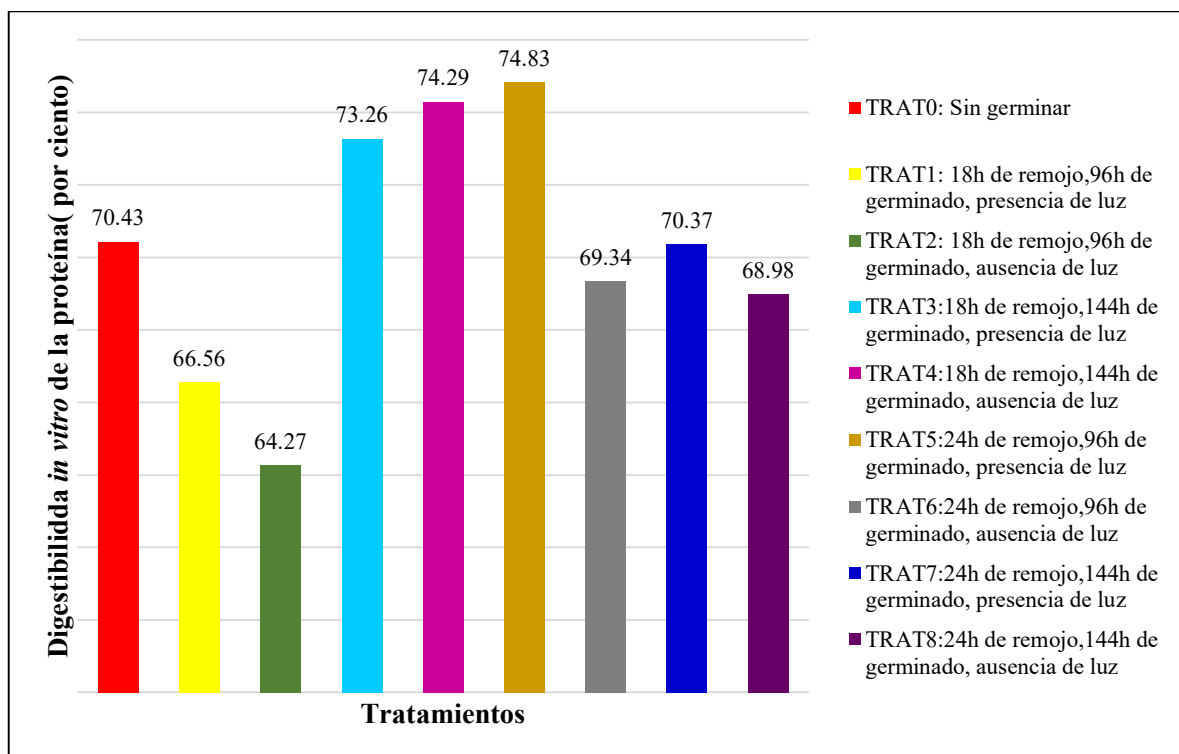


Figura 6 — Digestibilidad *in vitro* de la proteína de las diferentes condiciones de germinado

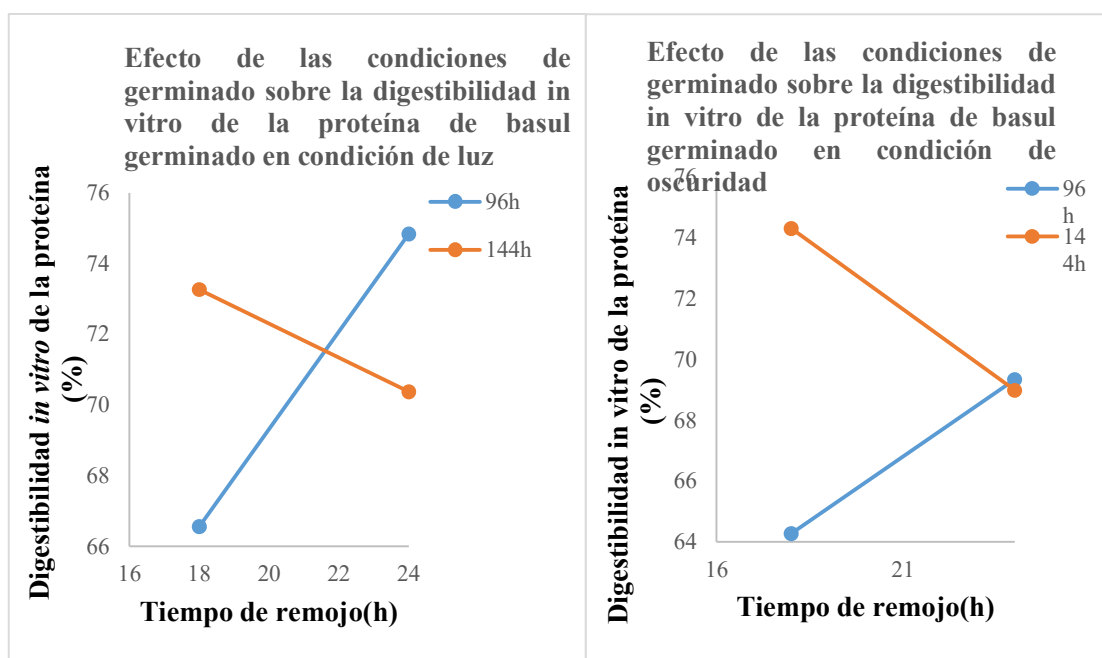


Figura 7 — Representación de los factores principales sobre la digestibilidad *in vitro* de la proteína

### 5.1.3 Efecto de las condiciones de germinado sobre el contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante de la harina de basul germinado

#### 5.1.3.1 Compuestos fenólicos totales

En la Tabla 9 se observa los resultados del contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante DPPH y ABTS de los diferentes tratamientos de basul germinado y sin germinar (muestra control).

En lo que respecta al contenido de compuestos fenólicos totales el tratamiento 8 sometido a 24h de remojo, 144h de germinado y oscuridad presenta el mayor valor (267,15mg AGE/100g de harina de basul germinado, bs) respecto al tratamiento control (241,49mg AGE/100g de harina de basul germinado, bs) (Figura 8). Según pruebas estadísticas utilizadas a un nivel de significancia  $p < 0,05\%$  existen diferencias significativas entre el tratamiento 6 y 8. Entre los tratamientos 0, 1, 2, 3, 4,5 y 7 no existen diferencias estadísticas significativas. Además, se puede apreciar que no existe una tendencia definida en función a los diferentes factores de germinado de la semilla de basul. En algunos de los tratamientos existen incrementos parciales y de pronto una reducción.

Al realizar el análisis factorial, de acuerdo a los resultados en la tabla 10 se muestra que la interacción del “tiempo de remojo y tiempo de germinado” tiene efecto sobre el contenido de polifenoles totales. En las Figuras 11A y 11B se aprecia una interacción importante entre el tiempo de remojo y el tiempo de germinado sobre el contenido de polifenoles totales, en particular se observa que, si se trabaja con un tiempo de germinado más alto, prácticamente da lo mismo utilizar cualquiera de los dos tiempos de remojo. Es así que al germinar las semillas de basul a 96h de germinado, en condición de oscuridad y a diferentes tiempos de remojo 18h y 24h hay una disminución de 25,26% y 17,3%, respectivamente. Por el contrario, si las semillas se someten a 144h de germinado y en condición de oscuridad hay incrementos de 6,95% y 28,99% cuando se remoja por 18h y 24h, respectivamente. El mismo comportamiento se muestra cuando se hace variar el tiempo de remojo de 18h a 24h, en condición de luz y a 144h de germinado, apreciándose un aumento en 6,95%.



### 5.1.3.2 Capacidad antioxidante DPPH y ABTS

#### a) Capacidad antioxidante DPPH

En cuanto a la capacidad antioxidante DPPH no existe diferencia significativa entre los diferentes tratamientos de semillas germinadas y sin germinar (Figura 9), pero, se puede apreciar un aumento ligero de 4,35% con respecto al tratamiento cero (testigo) cuando las semillas son germinadas a 18h de remojo, 144h de germinado, presencia de luz (tratamiento 3) (de 43,46 $\mu$ molTE/g m.s a 45,35 $\mu$ molTE/g m.s).

#### b) Capacidad antioxidante ABTS

Por otra parte, también se observó que el proceso de germinado mejora la capacidad antioxidante ABTS, porque hay un incremento de 13,08% en el tratamiento 2 con respecto al tratamiento testigo (Figura 10). Aparte de ello, al realizar el análisis estadístico correspondiente, existe diferencia significativa entre el tratamiento 2 (195,67 $\mu$ molTE/g m.s) (18h de remojo, 96h de germinado, oscuridad) y el tratamiento 5 (156,76 $\mu$ molTE/g m.s) (24h de remojo, 96h de germinado, luz), dicha variación está traducido en un incremento de 24,82%.

En el caso de la capacidad antioxidante ABTS, la interacción de los factores “tiempo de remojo y germinado” tienen efecto sobre dicha variable de respuesta. En las Figuras 11C y 11D se aprecia una interacción importante entre el tiempo de remojo y el tiempo de germinado sobre la capacidad antioxidante ABTS, en particular se observa que, si se trabaja con un tiempo de germinado más alto, prácticamente da lo mismo utilizar cualquiera de los dos tiempos de remojo.

Al hacer variar el tiempo de remojo de las semillas de basul de 18h a 24h y mantener constante el tiempo de germinado y la condición de iluminación (144h y luz) se produce un incremento pronunciado de 29,28% de la capacidad antioxidante ABTS. Por el contrario, si se germina por tan sólo 96h y bajo las mismas condiciones anteriores con respecto al tiempo de remojo y condición de iluminación se produce una disminución de la capacidad antioxidante ABTS en un 23%.



Cuando se germina en condición de oscuridad y haciendo variar el tiempo de remojo de 18h a 24h, bajo 144h de germinado, se produce un incremento ligero de 9,58%. Lo contrario ocurre cuando se germina por 96h y bajo los mismos tiempos de remojo y condición de iluminación, ya que se observa un descenso pronunciado de la capacidad antioxidante ABTS en un 38,9%. Por lo tanto, a 24h de remojo, 144h de germinado y en presencia de luz se consigue un incremento mayor de la capacidad antioxidante ABTS.



**Tabla 9 — Compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante de la harina de basul sometida a diferentes condiciones de germinado y sin germinar**

| Compuestos bioactivos | Tratamiento                 |                            |                            |                            |                            |                            |                          |                            |                            |       |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|-------|
|                       | T0 <sup>2</sup>             | T1                         | T2                         | T3                         | T4                         | T5                         | T6                       | T7                         | T8                         | P     |
| Fenoles (mg AGE/100g) | 241,49±16,02 <sup>lab</sup> | 250,93±3,79 <sup>ab</sup>  | 250,79±21,91 <sup>ab</sup> | 241,56±10,85 <sup>ab</sup> | 238,16±2,40 <sup>ab</sup>  | 233,63±26,09 <sup>ab</sup> | 225,53±6,11 <sup>a</sup> | 248,51±6,89 <sup>ab</sup>  | 267,15±4,59 <sup>b</sup>   | 0,065 |
| DPPH (μmolTE/g m.s)   | 43,46±4,42 <sup>a</sup>     | 40,88±0,45 <sup>a</sup>    | 41,69±3,21 <sup>a</sup>    | 45,35±6,9 <sup>a</sup>     | 41,71±1,71 <sup>a</sup>    | 37,88±5,82 <sup>a</sup>    | 38,82±2,23 <sup>a</sup>  | 40,26±1,24 <sup>a</sup>    | 43,75±2,26 <sup>a</sup>    | 0,082 |
| ABTS (μmolTE/g m.s)   | 173,04±5,82 <sup>abc</sup>  | 179,78±6,13 <sup>abc</sup> | 195,67±16,93 <sup>c</sup>  | 162,09±7,2 <sup>ab</sup>   | 169,66±3,58 <sup>abc</sup> | 156,76±15,19 <sup>a</sup>  | 168,67±2 <sup>abc</sup>  | 191,37±18,49 <sup>bc</sup> | 179,24±3,53 <sup>abc</sup> | 0,005 |

<sup>1</sup> Valores son el promedio ±desviación estándar de tres observaciones independientes por tratamiento (n=3)

<sup>abc</sup> superíndice con diferentes letras dentro de una fila indican diferencias significativas (p<0,05)

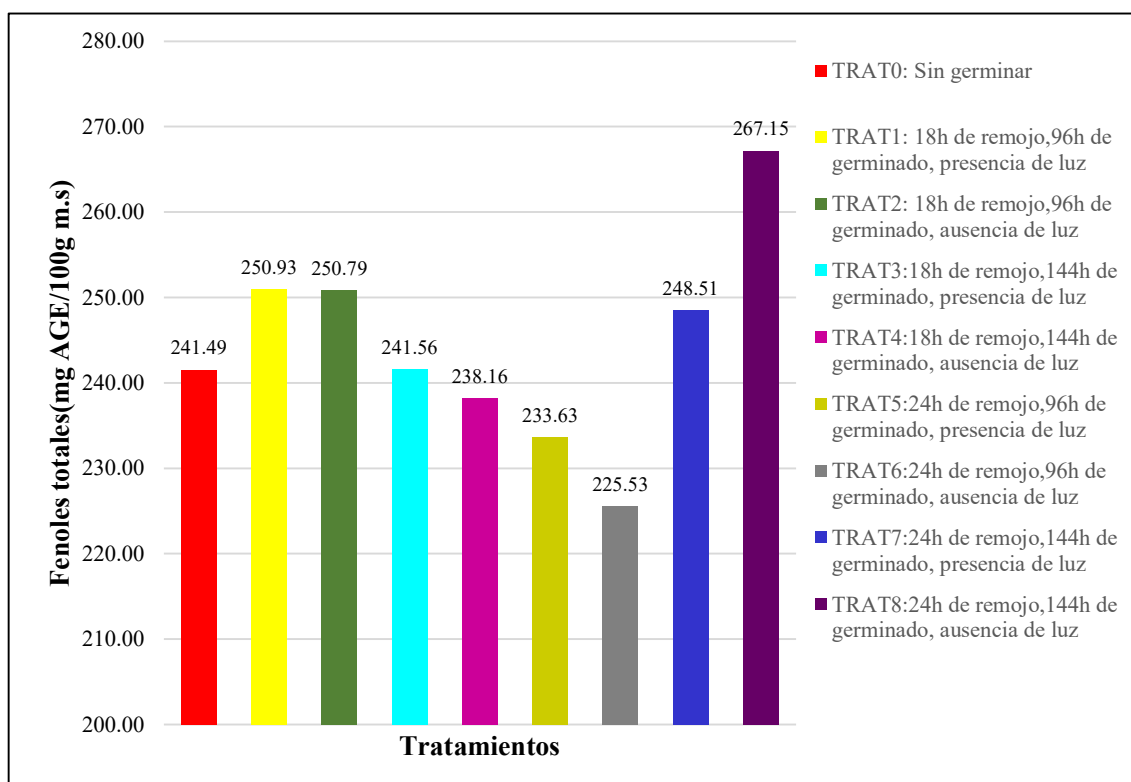
<sup>2</sup>T0, sin germinar; T1, 18h de remojo, 96h de germinado, presencia de luz; T2, 18h de remojo, 96h de germinado, ausencia de luz; T3, 18h de remojo, 144h de germinado, presencia de luz; T4, 18h de remojo, 144h de germinado, ausencia de luz; T5, 24h de remojo, 96h de germinado, presencia de luz; T6, 24h de remojo, 96h de germinado, ausencia de luz; T7, 24h de remojo, 144h de germinado, presencia de luz; T8, 24h de remojo, 144h de germinado, ausencia de luz.

AGE: ácido gálico equivalente

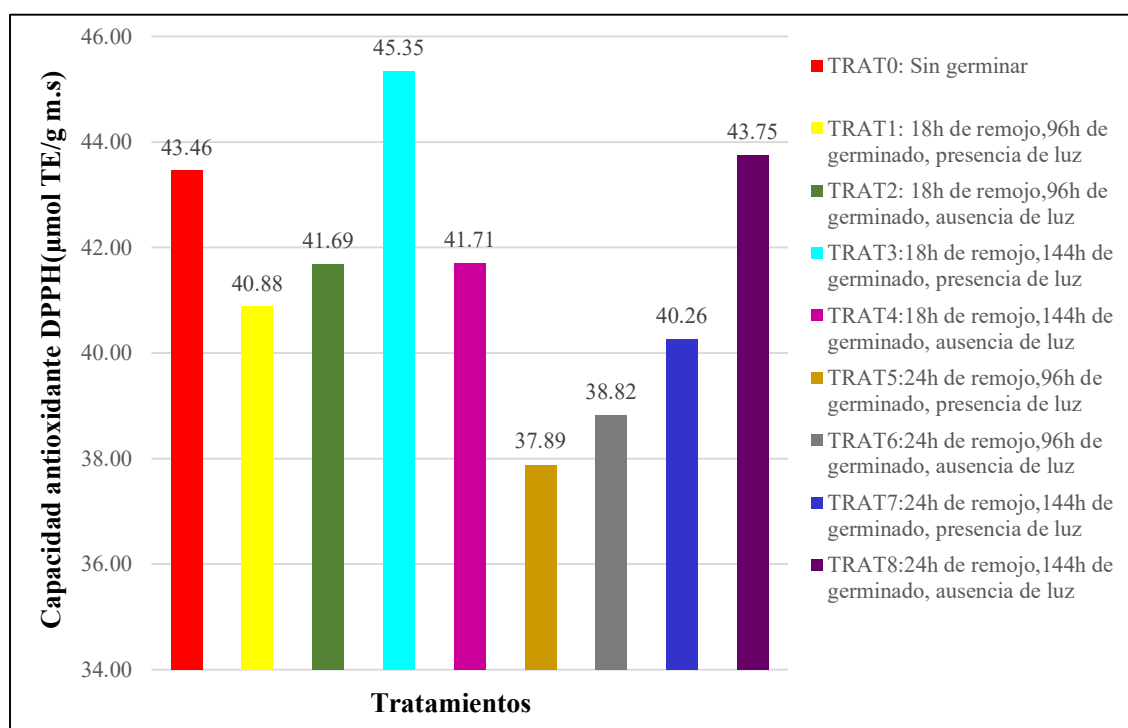
TE: trolox equivalente

**Tabla 10 — Pruebas de los efectos intersujetos sobre el contenido fenólico total y la actividad antioxidante**

| Factores                         |                                                                                                           | Fenoles totales | C.A ABTS |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------|
| Remojo                           | Remojo * Germinado<br>Remojo * Iluminación<br>Germinado * Iluminación<br>Remojo * Germinado * Iluminación | 0,763           | 0,545    |
| Iluminación                      |                                                                                                           | 0,750           | 0,936    |
| Germinado                        |                                                                                                           | 0,130           | 0,216    |
| Remojo * Germinado               |                                                                                                           | 0,002           | 0,000    |
| Remojo * Iluminación             |                                                                                                           | 0,525           | 0,208    |
| Germinado * Iluminación          |                                                                                                           | 0,294           | 0,092    |
| Remojo * Germinado * Iluminación |                                                                                                           | 0,185           | 0,897    |



**Figura 8 — Contenido de fenoles totales de las diferentes condiciones de germinado**



**Figura 9 — Capacidad antioxidante DPPH de las diferentes condiciones de germinado**

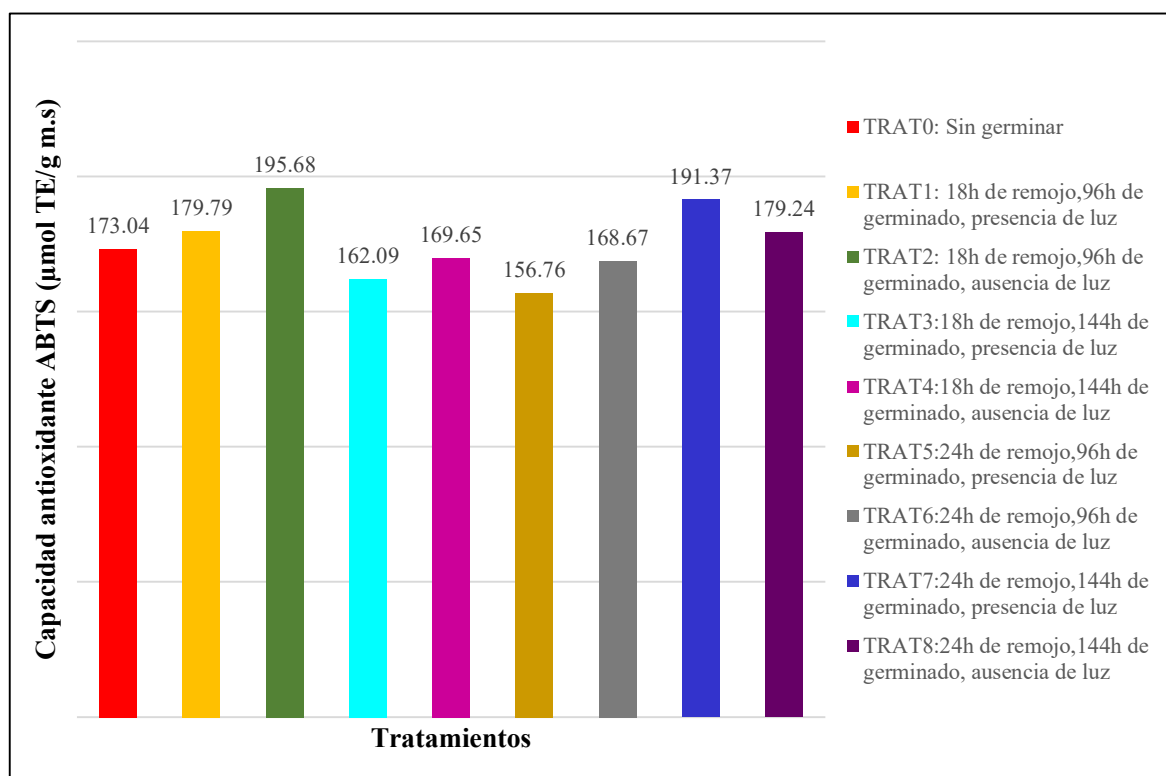
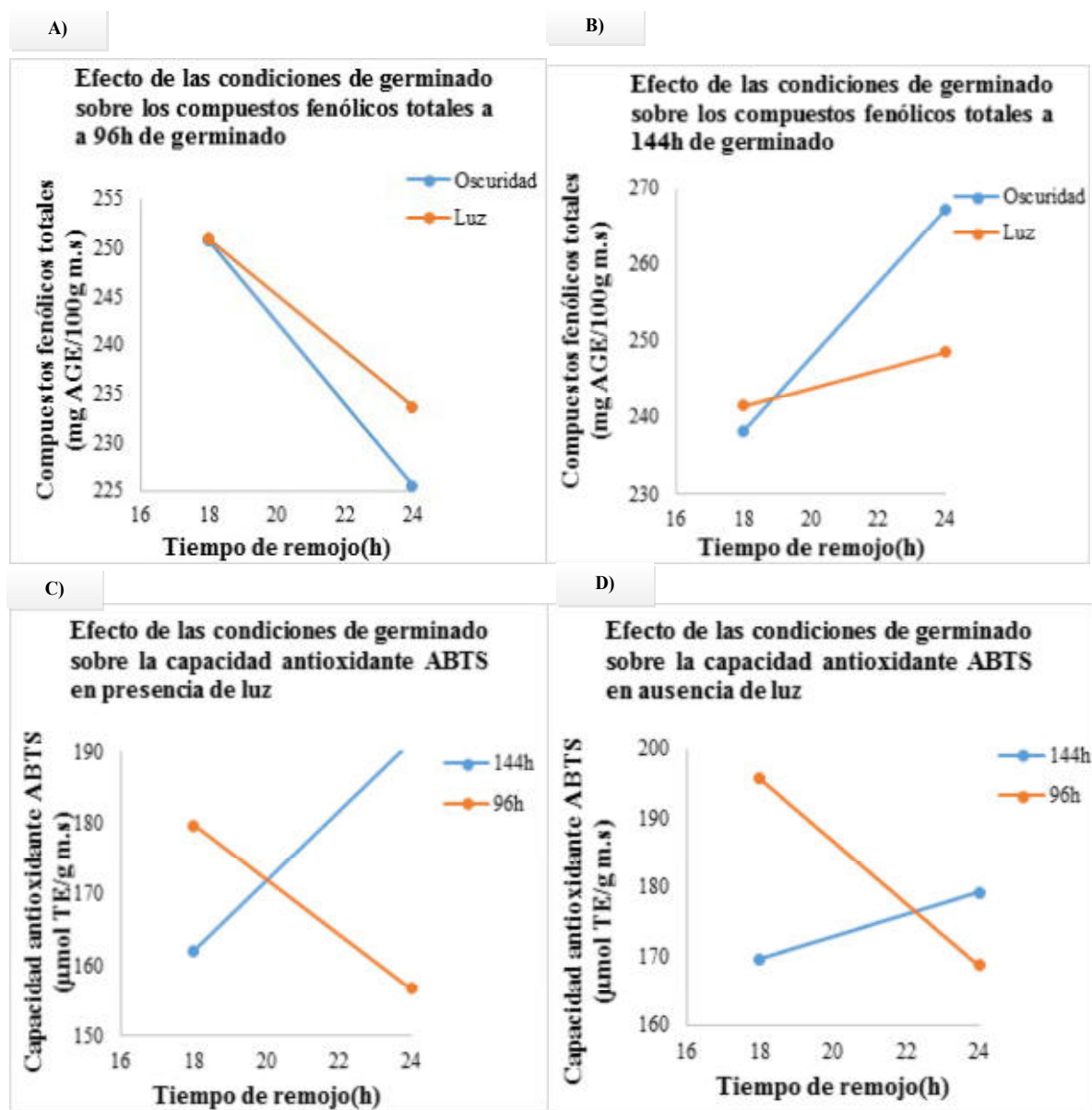


Figura 10 — Capacidad antioxidante ABTS de las diferentes condiciones de germinado



**Figura 11 — Representación de los efectos principales sobre el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante ABTS**

**Donde:**

- A: Efecto de los factores de germinación sobre los compuestos fenólicos totales a 96h de germinado
- B: Efecto de los factores de germinación sobre los compuestos fenólicos totales a 144h de germinado
- C: Efecto de los factores de germinación sobre la capacidad antioxidante ABTS en condición de luz
- D: Efecto de los factores de germinación sobre la capacidad antioxidante ABTS en condición de oscuridad

#### 5.1.4 Efecto de las condiciones de germinado sobre las propiedades funcionales de la harina de basul germinado

En la Tabla 11 se muestran los resultados de las propiedades funcionales de las semillas sin germinar y germinadas a diferentes condiciones.

La solubilidad en agua de la muestra testigo fue de 38,37%, valor superior a lo reportado por DELGADO *et al.* (2012), quien obtuvo un porcentaje de 18,35%. Al efectuar el proceso de germinado se logra incrementos significativos (de hasta 133%) llegando a alcanzar un valor máximo de 89,60% en el tratamiento 7 (24h de remojo, 144h de germinado y en presencia de luz).

En cuanto a la capacidad de absorción de agua de la muestra testigo o tratamiento 0 (Tabla 11) fue de 3,76g de agua/g m.s, valor superior a lo reportado por DELGADO *et al.* (2012) para la misma legumbre y otros cultivos como la quinua (0,87g de agua/g m.s) y la soya (0,81g de agua/g m.s). Las semillas al ser sometidas al proceso de germinación muestran valores mucho más superiores en los diferentes tratamientos (Tabla 11). En el tratamiento 3 (18h de remojo, 144h de germinado, luz) se observa un incremento significativo de 46,3%, llegando a 5,5g de agua/g m.s.

La capacidad de retención de agua del tratamiento 0 fue de 4,64g de agua/g m.s, sin embargo, se han encontrado trabajos como en la quinua que apuntan valores más altos de CRA (5,01g de agua/g m.s), pero que mediante la germinación de las semillas de basul se logra mejorar este indicador llegándose a obtener un valor de 6,05g de agua/g m.s en los tratamientos 2 (18h de remojo, 96h de germinado, oscuridad) y 6 (18h de remojo, 96h de germinado, oscuridad), equivalente a un incremento del 30,39% con respecto al testigo.

De igual forma en la capacidad de hinchamiento se observa un incremento de 136% al someter las semillas al proceso de germinado, los valores varían de 9,48ml de agua/ g m.s (sin germinar) a 22,44 ml de agua/ g m.s (tratamiento 6) (24h de remojo, 96h de germinado y en oscuridad).

Al realizar el análisis estadístico la capacidad de retención de agua, la capacidad de absorción de aceite y la capacidad de hinchamiento de la harina de basul germinado de los ocho tratamientos no difieren con respecto al testigo (T0) (sin germinar). Sin embargo, en las demás propiedades funcionales como la solubilidad en agua y la capacidad de absorción de agua hay diferencia significativa entre los tratamientos germinados a diferentes condiciones y el tratamiento testigo.



Al realizar el análisis factorial, de acuerdo a los resultados en la tabla 12 se muestra que el factor “tiempo de germinado” tiene un efecto principal sobre las propiedades funcionales de solubilidad en agua, capacidad de absorción de agua y capacidad de hinchamiento, lo cual nos indica que el tiempo de germinado es una variable determinante de dichas propiedades.

En la figura 12 se aprecia el efecto de los factores en estudio (tiempo de remojo, tiempo de germinado y condición de iluminación) sobre las propiedades funcionales. Al hacer germinar las semillas de basul por 96h horas en condición de oscuridad y variando el tiempo de remojo de 18h a 24h se produce un incremento de la solubilidad en agua de la harina de basul germinado en un 35,88%, pero, si se prolonga el tiempo de germinado a 144h y bajo las mismas otras condiciones, se produce una mejoría mucho más pronunciada equivalente al 60,16% (de 53,16% a 85,14%). Un comportamiento similar se refleja cuando se hace germinar en condición de luz, 144h de germinado y un tiempo variante de remojo de 18h a 24h, dicho incremento es igual a 42,77%.

En cuanto a la capacidad de absorción de agua (CAA) se observa que a medida que se prolonga el tiempo de remojo el valor de dicha capacidad reduce. Es así que al someter a la semilla de basul a las siguientes condiciones: tiempo variado de remojo de 18h a 24h, 96h de germinado y condición de luz, la CAA disminuye de 4,11 a 3,55 g agua/ g m.s. Este mismo comportamiento se observa cuando se hace germinar a 144h, cuya disminución es igual al 21,95%. Si el proceso de germinación se lleva en ausencia de luz (oscuridad) sucede lo mismo con la capacidad de absorción de agua, siendo la disminución más pronunciada cuando se germina a 96h (29,87%). A 144h de germinado se aprecia un descenso ligero de 4,7%, reduciendo así de 4,68 a 4,47g agua/ g m.s. tal como se muestra en la figura 12C y 12D. Y con respecto a la capacidad de hinchamiento de la harina de basul germinado se produce un incremento mucho más pronunciado cuando se prolonga el tiempo de remojo a 24h y se germina en ausencia de luz (oscuridad). En la figura 12E se refleja el comportamiento de la semilla de basul en cuanto a su capacidad de hinchamiento cuando es sometida a un proceso de germinación en presencia de luz. Al hacer variar el tiempo de remojo de 18h a 24h y a 96h de germinado se produce una mejora de dicha capacidad de 4,33 a 11,22ml agua/g m.s, cuyo incremento es equivalente a un 159%. En cambio, cuando las semillas son germinadas a 144h con iguales condiciones a la anterior se produce un aumento de tan sólo 5,71%. Y si las semillas son germinadas en ausencia de luz (oscuridad), a un tiempo variante de remojo de 18h a 24h y a 96h de germinado la capacidad de hinchamiento mejora notablemente de 1,13 a 22,44ml agua/g m.s y a 144h de germinado hay un incremento de 15,49% (de 8,33 a 9,62ml agua/ g m.s) (Figura 12F).



**Tabla 11 — Propiedades funcionales del basul sometida a diferentes condiciones de germinado y sin germinar**

| Propiedades funcionales <sup>1</sup> | Tratamientos <sup>2</sup> |                          |                         |                         |                          |                          |                          |                           |                           | p     |
|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|-------|
|                                      | T0                        | T1                       | T2                      | T3                      | T4                       | T5                       | T6                       | T7                        | T8                        |       |
| SA (%)                               | 38,37±2,78 <sup>a</sup>   | 58,68±5,05 <sup>b</sup>  | 61,28±6,35 <sup>b</sup> | 62,76±2,43 <sup>b</sup> | 53,16±5,74 <sup>ab</sup> | 80,71±2,59 <sup>c</sup>  | 83,27±8,20 <sup>c</sup>  | 89,60±4,85 <sup>c</sup>   | 85,14±7,55 <sup>c</sup>   | 0,000 |
| CAA(g/g)                             | 3,76±0,39 <sup>ab</sup>   | 4,11±0,46 <sup>abc</sup> | 5±0,5 <sup>cd</sup>     | 5,5±0,08 <sup>d</sup>   | 4,68±0,24 <sup>bcd</sup> | 3,55±0,55 <sup>a</sup>   | 3,85±0,46 <sup>ab</sup>  | 4,51±0,32 <sup>abcd</sup> | 4,47±0,25 <sup>abcd</sup> | 0,000 |
| CRA(g/g)                             | 4,64±0,09 <sup>a</sup>    | 5,64±0,29 <sup>a</sup>   | 6,05±0,35 <sup>a</sup>  | 5,05±1,49 <sup>a</sup>  | 5,25±0,07 <sup>a</sup>   | 5,2±0,46 <sup>a</sup>    | 6,05±0,29 <sup>a</sup>   | 6±0,51 <sup>a</sup>       | 5,7±0,09 <sup>a</sup>     | 0,074 |
| CAAC(g/g)                            | 5,1±0,41 <sup>a</sup>     | 4,5±0,83 <sup>a</sup>    | 4,55±0,74 <sup>a</sup>  | 4,58±0,29 <sup>a</sup>  | 4,7±0,4 <sup>a</sup>     | 4,76±0,78 <sup>a</sup>   | 4,82±0,01 <sup>a</sup>   | 5,07±0,11 <sup>a</sup>    | 5,09±0,23 <sup>a</sup>    | 0,71  |
| CH(ml/g)                             | 9,48±1,32 <sup>ab</sup>   | 4,33±2,08 <sup>a</sup>   | 1,13±0,81 <sup>a</sup>  | 8,06±4,24 <sup>a</sup>  | 8,33±1,53 <sup>a</sup>   | 11,22±2,83 <sup>ab</sup> | 22,44±13,46 <sup>b</sup> | 8,52±0,16 <sup>ab</sup>   | 9,62±0,5 <sup>ab</sup>    | 0,005 |

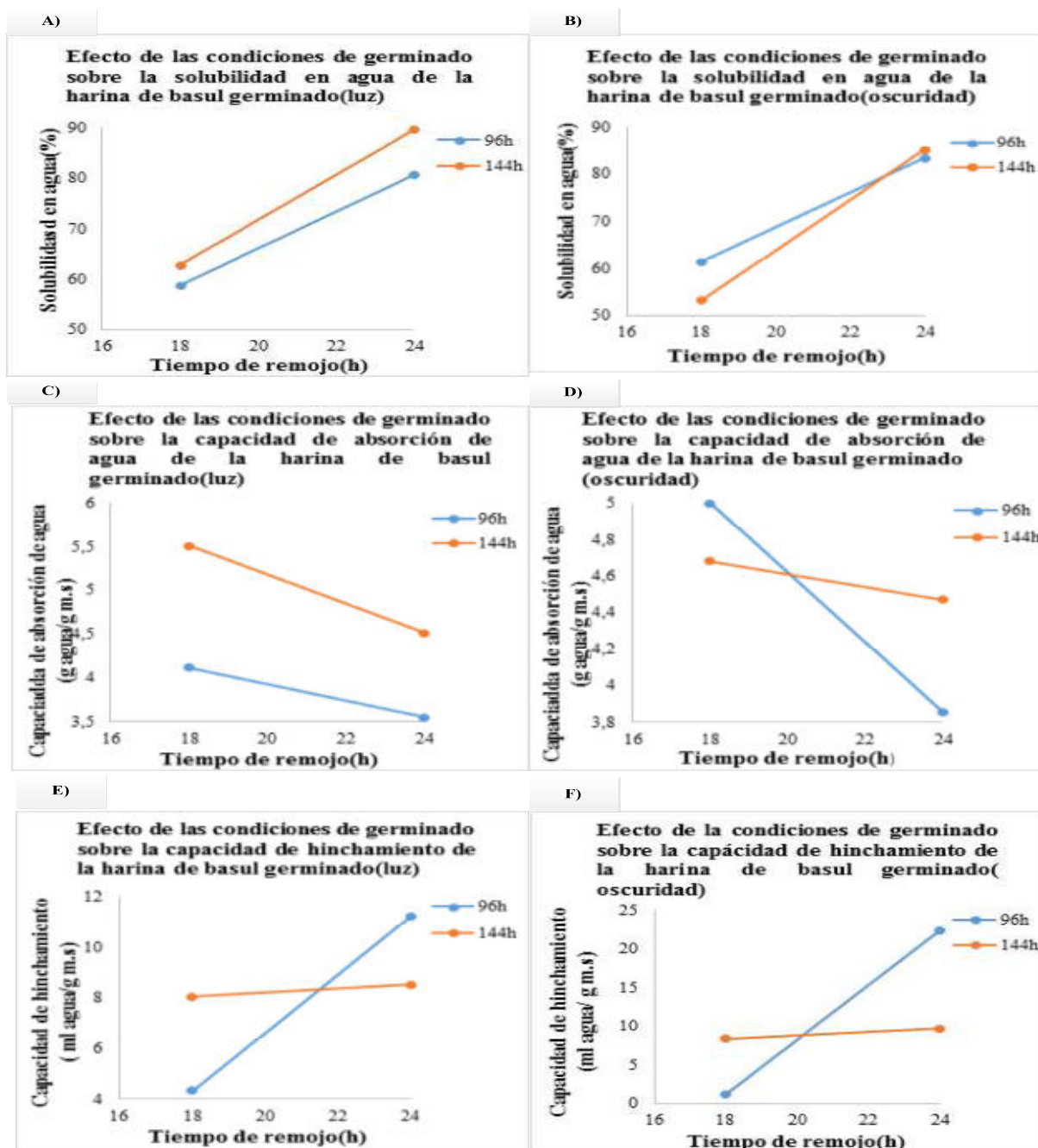
Promedio ±desviación estándar (n=3), letras iguales en líneas horizontales, representan sin diferencias significativas (p>0,05), letras diferentes en líneas horizontales, representan diferencias significativas (p<0,05).

<sup>2</sup>T0, sin germinar, T1, 18h de remojo, 96h de germinado, presencia de luz; T2, 18h de remojo, 96h de germinado, ausencia de luz; T3, 18h de remojo, 144h de germinado, presencia de luz; T4, 18h de remojo, 144h de germinado, ausencia de luz; T5, 24h de remojo, 96 h de germinado, presencia de luz; T6, 24h de remojo, 96h de germinado, ausencia de luz; T7, 24h de remojo, 144h de germinado, presencia de luz; T8, 24h de remojo, 144h de germinado, ausencia de luz.

SA: Solubilidad en agua; CAA: Capacidad de absorción de agua; CRA: Capacidad de retención de agua; CAAC: Capacidad de absorción de aceite; CH: Capacidad de hinchamiento

**Tabla 12 — Prueba de los efectos intersujetos sobre las propiedades funcionales**

| Factores                         | SA    | CAA   | CH    |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| Remojo                           | 0,000 | 0,000 | 0,003 |
| Germinado                        | 0,481 | 0,001 | 0,594 |
| Iluminación                      | 0,352 | 0,624 | 0,284 |
| Remojo * Germinado               | 0,131 | 0,433 | 0,007 |
| Remojo * Iluminación             | 0,592 | 0,760 | 0,090 |
| Germinado * Iluminación          | 0,055 | 0,679 | 0,442 |
| Remojo * Germinado * Iluminación | 0,585 | 0,182 | 0,128 |



**Figura 12 — Representación de los efectos principales sobre la solubilidad en agua, capacidad de absorción de agua y capacidad de hinchamiento de la harina de basul germinado**

**Donde:**

- A: Efecto de los factores de germinación sobre la solubilidad en agua en condición de luz.
- B: Efecto de los factores de germinación sobre la solubilidad en agua en condición de oscuridad.
- C: Efecto de los factores de germinación sobre la capacidad de absorción de agua en condición de luz
- D: Efecto de los factores de germinación sobre la capacidad de absorción de agua en condición de oscuridad.
- E: Efecto de los factores de germinación sobre la capacidad de hinchamiento en condición de luz.

F: Efecto de los factores de germinación sobre la capacidad de hinchamiento en condición de oscuridad.

## 5.2 Contrastación de hipótesis

### 5.2.1 Hipótesis estadísticas

#### a) Hipótesis nula y alterna

$H_0$ : No existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos ( $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$ )

$H_a$ : Por lo menos la media de uno de los tratamientos es diferente a los demás ( $\mu_1 \neq \mu_k$ ).

#### b) Estadístico

Se utilizó el estadístico de Fisher (F) para aceptar o rechazar la hipótesis nula y para la comparación de medias de los diferentes tratamientos se empleó Tukey.

El plan de tratamiento de los datos se muestra en el Anexo 1.

Se debe aclarar que se utilizó el estadístico de Fisher (F) (tanto para el DCA como para el diseño factorial), cuya fórmula es la siguiente:

$$F_0 = \frac{CM \text{ TRAT}}{CM \text{ E}}$$

Donde:

CM TRAT: Cuadrados medios del tratamiento

CM E: Cuadrados medios del error.

#### c) Nivel de significancia

El nivel de significancia fue de  $p=0.05$ .

#### d) Región crítica o regla de decisión

Si  $p > 0.05$ : entonces no existe el efecto de los factores en estudio sobre las medias de las variables de respuesta; entonces se acepta la hipótesis nula.

Si  $p < 0.05$ : entonces sí existe el efecto de los factores en estudio sobre las medias de las variables de respuesta; entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna.

Haciendo un análisis de cada uno de los factores de respuesta se tiene lo siguiente:

Puesto que la significancia con respecto al contenido de proteínas de la harina de basul germinado es de  $p=0,431$ , se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, por lo que no existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos. Este mismo comportamiento se observa para los demás componentes nutritivos como la grasa, fibra cruda, cenizas y extracto



libre de nitrógeno, siendo la significancia igual a 0,441; 0,294; 0,498 y 0,376; respectivamente. En cuanto al contenido fenólico total de la harina de basul germinado la significancia es igual a 0,065, por lo que se acepta la hipótesis nula, que afirma que no existen diferencias significativas entre las medias de los diferentes tratamientos. Lo mismo ocurre para la capacidad antioxidante DPPH cuya significancia es igual a  $p=0,337$ . Por otro lado, la capacidad antioxidante ABTS tiene una significancia de  $p=0,005$ , valor que es menor a 0,05, por lo que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula, donde la media de uno de los tratamientos es diferente a los demás ( $\mu_l \neq \mu_k$ ).

Respecto a las propiedades funcionales, la significancia de la capacidad de absorción de agua y la solubilidad en agua es  $p=0,000$ , por lo que se acepta la hipótesis alterna, ya que  $p<0,05$ , lo mismo sucede en el caso de la capacidad de hinchamiento ( $p=0,005$ ). Por otro lado para la capacidad de retención de agua y la capacidad de absorción de aceite las significancias son mayores a 0,05, por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, no existiendo así diferencias significativas entre las medias de los tratamientos.

### 5.3 Discusión de resultados

#### 5.3.1 Obtención de la harina de basul germinado

El rendimiento del proceso de obtención de harina de basul germinado a partir de semillas de basul hasta harina comprende entre 26,67% y 30,97%. Estos valores son superiores a los rendimientos de 13,02% y 27,18% obtenidos por ESPINOZA (2018) e INTIQUILLA (2015), respectivamente. La diferencia se puede atribuir a las características de la semilla y al tamaño de partículas de la harina, ya que para el presente estudio se utilizó frutos enteros con cáscara y se obtuvo harina con 0,6mm de diámetro, mientras que ESPINOZA (2018) empleó granos pelados, cocidos y obtuvo harina con una granulometría de 0,5mm.

Por otro lado, los resultados de rendimiento de harina de basul germinado se puede comparar con otras leguminosas, tal como de tarwi, cuyo rendimiento fue de 36% (BORJA, 2014), valor superior al obtenido en el presente estudio (máximo 30,97% en el tratamiento 2); probablemente esto sea debido al alto contenido de agua (64,16%) que contiene el basul fresco y también se podría atribuir a que se tuvo pérdidas en la molienda y en el tamizado.



En cuanto al porcentaje de semillas viables se obtiene mayores valores cuando las semillas son germinadas en condiciones de oscuridad. En el tratamiento 8 se tiene un valor máximo de 95%, aquí las semillas se sometieron a las siguientes condiciones: 24h de remojo, 144h de germinado y en oscuridad. Este resultado coincide con lo reportado por ZHANG (2015), quien menciona que la relación de germinación fue más de 90% en las semillas de trigo sarraceno, germinado en oscuridad. Algunos estudios empíricos aseguran que la germinación da buenos resultados en ausencia de luz, porque las hojas y el tallo en formación ajustan su velocidad y dirección de crecimiento para crecer hacia la fuente de luz, en cambio, una semilla en presencia de luz está más enriquecida y es de color verde, ya que posee la energía suficiente para desarrollar la fotosíntesis.

### 5.3.2 Efecto de las condiciones de germinado sobre las características nutricionales de la harina de basul germinado

En cuanto al contenido de proteínas, la harina de basul sin germinar tuvo 17,74% (Tabla 7), valor que ha disminuido en todos los tratamientos al someter la semilla a diferentes condiciones de germinado (16,96- 17,17%); sin embargo, estas reducciones no representan diferencias significativas en el análisis estadístico realizado. De igual forma, se ha identificado que ninguno de los factores del proceso de germinado (presencia o ausencia de luz, tiempo de remojo y tiempo de germinado) influyen sobre el contenido de proteínas. Resultados similares fueron reportados por COLMENARES *et al* (1990) citado por CHAPARRO (2010), donde no se registró cambios significativos en la concentración de la proteína cruda entre las semillas sin germinar de diferentes variedades de amaranto, con respecto al tercer día de germinación.

Estudios realizados por HANDA *et al.* (2017), en el germinado de frijol (*Horsegram: Macrotyloma uniflorum* (Lam.) ha reportado una disminución en el contenido de proteínas desde 33,44 g/100 g (semilla no germinada) hasta 26,79 g/100 g (germinada por 48 h). De igual forma, ELBALOULA *et al.* (2014), durante el proceso de germinado del sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], reportaron una disminución en el contenido de proteínas totales desde 10,02% (semilla no germinada) hasta 8,72% (tres días de germinado); cambios que fueron significativos. Sin embargo, también existen trabajos de investigación que demuestran del incremento en el contenido de proteínas, tal como las semillas germinadas del trigo (*Fagopyrum esculentum* Moench) desde 144,68 mg/g hasta 155,16 mg/g (ZHANG



*et al.*, 2015) o del trigo ceroso (*Triticum aestivum*) desde 154 g/kg hasta 157 g/kg (HUNG *et al.*, 2012).

Al respecto, existen diferentes conclusiones sobre el contenido de proteínas en cereales y leguminosas germinadas; en algunos casos con incrementos y en otros con disminuciones, y al parecer éstos dependen del tipo de semilla y las condiciones de germinado (ZHANG *et al.*, 2015), teniendo en cuenta que durante este proceso ocurren cambios dinámicos en la proteólisis y la síntesis de proteínas. Durante la germinación muchas enzimas se activan y algunas proteínas se sintetizan a través de una serie de reacciones bioquímicas, mientras tanto, otras proteínas pueden ser hidrolizadas por la proteasa. El contenido de proteína depende del efecto de la síntesis de la proteína y la proteólisis. En el presente trabajo, para el contenido de proteína de la semilla germinada de basul, para todos los tratamientos, la síntesis fue superada por la proteólisis de la proteína, pero estos no fueron significativos. Este mismo razonamiento se puede explicar para los otros componentes (grasa, carbohidratos y fibra dietética).

Se han elaborado diferentes conclusiones de los estudios anteriores sobre los cereales y las legumbres germinadas por lo que el efecto de la germinación de semillas sobre el contenido de proteínas no es claro, MANEEMEGALAI *et al.* (2011).

En cuanto al contenido de grasa se ha identificado una disminución de 0,33% (sin germinar) a 0,2% (germinado a 6 días), este comportamiento observado coincide con lo mencionado por BAU (1977), pues durante la germinación las lipasas aumentan gradualmente provocando la hidrólisis de los lípidos, que son utilizados como fuente de energía para la síntesis de proteínas durante el desarrollo de la planta. Respecto a la digestibilidad *in vitro* de la proteína en el presente estudio se observó un incremento ligero (5%-6%) con respecto al tratamiento testigo, estos resultados son coincidentes con lo reportado por KHALIL *et al.* (2006), que registra un pequeño incremento en la digestibilidad de semillas germinadas de soya y lupino con respecto a las semillas sin germinar. De igual forma, MBITHI *et al.* (2000), informa de un incremento en la digestibilidad *in vitro* de proteínas de la semilla de mijo (*Eleusine coracana*) a las 96h de germinado con respecto a la semilla no germinada desde 33,9% a 55,4% (64% de incremento); resultados que son atribuidos principalmente a la solubilización parcial y la proteólisis que ocurren durante el germinado. Al respecto, OHANENYE *et al.* (2020) y SINGH *et al.* (2015), señalan que la digestibilidad de las proteínas depende de la naturaleza de los factores



antinutricionales (por ejemplo, inhibidores de tripsina y fitatos) en la matriz alimentaria, con el proceso de germinado, estos antinutrientes son reprimidos e inhibidos de su actividad a través de la hidrólisis y, por el contrario, existe un incremento en la actividad de la tripsina desde 0,1 hasta 0,26 unidades. De igual forma, las proteínas sufren una hidrólisis y se disocian de los antinutrientes e incrementan su solubilidad en el agua, además del incremento de los aminoácidos libres. Por esta razón, se cree que, a 24 h de remojo, 96 h de germinado y en presencia de luz (tratamiento 2), la semilla de basul tuvo la mayor actividad de la hidrólisis de la proteína y por consiguiente con el mayor incremento en la digestibilidad (74,83%); convirtiéndose en un método de bioprocesamiento adecuado para mejorar la calidad nutricional de esta semilla. Una elevada digestibilidad de la proteína trae beneficios para la salud expresada en el aumento de peso corporal de niños, al aumentar la cantidad de proteína absorbida por el organismo. Esta cantidad de proteína atraviesa el tracto intestinal y queda apta para la absorción o utilización por el organismo ( VILCANQUI, 2018).

### **5.3.3 Efecto de las condiciones de germinado sobre el contenido de compuestos fenólicos totales de la harina de basul germinado**

Se da a conocer que los frutos sin germinar tuvieron un valor de 241mg AGE/100 g m.s y en la mayoría de los tratamientos con germinación hubo un incremento significativo, específicamente en el tratamiento 8, cuando las semillas son germinadas en 24h de remojo, 144h de germinado y en condiciones de oscuridad (267,15mg AGE/100g). Estos resultados coinciden con lo reportado por ZHANG (2015), quien observó un aumento significativo de los compuestos fenólicos en el trigo sarraceno conforme el tiempo de germinado se prolonga (de 3,03 mg AGE/g m.s en el control a 8,42mg AGE/g m.s después de la germinación durante 72h).

Este aumento del contenido fenólico se atribuye a la mayor actividad de PAL (fenilalanina amoniliasa), una enzima importante y limitante de la velocidad para la biosíntesis de flavonoides y ácidos fenólicos durante la germinación, KONG *et al* (2007). En el proceso de crecimiento la fenilalanina se transforma en ácido cinámico bajo la catálisis de la fenilalanina amoniliasa (PAL) y entonces muchos de los componentes fenólicos como p-cumárico, ferúlico y el ácido cafeico se sintetizan. Estos fenoles pueden traducirse en flavonoides, taninos, ligninas y otros compuestos. Por tanto el contenido fenólico será directamente proporcional al comportamiento de la enzima PAL.



Otros autores reportan una disminución de polifenoles totales en muestras germinadas de variedades de soja negra y *Vigna spp* (LIN et al., 2006). Esta gran variación en cuanto al comportamiento de los componentes fenólicos podría ser explicada por el complejo metabolismo bioquímico de las semillas durante el proceso germinativo (DUEÑAS et al, 2009). Al iniciarse el proceso de germinación se activan las enzimas endógenas de las leguminosas (como las hidrolasas y polifenoloxidasas), cuyas enzimas, están directamente relacionadas con los compuestos fenólicos, ya que, su actividad aumenta durante la germinación, aunque de una manera diferente, dependiendo del tipo de leguminosa DEOSTHALE et al, (1987) y en consecuencia a este comportamiento no definido provoca diferencias en la composición fenólica de las leguminosas germinadas.

El otro comportamiento observado con respecto a los incrementos parciales y de pronto una reducción de los polifenoles totales, GAN et al, (2017), señala que, durante la etapa inicial del germinado, existe una degradación de las proteínas y carbohidratos a aminoácidos libres y azúcares simples respectivamente, y junto a estos procesos, también la liberación de los compuestos fenólicos unidos a la pared celular. Conforme transcurre el proceso de germinado, se proliferan nuevas células vegetales con nuevas paredes celulares y consecuentemente la síntesis de los compuestos fenólicos solubles y su unión en la pared celular; es decir, procesos dinámicos de liberación y conjugación de fenoles.

A la mejora de los compuestos fenólicos totales se atribuyen numerosas actividades biológicas, tales como ser factores de prevención y de protección frente a diversas enfermedades, así como presentar un importante carácter antioxidante debido a su capacidad de captación de radicales libres, por lo que se consideran beneficiosos para el mantenimiento y recuperación de un estado saludable (VILLEGAS et al., 2008).

Se denomina antioxidantes a todos aquellos elementos que tienen como función eliminar del organismo los radicales libres que se producen como resultado de la oxidación celular inducida por el oxígeno activo, siendo la causa principal del aumento de la incidencia de enfermedades en los seres vivos.



#### 5.3.4 Efecto de las condiciones de germinado sobre la capacidad antioxidante de la harina de basul germinado

De acuerdo a los resultados obtenidos se da a conocer que los factores en estudio: tiempo de remojo, tiempo de germinado y condición de iluminación incrementan los valores de la capacidad antioxidante ABTS. Por otro lado, en la capacidad antioxidante DPPH no se observa cambios significativos entre los diferentes tratamientos con respecto a la muestra testigo o sin germinar, por lo que la germinación no mejora la capacidad antioxidante DPPH.

Cabe aclarar que, si tomamos los tratamientos en pares para analizarlos iniciando desde el tratamiento uno, las condiciones a las que están sometidas en cuanto a tiempo de remojo y germinación son iguales, la única variante es la condición de iluminación. El tratamiento 1 se germinó en presencia de luz, el tratamiento 2 en oscuridad y así sucesivamente hasta el tratamiento 8. En base a este criterio se observa que hay una mejora de la capacidad antioxidante ABTS cuando se germina en condiciones de oscuridad.

Según López *et al* (2006) los días de germinación y la presencia de luz afectan a las leguminosas de manera distinta. De esta forma estos autores observaron que en muestras de guisantes y judías variedad La Granja tienen reducida su actividad antioxidante en el sexto día de germinación; sin embargo, un comportamiento contrario ocurre en las lentejas, ya que tiene lugar un incremento de la actividad antioxidante en las muestras germinadas.

Estos resultados sugieren la posible presencia de otros compuestos antioxidantes además de compuestos fenólicos como algunas vitaminas, ácido fítico y carotenoides en diferentes concentraciones que pueden afectar la capacidad antioxidante de las muestras. El otro factor influyente es la presencia de enzimas polifenoloxidasas que incrementan la capacidad antioxidante de las leguminosas.

Los antioxidantes son conocidos por proveer beneficios a la salud, como reducción de riesgo de enfermedades cardiovasculares y cáncer, al combatir el daño celular causado por los radicales libres (BOEKEL *et al*, 2010).



### 5.3.5 Efecto de las condiciones de germinado sobre las propiedades funcionales de la harina de basul germinado

#### 5.3.5.1 Solubilidad y capacidad de absorción de agua

Entre todas las propiedades funcionales en estudio sólo la solubilidad en agua y la capacidad de absorción de agua fueron significativamente afectadas por las condiciones de germinación. Este reporte, comparado con otro estudio realizado en semillas de frejol de caballo HANDA *et al*, (2017) reportó resultados del índice de solubilidad de la harina de frijol verde (*Macrotyloma uniflorum*) sin germinar de 200% y con el proceso de germinado a 24h y 48h incrementaron hasta 210% y 216%, respectivamente. De igual forma, GHAVIDEL *et al*, (2006) reportaron resultados para la capacidad de absorción del agua de la harina de frijol verde (*Phaseolus aureus*), frijol de carita (*Vigna catjang*), lentejas (*Lens culinaris*) y garbanzo (*Cicer arietinum*) de 1,23; 1,295; 0,97 y 1,36 g/g m.s., respectivamente y con el proceso de germinado, estos valores incrementaron hasta 1,48; 1,43; 1,45 y 1,52 g/g m.s., respectivamente. Por consiguiente, los resultados de la propiedad de solubilidad y la capacidad de absorción de agua de la harina de basul germinado, coinciden con trabajos realizados con otras leguminosas germinadas; puesto que en la mayoría de los tratamientos presentaron incrementos en estos valores. Este comportamiento se puede atribuir a la descomposición de los polisacáridos en monosacáridos durante la germinación. Por lo tanto, los sitios activos para la interacción entre el agua y las moléculas aumentan, siendo así responsable del incremento de los valores de estas dos propiedades funcionales (PAL *et al.*, 2016).

SINGH *et al*, (2015), atribuye el incremento de la CAA al incremento en el contenido de proteína en el germinado (no es el caso para el presente trabajo) y a los cambios en la calidad de la proteína; siendo este último muy importante, puesto que se ha observado un incremento importante en la digestibilidad *in vitro* de la proteína en la harina de basul germinado. Precisamente, durante el germinado ocurre la hidrólisis parcial de las proteínas y el incremento de los aminoácidos libres, los que finalmente contribuyen con la solubilidad en agua de la harina.



Por otra parte, la razón puede ser que un aumento en la concentración de proteína total que tienen tanto naturaleza hidrófila e hidrófoba puede interaccionar con el agua y el aceite en los alimentos, siendo así responsable de la mejora de la capacidad de absorción de agua, de aceite y del índice de solubilidad en agua (CHANDRA *et al.*, 2015).

Desde el punto de vista tecnológico, ALPIZAR *et al.*, (2017) señala que la solubilidad y la capacidad de absorción del agua juega un papel importante durante la preparación de los alimentos, puesto que influye en otras propiedades como la reducción en la difusión de masa y estabiliza la presencia de otros componentes. En cambio, la capacidad de absorción del agua es importante en productos que requieren hidratación instantánea y desarrollo de viscosidades, la conservación de frescura como en los alimentos horneados o productos cárnicos (VILCANQUI *et al.*, 2017). Por consiguiente, una posible inclusión de la harina de basul germinado no solo mejoraría los valores nutricionales, sino que también podría impartir propiedades tecnológicas importantes por ejemplo en los productos de panificación, manteniendo la textura suave, tal como afirma (DU *et al.*, 2014).

#### 5.3.5.2 Capacidad de retención de agua y absorción de aceite

En cuanto a la capacidad de retención de agua sus incrementos ligeros se deben a la composición de la fibra y su estructura CHAU *et al.*, (2004), ya que hay componentes que tienen facilidad para unirse a las moléculas de agua, principalmente los polisacáridos de la fracción insoluble de fibra.

Los factores del tiempo de remojo, tiempo de germinado, las condiciones de iluminación (luz, oscuro) y la interacción de cada uno de los factores, no tuvieron influencias sobre las propiedades de la capacidad de retención de agua y la capacidad de absorción del aceite. Sin embargo, se debe puntualizar que los valores de la capacidad de absorción del aceite de la harina del basul germinado (4,50 – 5,07 g/g m.s.) son relativamente superior a las harinas de otras leguminosas; por ejemplo, la harina de frijol rojo y negro (*Phaseolus vulgaris* L.) tienen valores de 1,2 y 1,38 g/g, respectivamente (DU *et al.*, 2014). De igual forma, estudios en la harina de frijol verde (*Macrotyloma uniflorum*) germinado tuvieron valores de 1,05 g/g (PAL *et al.*, 2016) y 2,75 g/g m.s. (HANDA *et al.*, 2017) de capacidad de absorción de aceite. Los valores altos de la capacidad de absorción de aceite de la harina de basul podrían atribuirse al alto contenido de la fibra dietética (hemicelulosa y



lignina) en la cáscara de la legumbre, puesto que, para el presente trabajo, las propiedades funcionales fueron determinados de la semilla íntegra de basul. Otra de las razones de la alta capacidad de absorción de aceite de la harina de basul, puede ser atribuido a la presencia de las proteínas hidrofóbicas y los aminoácidos con cadenas laterales no polares disponible en la harina de basul germinado, tal como afirma DU *et al*, (2014). Por otro lado, la capacidad de absorción del aceite desempeña un rol importante durante la preparación, el procesamiento y almacenamiento de los alimentos y tienen efectos sobre las características nutricionales y sensoriales de los alimentos; por ejemplo, en la textura de los productos terminados y en la estabilización de emulsiones de productos ricos en grasa (TIWARI *et al*, 2011) .

#### 5.3.5.3 Capacidad de hinchamiento

En lo que respecta a la capacidad de hinchamiento se observa un incremento de su valor con respecto a la muestra testigo. Como es sabido la capacidad de hinchamiento es directamente proporcional a la capacidad de absorción de agua, puesto que a mayor capacidad de absorción de agua mayor poder de hinchamiento.

En general se puede decir que la harina de basul germinado y sin germinar tiene unas propiedades de hidratación adecuadas (CAA, CRA, SA), por lo que pueden presentar ciertas características tecnológicas , entre las que se encuentran la reducción de las calorías, evitar la sinéresis, además de modificar la viscosidad y la textura del producto final.

Por otro lado, las propiedades funcionales también traen consigo beneficios sobre la salud (efectos fisiológicos) como: aumento del volumen fecal o la reducción de la absorción de nutrientes. Es en el estómago y en el intestino delgado, donde las propiedades físicas de la fibra alimentaria juegan un papel importante ya que la fibra influye en el grado de viscosidad del contenido del estómago, lo que a su vez puede afectar a la velocidad con que los nutrientes salen del estómago hacia el intestino delgado.

Las fibras solubles forman geles viscosos en el intestino y afectan principalmente a la absorción de glucosa y grasa, y por otro lado las “fibras insolubles” aumentan el volumen fecal y tienen un efecto saciante al incrementar el tiempo de vaciado gástrico y disminuir el tiempo de tránsito intestinal, lo que favorece un efecto anticarcinogénico (GRAY, 2006).



## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

El análisis de los resultados del presente trabajo permite llegar a las siguientes conclusiones:

- Las condiciones de germinado a las que se obtiene la mayor cantidad de semillas viables (95%) es a 24h de remojo, 144h de germinado y en condición de oscuridad (tratamiento 8).
- La investigación permitió identificar al basul como una fuente importante de proteínas (17,74%), carbohidratos (71.62%), fibra cruda (5,61%), cenizas (4,71%) y grasa (0,33%) y que a través de la germinación se introduce cambios nutricionales positivos que repercuten en la promoción y diversificación de su consumo. Las diferentes condiciones de germinado incrementan el nivel de la digestibilidad *in vitro* de la proteína del basul germinado (74,83%) específicamente a 24h de remojo, 96h de germinado y luz (tratamiento 5); siendo la interacción del tiempo del remojo y del germinado con el mayor efecto. Mientras que en la composición proximal no hubo cambios.
- El proceso de germinado mejora la funcionalidad de la semilla de basul debido a que aumentan los compuestos bioactivos, se señala un incremento del 10,63% en los polifenoles totales y un 13,08% en la capacidad antioxidante ABTS, luego de la germinación por 144h y 96h, respectivamente en condición de oscuridad. siendo la interacción del tiempo de remojo y el tiempo de germinado con el mayor efecto. En cuanto a la capacidad antioxidante DPPH, la germinación provoca incrementos ligeros, pero no significativos.
- En relación con las propiedades funcionales la germinación produce una modificación de las mismas, observándose incrementos significativos con respecto a la muestra sin germinar de la solubilidad en agua (133%) y de la capacidad de absorción de agua (46%) cuando las semillas son germinadas por 144h en presencia de luz. La capacidad de retención de agua, absorción de aceite y de hinchamiento del basul germinado no presenta diferencias significativas con respecto a la muestra sin germinar. El factor “tiempo de germinado” es el que más influye sobre las



propiedades funcionales, por lo que este proceso es una estrategia muy útil y favorable para el uso potencial de las harinas de leguminosas germinadas como ingrediente alimentario. Además de ello se pudo evidenciar una alta capacidad de adsorción del aceite del basul germinado con respecto a otras leguminosas. Todas estas propiedades hacen de la harina de basul germinado un producto prometededor para el desarrollo de alimentos nutritivos y funcionales.

## 6.2 Recomendaciones

- A partir de este trabajo, se recomienda que se siga profundizando en estudios de los valores nutricionales de las diferentes fracciones del basul (hojas y vaina) y caracterizar los compuestos bioactivos que presenta (HPLC- cromatografía de masas).
- Identificar y cuantificar los compuestos fenólicos presentes y evaluar su actividad biológica mediante pruebas *in vitro*.
- Realizar estudios sobre los concentrados o aislados proteicos de basul germinado y su inclusión en diferentes productos como mejoradores en la industria cárnica (sustitutos o complementos de la proteína animal), en fórmulas infantiles y también para mejorar la textura de los productos de panadería y pastas.
- Estudiar las diferentes características nutricionales, fisicoquímicas y sensoriales de los productos elaborados a base de harina de basul germinado.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ACERO, Luis Enrique. 2002.** *Guía para el cultivo y aprovechamiento del chachafruto o balú (Erythrina edulis Triana ex Micheli)*. Colombia : Convenio Andrés Bello, 2002. 22597.

**ALPIZAR et al, E. 2017.** *Functional properties and physicochemical characteristics of tamarind (Tamarindus indica L.) seed mucilage powder as a novel hydrocolloid*. s.l. : Journal of Food Engineering, 2017. págs. 68-75. Vol. 209.

**ANTEZANA et al , Ricardo Nahuel. 2015.** *Efecto de la germinación y cocción en las propiedades funcionales de tres variedades de quinua ( Chenopodium quinoa Willd)*. s.l. : Journal of High Andean Research, 2015. págs. 169-172. Vol. 17.

**ANTOLOVICH et al., M. 2002.** *Methods for testing antioxidant activity*. s.l. : The analyst, 2002. págs. 183-198. Vol. 127.

**ARANGO et al , O. 2012.** *Obtención de un extracto proteico a partir de harina de chachafruto(Erythrina edulis)*. s.l. : Revista Univeristaria de Salud, 2012. págs. 161-167. Vol. 14.

**AZCÓN et al, Bieto. 2008.** *Fundamentos de fisiología vegetal*. Barcelona : s.n., 2008.

**BARRERA et al., N. 1997.** *Chachafruto, balú, sachaporoto, Erythrina edulis Triana: Pasado, presente y futuro*. 2 da. Colombia : s.n., 1997. pág. 16.

**BARTOLOMÉ et al., B. 2000.** *Interaction of low molecular weight phenolics with proteins*. s.l. : Journal Food Science, 2000. págs. 617-621. Vol. 65.

**CABREJAS et al., Martín. 2008.** *Influence of germination on the soluble carbohydrates and dietary fibre fractions in non conventional legumes*. s.l. : Food Chemistri, 2008. págs. 1045-1052. Vol. 107.



**CÁRDENAS, E. 2012.** *El Pajuro (Erythrina edulis) alimento andino en extinción.* s.l. : Investigaciones sociales, 2012. págs. 97-104. Vol. 16.

**CENTENO et al , Carmen. 2001.** *Effect of several germination condition on total P., phytase, and acid phosphatase activities and inositol phosphate esters in rye and barley.* s.l. : Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001. págs. 3208-3215. Vol. 49.

**CHANDRA et al., S. 2015.** *Evaluation of functional properties of composite flours and sensorial attributes of composite flour biscuits.* s.l. : Journal Food Science Technology, 2015.

**CHAU et al., C. F. 2004.** *Comparison of the characteristics, functional properties, and in vitro hypoglycemic effects of various carrot insoluble fiber- rich fractions.* s.l. : U.Technology, 2004. págs. 155-160. Vol. 37.

**CHEN et al, J. 2014.** *Novel blasting extrusion processing improved the physicochemical properties of soluble dietary fiber from soybean residue and in vivo evaluation.* s.l. : Journal Food Engineering, 2014. págs. 1-8. Vol. 120.

**COLMENARES et al., A. S. 1990.** *Effect of germination on the chemical composition and nutritive value of amaranth grain.* s.l. : Cereal Chemistry, 1990. págs. 519-522. Vol. 67.

**COSTA et al., Almeida. 2006.** *Chemical compisition, dietary fibre and resistant starch content of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes.* s.l. : Food Chemistry, 2006. págs. 327-330. Vol. 94.

**DAVILA et al, Marbelly. 2003.** *Leguminosas germinadas o fermentadas: alimentos o ingredientes de alimentos funcionales.* s.l. : Arch Latinoam Nutrition, 2003. págs. 348-354. Vol. 53.

**DE LAMA et al, Carolina. 2013.** *Utilidad en la alimentación de algunas semillas germinadas: brotes de soja y trigo.* s.l. : Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural sección biológica, 2013. págs. 47-55. Vol. 107.



**DELGADO et al., Natalia. 2012.** *Microestructura y propiedades funcionales de harinas de quinua( *Chenopodium quinoa W.*) y chachafruto( *Erythrina edulis*): Potenciales extensores cárnicos.* Medellín, Colombia : Vitae, 2012. págs. S430-S432. Vol. 19.

**DEOSTHALE et al., Y. G. 1987.** *Polyphenoloxidase activity ingerminated seeds.* s.l. : J. Food Science, 1987. págs. 1549-1551. Vol. 52.

**DONANGELO et al., M. 1995.** *Effect of germination of legume seeds on chemical composition and on protein and energy utilization in rats.* s.l. : Food Chemistry, 1995. págs. 23-27. Vol. 53.

**DU et al, S. K. 2014.** *Physicochemical and functional properties of whole legume flour.* s.l. : LWT- Foos Science and Technology, 2014. págs. 308-313. Vol. 55.

**DUEÑAS et al., M. 2009.** *Germination as a process to increase the polyphenol content and antioxidant activity of lupin seeds ( *Lupinus angustifolius L.*).* s.l. : Food Chemistry, 2009. págs. 599-607. Vol. 117.

**ELBALOULA et al, M. F. 2014.** *Major nutrient compositions and functional properties of sorghum flour at 0-3 days og grain germination.* s.l. : International Journal of Food Sciences, 2014. págs. 48-52. Vol. 65.

**ELIZALDE et al, Ana de Dios. 2009.** *Factores antinutricionales en semillas.* Cauca : Facultad de ciencias agropecuarias, 2009. pág. 54. Vol. 7.

**ESCAMILO, Simón. 2008.** *El pajuro ( *Erythrina edulis*): Alimento andino en extinción.* Lima-Perú : Investigaciones sociales UNMSM, 2008. págs. 100-103. Vol. 16.

**ESPINOZA. 2018.** *Análisis químico proximal de granos y harina de pajuro( *Erythrina edulis*)y elaboración de una bebida proteica con sabor a chocolate.* Lima- Perú : s.n., 2018.

**ESPINOZA, Gaby. 2018.** *Análisis químico proximal de granos y harina de pajuro( *Erythrina edulis*) y elaboración de una bebida proteicacon sabor a chocolate.* Universidad Peruana Cayetano Heredia, Facultad de Ciencias y filosofía. Lima- Perú : s.n., 2018. Tesis para optar el título profesional de Químico Farmacéutico.



**FERNÁNDEZ et al., R. 2003.** *Contribution of low molecular weight antioxidants to the antioxidant capacity of raw and processed lentil seeds.* 2003. págs. 291-299. Vol. 47.

**GAN et al, R. Y. 2017.** *Bioactive compounds and bioactivities of germinated edible seeds and sprouts: An updated review.* s.l. : Trends in Food Sciences & Technology, 2017. págs. 1-14. Vol. 59.

**GHAVIDEL et al, R. A. 2006.** *Effect of germination and dehulling on functional properties of legume flours.* s.l. : Journal of the Science of Food and Agriculture, 2006. págs. 1189-1195. Vol. 86.

**GRAY, J. 2006.** *Dietary fibre: Definition, analysis, physiology and health.* s.l. : Ilsi, 2006.

**HANDA et al, Vanshika. 2017.** *Effect of soaking and germination on physicochemical and functional attributes of horsegram flour.* s.l. : J Food Sci Technol, 2017.

**HART, F. 1991.** *Análisis moderno de los alimentos.* Zaragoza- España : Acribia, 1991.

**HERNÁNDEZ et al., T. 2006.** *Effect of germination on legume phenolic compounds and their antioxidant activity.* s.l. : Journal Food Compounds Analytical, 2006. págs. 277-283. Vol. 19.

**HSU et al, H. W. 1977.** *A multienzyme technique for estimating protein digestibility.* s.l. : Journal of Food Science, 1977. págs. 1269-1273. Vol. 42.

**HÜBNER et al, Florian. 2013.** *Germination of cereal grains as a way to improve the nutritional value: a review.* s.l. : Critical reviews in food science and nutrition, 2013. págs. 853-861. Vol. 53.

**HUNG et al, P. V. 2012.** *Effects of germination on nutritional composition of waxy wheat.* s.l. : Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012. págs. 667-672. Vol. 92.

**HURREL, Richard F. 2003.** *Influence of vegetable protein sources on trace element and mineral bioavailability.* s.l. : The Journal of Nutrition, 2003. págs. 2973S-2977S. Vol. 133.



**INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA. 2017.** *Perú: Encuesta demográfica y de salud familiar.* Perú : s.n., 2017.

**KENDALL et al , Cyril. 2010.** *The link between dietary fibre and human health.* Toronto : Food hydrocolloids, 2010.

**KHALIL et al., A. 2006.** *Production of functional protein hydrolysates from egyptian breeds of soybean and lupin seed.* s.l. : African Journal of Biotechnology, 2006. págs. 907-916. Vol. 5.

**KINSELLA, J. E. 1976.** *Functional properties of proteins in foods: a survey.* s.l. : CRC Crit. Rev. Food. Sci. Nutr, 1976. págs. 219-280.

**KUO et al , Fe. 2004.** *A potential natural treatment for attention deficit/ hyperactivity disorder: evidence from a national study.* s.l. : Am J public Health, 2004. págs. 1580-1586.

**LIN et al., P. 2006.** *Bioactive compounds in legumes and their germinated products.* s.l. : J. Agric. Food Chem., 2006. págs. 3807-3814. Vol. 54.

**LÓPEZ et al., M.L. 1998.** *Occurrence of low weight phenolic compounds in different varieties of peas (Pisum sativum L.) from different origins.* 1998.

**MA et al, M. 2016.** *Effects of extraction methods and particle size distribution on the structural, physicochemical, and functional properties of dietary fiber from deoiled cumin.* s.l. : Food Chemical, 2016. págs. 237-246. Vol. 194.

**MARTÍNEZ et al , Beatriz. 2002.** *Acido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas.* s.l. : Archivos latinoamericanos de Nutrición, 2002. págs. 219-231. Vol. 52.

**MAZZA, G. 2000.** *Alimentos funcionales: aspectos bioquímicos y de procesado.* Zaragoza-España : Acribia, 2000. págs. 292-307.

**MBITHI et al , S. 2000.** *Nutrient and antinutrient changes in finger millet (Eleusine coracana) during sprouting.* s.l. : LWT- Food Sciences and Technology, 2000. págs. 9-14. Vol. 33.



**MIÑARRO et al, B. 2012.** *Effect of legume flours on baking characteristics of gluten- free bread.* s.l. : Journal Cereal Science, 2012. págs. 476-481. Vol. 56.

**OHANENYE et al, I. C. 2020.** *Germination as a bioprocess for enhancing the quality and nutritional prospects of legume proteins.* s.l. : Trends in Food Science & Technology, 2020. págs. 213-222. Vol. 101.

**OLMEDILLA et al , Alonso. 2010.** *Papel de las leguminosas en la alimentación actual.* s.l. : Actividad dietética, 2010. págs. 72-76. Vol. 14.

**OSMAN, M.A. 2007.** *Changes in nutrient composition , trypsin inhibitor, phytate, tannins and protein digestibility of dolichos Lablab seeds (Lablab purpureus Sweet) occurring during germination.* s.l. : Journal of Food Technology, 2007. págs. 294-299. Vol. 5.

**PAL et al., R. S. 2016.** *Impact of dehulling and germination on nutrients, antinutrients, and antioxidant properties in horsegram.* s.l. : Journal Food Science Technol Mysore, 2016. págs. 337-347. Vol. 5.

**PERALTA. 2014.** *Instalación de módulos demostrativos para la crianza de animales menores con la especie de basul en la provincia de Andahuaylas - Apurímac.* s.l. : Convenio marco de cooperación interinstitucional entre la Universidad Nacional José María Arguedas y la Asociación Paz y Desarrollo, 2014.

**PÉREZ BAÉZ, O. 2011.** *Chachafruto, el árbol del hombre.* [ed.] Pérez Baéz O. Merida : s.n., 2011. pág. 40.

**PÉREZ et al, D. 2000.** *A comparison of methods employed to evaluate antioxidant capabilities.* s.l. : Biological Research, 2000. págs. 71-76. Vol. 33.

**PÉREZ et al, G. 1979.** *Evaluation of the protein quality of Erythrina edulis( balú).* s.l. : Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 1979. págs. 193-207. Vol. 29.

**RACINES, G.A. 2011.** *Investigación de los germinados de lenteja, quinua, zanahoria, mostaza y su aplicación a la gastronomía actual.* Quito- Ecuador : s.n., 2011.



**RAO et al., P.U. 1987.** *Polyphenoloxidase activity in germinated seeds.* s.l. : Journal Food Science, 1987. págs. 1549-1551. Vol. 52.

**REQUENA et al, M. C. 2016.** *Functional and physico- chemical properties of six desert-sources of dietary fiber.* s.l. : Food Bioscience, 2016. págs. 26-31. Vol. 16.

**RODRÍGUEZ, M. 2003.** *Calidad proteica y microbiológica de semillas germinadas y germinadas cocidas deshidratadas de Phaseolus vulgaris.* 2003.

**RUMIYATI et al, James. 2012.** *Effect of germination on the nutritional and protein profile of Australian sweet lupin (Lupinus angustifolius L.).* s.l. : Food and Nutrition Sciences, 2012. págs. 621-626. Vol. 3.

**SAMANIEGO et al, C. 2007.** *Different radical scavenging test in virgin olive oil and their relation to the total phenol content.* s.l. : Analytical Chemical, 2007. págs. 103-107. Vol. 593.

**SANGRONIS et al, Elba. 2004.** *Propiedades funcionales de las harinas de leguminosas (Phaseolus vulgaris y Cajan cajan) germinadas.* Caracas, Venezuela : Interciencia, 2004. págs. 80-85. Vol. 29.

**SATHE et al, S. K. 1983.** *Effects of germination on protein, raffinose oligosaccharides, and antinutritional factors in the great northern beans (Phaseolus vulgaris L.).* s.l. : Journal of food science, 1983. págs. 1796-1800. Vol. 48.

**SHAHIDI, F. 2002.** *Food phenolics and their role in antioxidation and health promotion.* 2002. págs. 257-258. Vol. I.

**SINGH et al, A. K. 2015.** *Enhancement of attributes of cereals by germination and fermentation: a review.* s.l. : Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2015. págs. 1575-1589. Vol. 55.

**SINGLETON et al , V. 1965.** *Colorimetry of totale phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents.* s.l. : American Journal of Enology and Viticulture, 1965. págs. 144-158. Vol. 16.



**SMITHARD, R. 2002.** *Secondary plant metabolites in poultry nutrition*. Wallingford-Inglaterra : Poultry Feedstuffs: Supply, composition and nutritive value, 2002. págs. 237-238.

**TIWARI et al, U. 2011.** *Functional and physicochemical properties of legume fibers*. 2011. pág. 36.

**TOVAR et al, Cristhian Emilio. 2017.** *Evaluación del efecto del proceso de extrusión en harina de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) normal y germinada*. s.l. : Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, 2017. págs. 30-38. Vol. 15.

**TRUGO et al, L. C. 2000.** *Effect of heat treatment on nutritional quality of germinated legume seeds*. s.l. : Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000. págs. 2082-2086. Vol. 48.

**URBANO et al, Gloria. 2005.** *Effects of germination on the composition and nutritive value of proteins in *Pisum sativum**. s.l. : L. Food Chemistry, 2005. págs. 671-679. Vol. 93.

**URSINI et al., F. 1999.** *Optimization of nutrition: polyphenols and vascular protection*. s.l. : Nutrition Review, 1999. págs. 241-249. Vol. 57.

**VANDERSTOEP, John. 1981.** *Efecto de la germinación sobre el valor nutritivo de las legumbres*. EE. UU : Tecnología alimentaria, 1981.

**VARGAS, Emigdio. 2016.** *Caracterización fisicoquímica de pan molde blanco con sustitución parcial de harina de pajuro (*Erythrina edulis*)*. Lima : s.n., 2016.

**VILCANQUI et al, Fulgencio. 2018.** *Efecto del endospermo de semilla de tara y polvo de las hojas de *Agave americana* en el peso corporal y velocidad de tránsito intestinal en ratas*. Lima : Revista peruana de medicina experimental y salud pública, 2018. Vol. 35.

**VILLEGAS et al., R. 2008.** *Legume and soy food intake and the incidence of type 2 diabetes in the Shanghai womens health study*. s.l. : Am. J. Clin. Nutr., 2008. págs. 162-169. Vol. 87.

**ZHANG et al, Ge. 2015.** *Effects of germination on the nutritional properties, phenolic profiles, and antioxidant activities of buckwheat*. s.l. : Journal of Food Science, 2015. Vol. 0.



**ZHANG et al, M. 2009.** *Effects of process on physicochemical properties of oat bran soluble dietary fiber.* s.l. : Journal Food Science, 2009. págs. C628- C636. Vol. 74.

**ZIELINSKI et al , H. 2006.** *The effect of germination process on the superoxide dismutase like activity and thiamine riboflavin and mineral contents of rapeseeds.* s.l. : Food Chemistry, 2006. págs. 516-520. Vol. 99.

**ZULUETA et al., A. 2009.** *ORAC and TEAC assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products.* s.l. : Food Chemistry, 2009. págs. 310-316. Vol. 114.



## ANEXOS



# ANEXO 1

**Tabla 13 — Plan de tratamiento de datos y resultados obtenidos**

| Tratamiento    | Factores         |                     |          | Repetición | Unidades observadas | Variable de respuesta(Y) |           |
|----------------|------------------|---------------------|----------|------------|---------------------|--------------------------|-----------|
|                | Tiempo de remojo | Tiempo de germinado | Ambiente |            |                     |                          |           |
| 1              | $t_1=18$ h       | $T_1=96$ h          | PL       | 1          | 1                   | $Y_1$                    | } $\mu_1$ |
|                |                  |                     |          | 2          | 2                   | $Y_2$                    |           |
|                |                  |                     |          | 3          | 3                   | $Y_3$                    |           |
| 2              | $t_1=18$ h       | $T_1=96$ h          | AL       | 1          | 4                   | $Y_4$                    | } $\mu_2$ |
|                |                  |                     |          | 2          | 5                   | $Y_5$                    |           |
|                |                  |                     |          | 3          | 6                   | $Y_6$                    |           |
| 3              | $t_1=18$ h       | $T_2=144$ h         | PL       | 1          | 7                   | $Y_7$                    | } $\mu_3$ |
|                |                  |                     |          | 2          | 8                   | $Y_8$                    |           |
|                |                  |                     |          | 3          | 9                   | $Y_9$                    |           |
| 4              | $t_1=18$ h       | $T_2=144$ h         | AL       | 1          | 10                  | $Y_{10}$                 | } $\mu_4$ |
|                |                  |                     |          | 2          | 11                  | $Y_{11}$                 |           |
|                |                  |                     |          | 3          | 12                  | $Y_{12}$                 |           |
| 5              | $t_2=24$ h       | $T_1=96$ h          | PL       | 1          | 13                  | $Y_{13}$                 | } $\mu_5$ |
|                |                  |                     |          | 2          | 14                  | $Y_{14}$                 |           |
|                |                  |                     |          | 3          | 15                  | $Y_{15}$                 |           |
| 6              | $t_2=24$ h       | $T_1=96$ h          | AL       | 1          | 16                  | $Y_{16}$                 | } $\mu_6$ |
|                |                  |                     |          | 2          | 17                  | $Y_{17}$                 |           |
|                |                  |                     |          | 3          | 18                  | $Y_{18}$                 |           |
| 7              | $t_2=24$ h       | $T_2=144$ h         | PL       | 1          | 19                  | $Y_{19}$                 | } $\mu_7$ |
|                |                  |                     |          | 2          | 20                  | $Y_{20}$                 |           |
|                |                  |                     |          | 3          | 21                  | $Y_{21}$                 |           |
| 8              | $t_2=24$ h       | $T_2=144$ h         | AL       | 1          | 22                  | $Y_{22}$                 | } $\mu_8$ |
|                |                  |                     |          | 2          | 23                  | $Y_{23}$                 |           |
|                |                  |                     |          | 3          | 24                  | $Y_{24}$                 |           |
| Muestra patrón |                  |                     |          | 1          | 25                  | $Y_{25}$                 | } $\mu_9$ |
|                |                  |                     |          | 2          | 26                  | $Y_{26}$                 |           |
|                |                  |                     |          | 3          | 27                  | $Y_{27}$                 |           |

## Donde:

t: tiempo de remojo (18 y 24 horas); T: tiempo de germinado (96 y 144 horas); PL: presencia de luz; AL: ausencia de luz; Y: variable de respuesta.

Tabla 14 — Porcentaje de semillas viables

| Tratamiento   | Observaciones | Réplicas | Semillas viables<br>(por ciento) |
|---------------|---------------|----------|----------------------------------|
| TRATAMIENTO 1 | 1             | 1        | 85,00                            |
|               | 2             | 2        | 92,50                            |
|               | 3             | 3        | 72,50                            |
| TRATAMIENTO 2 | 4             | 1        | 75,00                            |
|               | 5             | 2        | 72,50                            |
|               | 6             | 3        | 82,50                            |
| TRATAMIENTO 3 | 7             | 1        | 87,50                            |
|               | 8             | 2        | 90,00                            |
|               | 9             | 3        | 75,00                            |
| TRATAMIENTO 4 | 10            | 1        | 95,00                            |
|               | 11            | 2        | 92,50                            |
|               | 12            | 3        | 92,50                            |
| TRATAMIENTO 5 | 13            | 1        | 65,00                            |
|               | 14            | 2        | 62,50                            |
|               | 15            | 3        | 75,00                            |
| TRATAMIENTO 6 | 16            | 1        | 80,00                            |
|               | 17            | 2        | 75,00                            |
|               | 18            | 3        | 67,50                            |
| TRATAMIENTO 7 | 19            | 1        | 80,00                            |
|               | 20            | 2        | 92,50                            |
|               | 21            | 3        | 92,50                            |
| TRATAMIENTO 8 | 22            | 1        | 95,00                            |
|               | 23            | 2        | 92,50                            |
|               | 24            | 3        | 97,50                            |



**Tabla 15 — Rendimiento del proceso de germinación**

| Tratamiento   | Observaciones | Réplicas | Rendimiento (por ciento) |
|---------------|---------------|----------|--------------------------|
| TRATAMIENTO 1 | 1             | 1        | 30,00                    |
|               | 2             | 2        | 30,00                    |
|               | 3             | 3        | 27,08                    |
| TRATAMIENTO 2 | 4             | 1        | 32,61                    |
|               | 5             | 2        | 30,00                    |
|               | 6             | 3        | 30,30                    |
| TRATAMIENTO 3 | 7             | 1        | 26,09                    |
|               | 8             | 2        | 27,08                    |
|               | 9             | 3        | 25,53                    |
| TRATAMIENTO 4 | 10            | 1        | 28,57                    |
|               | 11            | 2        | 26,37                    |
|               | 12            | 3        | 25,00                    |
| TRATAMIENTO 5 | 13            | 1        | 26,67                    |
|               | 14            | 2        | 26,67                    |
|               | 15            | 3        | 26,67                    |
| TRATAMIENTO 6 | 16            | 1        | 29,70                    |
|               | 17            | 2        | 26,26                    |
|               | 18            | 3        | 26,53                    |
| TRATAMIENTO 7 | 19            | 1        | 28,89                    |
|               | 20            | 2        | 30,00                    |
|               | 21            | 3        | 28,72                    |
| TRATAMIENTO 8 | 22            | 1        | 28,13                    |
|               | 23            | 2        | 28,13                    |
|               | 24            | 3        | 26,09                    |

**Tabla 16 — Proteína total**

| Tratamiento   | Observaciones | Réplicas | Proteína en base seca<br>(por ciento) |
|---------------|---------------|----------|---------------------------------------|
| TRATAMIENTO 1 | 1             | 1        | 16,78                                 |
|               | 2             | 2        | 16,87                                 |
|               | 3             | 3        | 17,52                                 |
| TRATAMIENTO 2 | 4             | 1        | 17,17                                 |
|               | 5             | 2        | 17,43                                 |
|               | 6             | 3        | 17,3                                  |
| TRATAMIENTO 3 | 7             | 1        | 17,12                                 |
|               | 8             | 2        | 17,06                                 |
|               | 9             | 3        | 17,54                                 |
| TRATAMIENTO 4 | 10            | 1        | 17,06                                 |
|               | 11            | 2        | 17,34                                 |
|               | 12            | 3        | 17,12                                 |
| TRATAMIENTO 5 | 13            | 1        | 17,62                                 |
|               | 14            | 2        | 17,02                                 |
|               | 15            | 3        | 16,61                                 |
| TRATAMIENTO 6 | 16            | 1        | 17,00                                 |
|               | 17            | 2        | 17,55                                 |
|               | 18            | 3        | 17,35                                 |
| TRATAMIENTO 7 | 19            | 1        | 16,19                                 |
|               | 20            | 2        | 17,54                                 |
|               | 21            | 3        | 16,55                                 |
| TRATAMIENTO 8 | 22            | 1        | 16,98                                 |
|               | 23            | 2        | 17,13                                 |
|               | 24            | 3        | 17,21                                 |
| TRATAMIENTO 9 | 25            | 1        | 17,64                                 |
|               | 26            | 2        | 17,67                                 |
|               | 27            | 3        | 17,91                                 |

**Tabla 17 — Grasa**

| Tratamiento   | Observaciones | Réplicas | Grasa en base seca<br>(por ciento) |
|---------------|---------------|----------|------------------------------------|
| TRATAMIENTO 1 | 1             | 1        | 0,51                               |
|               | 2             | 2        | 0,59                               |
|               | 3             | 3        | 0,22                               |
| TRATAMIENTO 2 | 4             | 1        | 0,49                               |
|               | 5             | 2        | 0,39                               |
|               | 6             | 3        | 0,35                               |
| TRATAMIENTO 3 | 7             | 1        | 0,26                               |
|               | 8             | 2        | 0,58                               |
|               | 9             | 3        | 0,26                               |
| TRATAMIENTO 4 | 10            | 1        | 0,54                               |
|               | 11            | 2        | 0,33                               |
|               | 12            | 3        | 0,51                               |
| TRATAMIENTO 5 | 13            | 1        | 0,21                               |
|               | 14            | 2        | 0,64                               |
|               | 15            | 3        | 0,49                               |
| TRATAMIENTO 6 | 16            | 1        | 0,57                               |
|               | 17            | 2        | 0,23                               |
|               | 18            | 3        | 0,43                               |
| TRATAMIENTO 7 | 19            | 1        | 0,42                               |
|               | 20            | 2        | 0,61                               |
|               | 21            | 3        | 0,36                               |
| TRATAMIENTO 8 | 22            | 1        | 0,17                               |
|               | 23            | 2        | 0,30                               |
|               | 24            | 3        | 0,12                               |
| TRATAMIENTO 9 | 25            | 1        | 0,35                               |
|               | 26            | 2        | 0,34                               |
|               | 27            | 3        | 0,30                               |

**Tabla 18 — Fibra cruda**

| Tratamiento   | Observaciones | Réplicas | Fibra cruda en base seca (por ciento) |
|---------------|---------------|----------|---------------------------------------|
| TRATAMIENTO 1 | 1             | 1        | 8,22                                  |
|               | 2             | 2        | 6,58                                  |
|               | 3             | 3        | 4,64                                  |
| TRATAMIENTO 2 | 4             | 1        | 5,34                                  |
|               | 5             | 2        | 5,61                                  |
|               | 6             | 3        | 5,18                                  |
| TRATAMIENTO 3 | 7             | 1        | 5,63                                  |
|               | 8             | 2        | 5,34                                  |
|               | 9             | 3        | 5,35                                  |
| TRATAMIENTO 4 | 10            | 1        | 5,72                                  |
|               | 11            | 2        | 5,50                                  |
|               | 12            | 3        | 5,34                                  |
| TRATAMIENTO 5 | 13            | 1        | 4,64                                  |
|               | 14            | 2        | 5,09                                  |
|               | 15            | 3        | 5,21                                  |
| TRATAMIENTO 6 | 16            | 1        | 4,87                                  |
|               | 17            | 2        | 4,98                                  |
|               | 18            | 3        | 4,49                                  |
| TRATAMIENTO 7 | 19            | 1        | 5,45                                  |
|               | 20            | 2        | 5,79                                  |
|               | 21            | 3        | 5,60                                  |
| TRATAMIENTO 8 | 22            | 1        | 5,98                                  |
|               | 23            | 2        | 5,19                                  |
|               | 24            | 3        | 4,45                                  |
| TRATAMIENTO 9 | 25            | 1        | 5,07                                  |
|               | 26            | 2        | 6,52                                  |
|               | 27            | 3        | 5,23                                  |

**Tabla 19 — Cenizas**

| Tratamiento   | Observaciones | Réplicas | Cenizas en base seca (por ciento) |
|---------------|---------------|----------|-----------------------------------|
| TRATAMIENTO 1 | 1             | 1        | 4,46                              |
|               | 2             | 2        | 4,62                              |
|               | 3             | 3        | 4,73                              |
| TRATAMIENTO 2 | 4             | 1        | 4,55                              |
|               | 5             | 2        | 4,74                              |
|               | 6             | 3        | 4,79                              |
| TRATAMIENTO 3 | 7             | 1        | 4,96                              |
|               | 8             | 2        | 4,82                              |
|               | 9             | 3        | 4,69                              |
| TRATAMIENTO 4 | 10            | 1        | 4,78                              |
|               | 11            | 2        | 4,96                              |
|               | 12            | 3        | 4,55                              |
| TRATAMIENTO 5 | 13            | 1        | 4,82                              |
|               | 14            | 2        | 5,23                              |
|               | 15            | 3        | 4,71                              |
| TRATAMIENTO 6 | 16            | 1        | 4,87                              |
|               | 17            | 2        | 4,93                              |
|               | 18            | 3        | 4,73                              |
| TRATAMIENTO 7 | 19            | 1        | 4,64                              |
|               | 20            | 2        | 4,97                              |
|               | 21            | 3        | 4,66                              |
| TRATAMIENTO 8 | 22            | 1        | 4,74                              |
|               | 23            | 2        | 4,71                              |
|               | 24            | 3        | 4,81                              |
| TRATAMIENTO 9 | 25            | 1        | 4,77                              |
|               | 26            | 2        | 4,53                              |
|               | 27            | 3        | 4,82                              |

**Tabla 20 — ELN (Extracto libre de nitrógeno)**

| Tratamiento   | Observaciones | Réplicas | Extracto libre de nitrógeno en base seca (por ciento) |
|---------------|---------------|----------|-------------------------------------------------------|
| TRATAMIENTO 1 | 1             | 1        | 70,02                                                 |
|               | 2             | 2        | 71,34                                                 |
|               | 3             | 3        | 72,89                                                 |
| TRATAMIENTO 2 | 4             | 1        | 72,45                                                 |
|               | 5             | 2        | 71,83                                                 |
|               | 6             | 3        | 72,38                                                 |
| TRATAMIENTO 3 | 7             | 1        | 72,04                                                 |
|               | 8             | 2        | 72,20                                                 |
|               | 9             | 3        | 72,16                                                 |
| TRATAMIENTO 4 | 10            | 1        | 71,90                                                 |
|               | 11            | 2        | 71,87                                                 |
|               | 12            | 3        | 71,48                                                 |
| TRATAMIENTO 5 | 13            | 1        | 72,71                                                 |
|               | 14            | 2        | 72,01                                                 |
|               | 15            | 3        | 72,99                                                 |
| TRATAMIENTO 6 | 16            | 1        | 72,69                                                 |
|               | 17            | 2        | 72,31                                                 |
|               | 18            | 3        | 73,00                                                 |
| TRATAMIENTO 7 | 19            | 1        | 73,30                                                 |
|               | 20            | 2        | 71,09                                                 |
|               | 21            | 3        | 72,83                                                 |
| TRATAMIENTO 8 | 22            | 1        | 72,13                                                 |
|               | 23            | 2        | 72,67                                                 |
|               | 24            | 3        | 73,41                                                 |
| TRATAMIENTO 9 | 25            | 1        | 72,17                                                 |
|               | 26            | 2        | 70,94                                                 |
|               | 27            | 3        | 71,74                                                 |

Tabla 21 — Digestibilidad *in vitro* de la proteína

| Tratamiento   | Observaciones | Réplicas | Digestibilidad <i>in vitro</i> de la proteína |
|---------------|---------------|----------|-----------------------------------------------|
| TRATAMIENTO 1 | 1             | 1        | 70,91                                         |
|               | 2             | 2        | 70,73                                         |
|               | 3             | 3        | 69,64                                         |
| TRATAMIENTO 2 | 4             | 1        | 65,84                                         |
|               | 5             | 2        | 65,82                                         |
|               | 6             | 3        | 68,01                                         |
| TRATAMIENTO 3 | 7             | 1        | 65,84                                         |
|               | 8             | 2        | 64,57                                         |
|               | 9             | 3        | 62,40                                         |
| TRATAMIENTO 4 | 10            | 1        | 86,84                                         |
|               | 11            | 2        | 69,28                                         |
|               | 12            | 3        | 63,67                                         |
| TRATAMIENTO 5 | 13            | 1        | 75,25                                         |
|               | 14            | 2        | 75,25                                         |
|               | 15            | 3        | 72,36                                         |
| TRATAMIENTO 6 | 16            | 1        | 74,35                                         |
|               | 17            | 2        | 74,35                                         |
|               | 18            | 3        | 75,80                                         |
| TRATAMIENTO 7 | 19            | 1        | 67,65                                         |
|               | 20            | 2        | 71,45                                         |
|               | 21            | 3        | 68,92                                         |
| TRATAMIENTO 8 | 22            | 1        | 73,08                                         |
|               | 23            | 2        | 68,92                                         |
|               | 24            | 3        | 69,10                                         |
| TRATAMIENTO 9 | 25            | 1        | 70,91                                         |
|               | 26            | 2        | 70,73                                         |
|               | 27            | 3        | 69,64                                         |

**Tabla 22 — Polifenoles totales**

| Tratamiento   | Observaciones | Réplicas | AGE (mg/ 100 g m.s) |
|---------------|---------------|----------|---------------------|
| TRATAMIENTO 1 | 1             | 1        | 250,09              |
|               | 2             | 2        | 247,62              |
|               | 3             | 3        | 255,07              |
| TRATAMIENTO 2 | 4             | 1        | 255,03              |
|               | 5             | 2        | 270,27              |
|               | 6             | 3        | 227,07              |
| TRATAMIENTO 3 | 7             | 1        | 229,97              |
|               | 8             | 2        | 251,46              |
|               | 9             | 3        | 243,26              |
| TRATAMIENTO 4 | 10            | 1        | 237,01              |
|               | 11            | 2        | 240,92              |
|               | 12            | 3        | 236,56              |
| TRATAMIENTO 5 | 13            | 1        | 241,15              |
|               | 14            | 2        | 255,13              |
|               | 15            | 3        | 204,61              |
| TRATAMIENTO 6 | 16            | 1        | 221,42              |
|               | 17            | 2        | 222,61              |
|               | 18            | 3        | 232,56              |
| TRATAMIENTO 7 | 19            | 1        | 241,89              |
|               | 20            | 2        | 247,99              |
|               | 21            | 3        | 255,64              |
| TRATAMIENTO 8 | 22            | 1        | 262,61              |
|               | 23            | 2        | 267,05              |
|               | 24            | 3        | 271,78              |
| TRATAMIENTO 9 | 25            | 1        | 224,35              |
|               | 26            | 2        | 244,03              |
|               | 27            | 3        | 256,08              |

Donde: AGE: ácido gálico equivalente

**Tabla 23 — Capacidad antioxidante DPPH**

| Tratamiento   | Observaciones | Réplicas | TE ( $\mu\text{mol/ g m.s}$ ) |
|---------------|---------------|----------|-------------------------------|
| TRATAMIENTO 1 | 1             | 1        | 40,69                         |
|               | 2             | 2        | 41,39                         |
|               | 3             | 3        | 40,56                         |
| TRATAMIENTO 2 | 4             | 1        | 38,63                         |
|               | 5             | 2        | 45,03                         |
|               | 6             | 3        | 41,42                         |
| TRATAMIENTO 3 | 7             | 1        | 37,79                         |
|               | 8             | 2        | 51,32                         |
|               | 9             | 3        | 46,94                         |
| TRATAMIENTO 4 | 10            | 1        | 39,75                         |
|               | 11            | 2        | 42,89                         |
|               | 12            | 3        | 42,49                         |
| TRATAMIENTO 5 | 13            | 1        | 35,89                         |
|               | 14            | 2        | 44,44                         |
|               | 15            | 3        | 33,32                         |
| TRATAMIENTO 6 | 16            | 1        | 36,56                         |
|               | 17            | 2        | 38,88                         |
|               | 18            | 3        | 41,02                         |
| TRATAMIENTO 7 | 19            | 1        | 38,85                         |
|               | 20            | 2        | 40,76                         |
|               | 21            | 3        | 41,17                         |
| TRATAMIENTO 8 | 22            | 1        | 41,18                         |
|               | 23            | 2        | 44,68                         |
|               | 24            | 3        | 45,40                         |
| TRATAMIENTO 9 | 25            | 1        | 38,84                         |
|               | 26            | 2        | 43,88                         |
|               | 27            | 3        | 47,65                         |

Donde: TE: Trolox equivalente

**Tabla 24 — Capacidad antioxidante ABTS**

| Tratamiento   | Observaciones | Réplicas | TE ( $\mu\text{mol/ g m.s}$ ) |
|---------------|---------------|----------|-------------------------------|
| TRATAMIENTO 1 | 1             | 1        | 180,22                        |
|               | 2             | 2        | 173,45                        |
|               | 3             | 3        | 185,68                        |
| TRATAMIENTO 2 | 4             | 1        | 194,43                        |
|               | 5             | 2        | 213,19                        |
|               | 6             | 3        | 179,40                        |
| TRATAMIENTO 3 | 7             | 1        | 158,03                        |
|               | 8             | 2        | 170,41                        |
|               | 9             | 3        | 157,84                        |
| TRATAMIENTO 4 | 10            | 1        | 170,16                        |
|               | 11            | 2        | 165,85                        |
|               | 12            | 3        | 172,96                        |
| TRATAMIENTO 5 | 13            | 1        | 162,16                        |
|               | 14            | 2        | 168,51                        |
|               | 15            | 3        | 139,60                        |
| TRATAMIENTO 6 | 16            | 1        | 166,59                        |
|               | 17            | 2        | 170,59                        |
|               | 18            | 3        | 168,83                        |
| TRATAMIENTO 7 | 19            | 1        | 173,44                        |
|               | 20            | 2        | 190,29                        |
|               | 21            | 3        | 210,37                        |
| TRATAMIENTO 8 | 22            | 1        | 181,41                        |
|               | 23            | 2        | 175,16                        |
|               | 24            | 3        | 181,14                        |
| TRATAMIENTO 9 | 25            | 1        | 168,15                        |
|               | 26            | 2        | 179,48                        |
|               | 27            | 3        | 171,50                        |

Donde: TE: Trolox equivalente

**Tabla 25 — Solubilidad en agua**

| Tratamiento   | Observaciones | Réplicas | Solubilidad en agua<br>(por ciento) |
|---------------|---------------|----------|-------------------------------------|
| TRATAMIENTO 1 | 1             | 1        | 55,49                               |
|               | 2             | 2        | 64,50                               |
|               | 3             | 3        | 56,06                               |
| TRATAMIENTO 2 | 4             | 1        | 66,40                               |
|               | 5             | 2        | 54,18                               |
|               | 6             | 3        | 63,27                               |
| TRATAMIENTO 3 | 7             | 1        | 61,47                               |
|               | 8             | 2        | 61,25                               |
|               | 9             | 3        | 65,56                               |
| TRATAMIENTO 4 | 10            | 1        | 58,45                               |
|               | 11            | 2        | 53,98                               |
|               | 12            | 3        | 47,06                               |
| TRATAMIENTO 5 | 13            | 1        | 83,59                               |
|               | 14            | 2        | 78,54                               |
|               | 15            | 3        | 80,02                               |
| TRATAMIENTO 6 | 16            | 1        | 88,35                               |
|               | 17            | 2        | 87,65                               |
|               | 18            | 3        | 73,80                               |
| TRATAMIENTO 7 | 19            | 1        | 87,85                               |
|               | 20            | 2        | 95,08                               |
|               | 21            | 3        | 85,86                               |
| TRATAMIENTO 8 | 22            | 1        | 88,11                               |
|               | 23            | 2        | 90,75                               |
|               | 24            | 3        | 76,55                               |
| TRATAMIENTO 9 | 25            | 1        | 35,26                               |
|               | 26            | 2        | 40,63                               |
|               | 27            | 3        | 39,21                               |

**Tabla 26 — Capacidad de absorción de agua**

| Tratamiento   | Observaciones | Réplicas | Capacidad de absorción de agua (g agua/ g m.s) |
|---------------|---------------|----------|------------------------------------------------|
| TRATAMIENTO 1 | 1             | 1        | 3,73                                           |
|               | 2             | 2        | 3,97                                           |
|               | 3             | 3        | 4,63                                           |
| TRATAMIENTO 2 | 4             | 1        | 5,11                                           |
|               | 5             | 2        | 4,45                                           |
|               | 6             | 3        | 5,43                                           |
| TRATAMIENTO 3 | 7             | 1        | 5,59                                           |
|               | 8             | 2        | 5,42                                           |
|               | 9             | 3        | 5,51                                           |
| TRATAMIENTO 4 | 10            | 1        | 4,86                                           |
|               | 11            | 2        | 4,77                                           |
|               | 12            | 3        | 4,41                                           |
| TRATAMIENTO 5 | 13            | 1        | 3,35                                           |
|               | 14            | 2        | 4,16                                           |
|               | 15            | 3        | 3,12                                           |
| TRATAMIENTO 6 | 16            | 1        | 3,83                                           |
|               | 17            | 2        | 3,40                                           |
|               | 18            | 3        | 4,31                                           |
| TRATAMIENTO 7 | 19            | 1        | 4,19                                           |
|               | 20            | 2        | 4,83                                           |
|               | 21            | 3        | 4,52                                           |
| TRATAMIENTO 8 | 22            | 1        | 4,62                                           |
|               | 23            | 2        | 4,17                                           |
|               | 24            | 3        | 4,61                                           |
| TRATAMIENTO 9 | 25            | 1        | 3,54                                           |
|               | 26            | 2        | 3,54                                           |
|               | 27            | 3        | 4,21                                           |

Tabla 27 — Capacidad de retención de agua

| Tratamiento   | Observaciones | Réplicas | Capacidad de retención de agua (g agua/ g m.s) |
|---------------|---------------|----------|------------------------------------------------|
| TRATAMIENTO 1 | 1             | 1        | 5,92                                           |
|               | 2             | 2        | 5,34                                           |
|               | 3             | 3        | 5,67                                           |
| TRATAMIENTO 2 | 4             | 1        | 6,02                                           |
|               | 5             | 2        | 5,72                                           |
|               | 6             | 3        | 6,40                                           |
| TRATAMIENTO 3 | 7             | 1        | 5,60                                           |
|               | 8             | 2        | 3,36                                           |
|               | 9             | 3        | 6,18                                           |
| TRATAMIENTO 4 | 10            | 1        | 5,18                                           |
|               | 11            | 2        | 5,27                                           |
|               | 12            | 3        | 5,31                                           |
| TRATAMIENTO 5 | 13            | 1        | 4,72                                           |
|               | 14            | 2        | 5,25                                           |
|               | 15            | 3        | 5,64                                           |
| TRATAMIENTO 6 | 16            | 1        | 5,72                                           |
|               | 17            | 2        | 6,24                                           |
|               | 18            | 3        | 6,19                                           |
| TRATAMIENTO 7 | 19            | 1        | 5,56                                           |
|               | 20            | 2        | 6,56                                           |
|               | 21            | 3        | 5,86                                           |
| TRATAMIENTO 8 | 22            | 1        | 5,71                                           |
|               | 23            | 2        | 5,60                                           |
|               | 24            | 3        | 5,79                                           |
| TRATAMIENTO 9 | 25            | 1        | 4,73                                           |
|               | 26            | 2        | 4,55                                           |
|               | 27            | 3        | 4,65                                           |

**Tabla 28 — Capacidad de hinchamiento**

| Tratamiento   | Observaciones | Réplicas | Capacidad de hinchamiento (ml de agua/ g m.s) |
|---------------|---------------|----------|-----------------------------------------------|
| TRATAMIENTO 1 | 1             | 1        | 2,00                                          |
|               | 2             | 2        | 5,99                                          |
|               | 3             | 3        | 5,00                                          |
| TRATAMIENTO 2 | 4             | 1        | 2,00                                          |
|               | 5             | 2        | 0,40                                          |
|               | 6             | 3        | 1,00                                          |
| TRATAMIENTO 3 | 7             | 1        | 6,79                                          |
|               | 8             | 2        | 12,79                                         |
|               | 9             | 3        | 4,60                                          |
| TRATAMIENTO 4 | 10            | 1        | 10,00                                         |
|               | 11            | 2        | 6,99                                          |
|               | 12            | 3        | 7,99                                          |
| TRATAMIENTO 5 | 13            | 1        | 9,69                                          |
|               | 14            | 2        | 14,49                                         |
|               | 15            | 3        | 9,48                                          |
| TRATAMIENTO 6 | 16            | 1        | 6,99                                          |
|               | 17            | 2        | 31,57                                         |
|               | 18            | 3        | 28,77                                         |
| TRATAMIENTO 7 | 19            | 1        | 8,69                                          |
|               | 20            | 2        | 8,50                                          |
|               | 21            | 3        | 8,38                                          |
| TRATAMIENTO 8 | 22            | 1        | 10,19                                         |
|               | 23            | 2        | 9,38                                          |
|               | 24            | 3        | 9,28                                          |
| TRATAMIENTO 9 | 25            | 1        | 7,98                                          |
|               | 26            | 2        | 10,47                                         |
|               | 27            | 3        | 9,98                                          |

Tabla 29 — Capacidad de absorción de aceite

| Tratamiento   | Observaciones | Réplicas | Capacidad de absorción de aceite (g aceite/ g m.s) |
|---------------|---------------|----------|----------------------------------------------------|
| TRATAMIENTO 1 | 1             | 1        | 5,43                                               |
|               | 2             | 2        | 3,84                                               |
|               | 3             | 3        | 4,23                                               |
| TRATAMIENTO 2 | 4             | 1        | 3,75                                               |
|               | 5             | 2        | 4,78                                               |
|               | 6             | 3        | 5,20                                               |
| TRATAMIENTO 3 | 7             | 1        | 4,79                                               |
|               | 8             | 2        | 5,35                                               |
|               | 9             | 3        | 5,15                                               |
| TRATAMIENTO 4 | 10            | 1        | 4,31                                               |
|               | 11            | 2        | 5,09                                               |
|               | 12            | 3        | 4,88                                               |
| TRATAMIENTO 5 | 13            | 1        | 5,17                                               |
|               | 14            | 2        | 3,80                                               |
|               | 15            | 3        | 5,14                                               |
| TRATAMIENTO 6 | 16            | 1        | 4,83                                               |
|               | 17            | 2        | 4,83                                               |
|               | 18            | 3        | 4,81                                               |
| TRATAMIENTO 7 | 19            | 1        | 5,08                                               |
|               | 20            | 2        | 4,99                                               |
|               | 21            | 3        | 5,20                                               |
| TRATAMIENTO 8 | 22            | 1        | 4,81                                               |
|               | 23            | 2        | 5,21                                               |
|               | 24            | 3        | 5,19                                               |
| TRATAMIENTO 9 | 25            | 1        | 4,32                                               |
|               | 26            | 2        | 4,30                                               |
|               | 27            | 3        | 5,02                                               |

## ANEXO 2

## Análisis estadístico para el rendimiento

Tabla 30 — Tabla ANOVA de un factor

|              | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F     | Sig. |
|--------------|-------------------|----|------------------|-------|------|
| Inter-grupos | 55,766            | 7  | 7,967            | 4,466 | ,006 |
| Intra-grupos | 28,542            | 16 | 1,784            |       |      |
| Total        | 84,309            | 23 |                  |       |      |

Tabla 31 — Prueba HSD de Tukey

| Tratamiento | N | Subconjunto para alfa = 0.05 |         |
|-------------|---|------------------------------|---------|
|             |   | 1                            | 2       |
| 3,00        | 3 | 26,2333                      |         |
| 4,00        | 3 | 26,6467                      |         |
| 5,00        | 3 | 26,6700                      |         |
| 8,00        | 3 | 27,4500                      | 27,4500 |
| 6,00        | 3 | 27,4967                      | 27,4967 |
| 1,00        | 3 | 29,0267                      | 29,0267 |
| 7,00        | 3 | 29,2033                      | 29,2033 |
| 2,00        | 3 |                              | 30,9700 |
| Sig.        |   | ,185                         | ,077    |

Tabla 32 — Diferencia significativa de medias

| Origen                           | Suma de cuadrados tipo III | gl | Media cuadrática | F         | Sig. |
|----------------------------------|----------------------------|----|------------------|-----------|------|
| Modelo corregido                 | 55,766 <sup>a</sup>        | 7  | 7,967            | 4,466     | ,006 |
| Intersección                     | 18765,075                  | 1  | 18765,075        | 10519,154 | ,000 |
| Germinado                        | 8,039                      | 1  | 8,039            | 4,506     | ,050 |
| Remojo                           | 1,586                      | 1  | 1,586            | ,889      | ,360 |
| Iluminación                      | ,767                       | 1  | ,767             | ,430      | ,521 |
| Germinado * Remojo               | 34,584                     | 1  | 34,584           | 19,387    | ,000 |
| Germinado * Iluminación          | 6,335                      | 1  | 6,335            | 3,551     | ,078 |
| Remojo * Iluminación             | 4,043                      | 1  | 4,043            | 2,266     | ,152 |
| Germinado * Remojo * Iluminación | ,413                       | 1  | ,413             | ,232      | ,637 |
| Error                            | 28,542                     | 16 | 1,784            |           |      |
| Total                            | 18849,383                  | 24 |                  |           |      |
| Total corregida                  | 84,309                     | 23 |                  |           |      |

### ANEXO 3

#### Análisis estadístico para el porcentaje de semillas viables

**Tabla 33 — Tabla ANOVA de un factor**

|              | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F     | Sig. |
|--------------|-------------------|----|------------------|-------|------|
| Inter-grupos | 1916,406          | 7  | 273,772          | 6,489 | ,001 |
| Intra-grupos | 675,000           | 16 | 42,188           |       |      |
| Total        | 2591,406          | 23 |                  |       |      |

**Tabla 34 — Prueba HSD de Tukey**

| Tratamiento | N | Subconjunto para alfa = 0.05 |         |         |
|-------------|---|------------------------------|---------|---------|
|             |   | 1                            | 2       | 3       |
| 5,00        | 3 | 67,5000                      |         |         |
| 6,00        | 3 | 74,1667                      | 74,1667 |         |
| 2,00        | 3 | 76,6667                      | 76,6667 | 76,6667 |
| 1,00        | 3 | 83,3333                      | 83,3333 | 83,3333 |
| 3,00        | 3 | 84,1667                      | 84,1667 | 84,1667 |
| 7,00        | 3 |                              | 88,3333 | 88,3333 |
| 4,00        | 3 |                              |         | 93,3333 |
| 8,00        | 3 |                              |         | 95,0000 |
| Sig.        |   | ,090                         | ,201    | ,050    |

**Tabla 35 — Diferencia significativa de medias**

| Origen                           | Suma de cuadrados tipo III | gl | Media cuadrática | F        | Sig. |
|----------------------------------|----------------------------|----|------------------|----------|------|
| Modelo corregido                 | 1916,406 <sup>a</sup>      | 7  | 273,772          | 6,489    | ,001 |
| Intersección                     | 164589,844                 | 1  | 164589,844       | 3901,389 | ,000 |
| Germinado                        | 1312,760                   | 1  | 1312,760         | 31,117   | ,000 |
| Remojo                           | 58,594                     | 1  | 58,594           | 1,389    | ,256 |
| Iluminación                      | 94,010                     | 1  | 94,010           | 2,228    | ,155 |
| Germinado * Remojo               | 219,010                    | 1  | 219,010          | 5,191    | ,037 |
| Germinado * Iluminación          | 94,010                     | 1  | 94,010           | 2,228    | ,155 |
| Remojo * Iluminación             | 44,010                     | 1  | 44,010           | 1,043    | ,322 |
| Germinado * Remojo * Iluminación | 94,010                     | 1  | 94,010           | 2,228    | ,155 |
| Error                            | 675,000                    | 16 | 42,188           |          |      |
| Total                            | 167181,250                 | 24 |                  |          |      |
| Total corregida                  | 2591,406                   | 23 |                  |          |      |

## ANEXO 4

## Análisis estadístico de la composición proximal de los tratamientos

Tabla 36 — Tabla ANOVA de un factor para la grasa

|              | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F     | Sig. |
|--------------|-------------------|----|------------------|-------|------|
| Inter-grupos | 4,972             | 8  | ,622             | 1,157 | ,376 |
| Intra-grupos | 9,673             | 18 | ,537             |       |      |
| Total        | 14,645            | 26 |                  |       |      |

Tabla 37 — Tabla ANOVA de un factor para la proteína

|              | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F     | Sig. |
|--------------|-------------------|----|------------------|-------|------|
| Inter-grupos | 1,128             | 8  | ,141             | 1,064 | ,431 |
| Intra-grupos | 2,252             | 17 | ,132             |       |      |
| Total        | 3,380             | 25 |                  |       |      |

Tabla 38 — Tabla ANOVA de un factor para la fibra cruda

|              | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F     | Sig. |
|--------------|-------------------|----|------------------|-------|------|
| Inter-grupos | 5,554             | 8  | ,694             | 1,322 | ,294 |
| Intra-grupos | 9,450             | 18 | ,525             |       |      |
| Total        | 15,004            | 26 |                  |       |      |

Tabla 39 — Tabla ANOVA de un factor para las cenizas

|              | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F    | Sig. |
|--------------|-------------------|----|------------------|------|------|
| Inter-grupos | ,205              | 8  | ,026             | ,956 | ,498 |
| Intra-grupos | ,483              | 18 | ,027             |      |      |
| Total        | ,688              | 26 |                  |      |      |

Tabla 40 — Tabla ANOVA de un factor para el ELN

|              | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F     | Sig. |
|--------------|-------------------|----|------------------|-------|------|
| Inter-grupos | ,138              | 8  | ,017             | 1,044 | ,441 |
| Intra-grupos | ,297              | 18 | ,016             |       |      |
| Total        | ,434              | 26 |                  |       |      |

## ANEXO 5

Análisis estadístico de la digestibilidad *in vitro* de la proteína de los tratamientos

Tabla 41 — Tabla ANOVA de un factor

|              | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F     | Sig. |
|--------------|-------------------|----|------------------|-------|------|
| Inter-grupos | 294,830           | 8  | 36,854           | 1,991 | ,107 |
| Intra-grupos | 333,146           | 18 | 18,508           |       |      |
| Total        | 627,976           | 26 |                  |       |      |

Tabla 42 — Prueba HSD de Tukey

| Tratamiento | N | Subconjunto para alfa = 0.05 |         |
|-------------|---|------------------------------|---------|
|             |   | 1                            | 2       |
| 2,00        | 3 | 64,2700                      |         |
| 1,00        | 3 | 66,5567                      | 66,5567 |
| 8,00        | 3 | 68,9767                      | 68,9767 |
| 6,00        | 3 | 69,3400                      | 69,3400 |
| 7,00        | 3 | 70,3767                      | 70,3767 |
| 9,00        | 3 | 70,4267                      | 70,4267 |
| 3,00        | 3 |                              | 73,2633 |
| 4,00        | 3 |                              | 74,2867 |
| 5,00        | 3 |                              | 74,8333 |
| Sig.        |   | ,136                         | ,053    |

Tabla 43 — Diferencia significativa de medias

| Origen                           | Suma de cuadrados<br>tipo III | gl | Media cuadrática | F        | Sig. |
|----------------------------------|-------------------------------|----|------------------|----------|------|
| Modelo corregido                 | 294,734 <sup>a</sup>          | 7  | 42,105           | 2,028    | ,114 |
| Intersección                     | 118396,544                    | 1  | 118396,544       | 5702,391 | ,000 |
| Remojo                           | 9,907                         | 1  | 9,907            | ,477     | ,500 |
| Germinado                        | 53,044                        | 1  | 53,044           | 2,555    | ,130 |
| Iluminación                      | 24,888                        | 1  | 24,888           | 1,199    | ,290 |
| Remojo * Germinado               | 174,205                       | 1  | 174,205          | 8,390    | ,011 |
| Remojo * Iluminación             | 11,844                        | 1  | 11,844           | ,570     | ,461 |
| Germinado * Iluminación          | 20,609                        | 1  | 20,609           | ,993     | ,334 |
| Remojo * Germinado * Iluminación | ,236                          | 1  | ,236             | ,011     | ,916 |
| Error                            | 332,202                       | 16 | 20,763           |          |      |
| Total                            | 119023,480                    | 24 |                  |          |      |
| Total corregida                  | 626,936                       | 23 |                  |          |      |



## ANEXO 6

## Análisis estadístico del contenido fenólico total de los tratamientos

Tabla 44 — Tabla ANOVA de un factor

|              | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F     | Sig. |
|--------------|-------------------|----|------------------|-------|------|
| Inter-grupos | 3434,821          | 8  | 429,353          | 2,327 | ,065 |
| Intra-grupos | 3321,791          | 18 | 184,544          |       |      |
| Total        | 6756,611          | 26 |                  |       |      |

Tabla 45 — Prueba HSD de Tukey

| Tratamiento | N | Subconjunto para alfa = 0.05 |          |
|-------------|---|------------------------------|----------|
|             |   | 1                            | 2        |
| 6,00        | 3 | 225,5277                     |          |
| 5,00        | 3 | 233,6290                     | 233,6290 |
| 4,00        | 3 | 238,1623                     | 238,1623 |
| 9,00        | 3 | 241,4857                     | 241,4857 |
| 3,00        | 3 | 241,5647                     | 241,5647 |
| 7,00        | 3 | 248,5077                     | 248,5077 |
| 2,00        | 3 | 250,7873                     | 250,7873 |
| 1,00        | 3 | 250,9263                     | 250,9263 |
| 8,00        | 3 |                              | 267,1473 |
| Sig.        |   | ,396                         | ,124     |

Tabla 46 — Diferencia significativa de medias

| Origen                           | Suma de cuadrados tipo III | gl | Media cuadrática | F        | Sig. |
|----------------------------------|----------------------------|----|------------------|----------|------|
| Modelo corregido                 | 3409,734 <sup>a</sup>      | 7  | 487,105          | 2,775    | ,043 |
| Intersección                     | 1435102,555                | 1  | 1435102,555      | 8176,040 | ,000 |
| Remojo                           | 16,484                     | 1  | 16,484           | ,094     | ,763 |
| Iluminación                      | 18,393                     | 1  | 18,393           | ,105     | ,750 |
| Germinado                        | 446,430                    | 1  | 446,430          | 2,543    | ,130 |
| Remojo * Iluminación             | 74,307                     | 1  | 74,307           | ,423     | ,525 |
| Remojo * Germinado               | 2309,863                   | 1  | 2309,863         | 13,160   | ,002 |
| Iluminación * Germinado          | 206,683                    | 1  | 206,683          | 1,178    | ,294 |
| Remojo * Iluminación * Germinado | 337,575                    | 1  | 337,575          | 1,923    | ,185 |
| Error                            | 2808,406                   | 16 | 175,525          |          |      |
| Total                            | 1441320,695                | 24 |                  |          |      |
| Total corregida                  | 6218,140                   | 23 |                  |          |      |

## ANEXO 7

## Capacidad antioxidante ABTS de los tratamientos

Tabla 47 — Tabla ANOVA de un factor

|              | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F     | Sig. |
|--------------|-------------------|----|------------------|-------|------|
| Inter-grupos | 3923,256          | 8  | 490,407          | 4,362 | ,005 |
| Intra-grupos | 2023,798          | 18 | 112,433          |       |      |
| Total        | 5947,054          | 26 |                  |       |      |

Tabla 48 — Prueba HSD de Tukey

| Tratamiento | N | Subconjunto para alfa = 0.05 |          |          |
|-------------|---|------------------------------|----------|----------|
|             |   | 1                            | 2        | 3        |
| 5,00        | 3 | 156,7567                     |          |          |
| 3,00        | 3 | 162,0933                     | 162,0933 |          |
| 6,00        | 3 | 168,6700                     | 168,6700 | 168,6700 |
| 4,00        | 3 | 169,6567                     | 169,6567 | 169,6567 |
| 9,00        | 3 | 173,0433                     | 173,0433 | 173,0433 |
| 8,00        | 3 | 179,2367                     | 179,2367 | 179,2367 |
| 1,00        | 3 | 179,7833                     | 179,7833 | 179,7833 |
| 7,00        | 3 |                              | 191,3667 | 191,3667 |
| 2,00        | 3 |                              |          | 195,6733 |
| Sig.        |   | ,229                         | ,063     | ,104     |

Tabla 49 — Diferencia significativa de medias

| Origen                           | Suma de cuadrados tipo III | gl | Media cuadrática | F        | Sig. |
|----------------------------------|----------------------------|----|------------------|----------|------|
| Modelo corregido                 | 3908,388 <sup>a</sup>      | 7  | 558,341          | 4,567    | ,006 |
| Intersección                     | 738402,429                 | 1  | 738402,429       | 6039,975 | ,000 |
| Remojo                           | 46,844                     | 1  | 46,844           | ,383     | ,545 |
| Germinado                        | ,810                       | 1  | ,810             | ,007     | ,936 |
| Iluminación                      | 202,479                    | 1  | 202,479          | 1,656    | ,216 |
| Remojo * Germinado               | 2962,593                   | 1  | 2962,593         | 24,233   | ,000 |
| Remojo * Iluminación             | 210,101                    | 1  | 210,101          | 1,719    | ,208 |
| Germinado * Iluminación          | 392,931                    | 1  | 392,931          | 3,214    | ,092 |
| Remojo * Germinado * Iluminación | 92,630                     | 1  | 92,630           | ,758     | ,397 |
| Error                            | 1956,041                   | 16 | 122,253          |          |      |
| Total                            | 744266,857                 | 24 |                  |          |      |
| Total corregida                  | 5864,429                   | 23 |                  |          |      |

## ANEXO 8

## Capacidad de absorción de agua de los tratamientos

Tabla 50 — Tabla ANOVA de un factor

|              | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F     | Sig. |
|--------------|-------------------|----|------------------|-------|------|
| Inter-grupos | 9,588             | 8  | 1,198            | 7,952 | ,000 |
| Intra-grupos | 2,713             | 18 | ,151             |       |      |
| Total        | 12,301            | 26 |                  |       |      |

Tabla 51 — Prueba HSD de Tukey

| Tratamiento | N | Subconjunto para alfa = 0.05 |        |        |        |
|-------------|---|------------------------------|--------|--------|--------|
|             |   | 1                            | 2      | 3      | 4      |
| 5,00        | 3 | 3,5456                       |        |        |        |
| 9,00        | 3 | 3,7647                       | 3,7647 |        |        |
| 6,00        | 3 | 3,8462                       | 3,8462 |        |        |
| 1,00        | 3 | 4,1091                       | 4,1091 | 4,1091 |        |
| 8,00        | 3 | 4,4653                       | 4,4653 | 4,4653 | 4,4653 |
| 7,00        | 3 | 4,5142                       | 4,5142 | 4,5142 | 4,5142 |
| 4,00        | 3 |                              | 4,6808 | 4,6808 | 4,6808 |
| 2,00        | 3 |                              |        | 4,9997 | 4,9997 |
| 3,00        | 3 |                              |        |        | 5,5038 |
| Sig.        |   | ,116                         | ,156   | ,179   | ,077   |

Tabla 52 — Diferencia significativa de medias

| Origen                           | Suma de cuadrados tipo III | gl | Media cuadrática | F        | Sig. |
|----------------------------------|----------------------------|----|------------------|----------|------|
| Modelo corregido                 | 8,321 <sup>a</sup>         | 7  | 1,189            | 7,892    | ,000 |
| Intersección                     | 476,953                    | 1  | 476,953          | 3166,490 | ,000 |
| Remojo                           | 3,205                      | 1  | 3,205            | 21,276   | ,000 |
| Germinado                        | 2,673                      | 1  | 2,673            | 17,748   | ,001 |
| Iluminación                      | ,038                       | 1  | ,038             | ,250     | ,624 |
| Remojo * Germinado               | ,098                       | 1  | ,098             | ,648     | ,433 |
| Remojo * Iluminación             | ,015                       | 1  | ,015             | ,096     | ,760 |
| Germinado * Iluminación          | 1,597                      | 1  | 1,597            | 10,599   | ,005 |
| Remojo * Germinado * Iluminación | ,697                       | 1  | ,697             | 4,627    | ,047 |
| Error                            | 2,410                      | 16 | ,151             |          |      |
| Total                            | 487,684                    | 24 |                  |          |      |
| Total corregida                  | 10,731                     | 23 |                  |          |      |

## ANEXO 9

## Solubilidad en agua de los tratamientos

Tabla 53 — Tabla ANOVA de un factor

|              | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F      | Sig. |
|--------------|-------------------|----|------------------|--------|------|
| Inter-grupos | 7237,205          | 8  | 904,651          | 30,489 | ,000 |
| Intra-grupos | 534,080           | 18 | 29,671           |        |      |
| Total        | 7771,286          | 26 |                  |        |      |

Tabla 54 — Prueba HSD de Tukey

| Tratamiento | N | Subconjunto para alfa = 0.05 |         |         |
|-------------|---|------------------------------|---------|---------|
|             |   | 1                            | 2       | 3       |
| 9,00        | 3 | 38,3651                      |         |         |
| 4,00        | 3 | 53,1651                      | 53,1651 |         |
| 1,00        | 3 |                              | 58,6840 |         |
| 2,00        | 3 |                              | 61,2831 |         |
| 3,00        | 3 |                              | 62,7610 |         |
| 5,00        | 3 |                              |         | 80,7170 |
| 6,00        | 3 |                              |         | 83,2659 |
| 8,00        | 3 |                              |         | 85,1367 |
| 7,00        | 3 |                              |         | 89,5968 |
| Sig.        |   | ,070                         | ,469    | ,564    |

Tabla 55 — Diferencia significativa de medias

| Origen                           | Suma de cuadrados tipo III | gl | Media cuadrática | F        | Sig. |
|----------------------------------|----------------------------|----|------------------|----------|------|
| Modelo corregido                 | 4251,805 <sup>a</sup>      | 7  | 607,401          | 18,745   | ,000 |
| Intersección                     | 123814,808                 | 1  | 123814,808       | 3820,999 | ,000 |
| Remojo                           | 3964,996                   | 1  | 3964,996         | 122,362  | ,000 |
| Germinado                        | 16,867                     | 1  | 16,867           | ,521     | ,481 |
| Iluminación                      | 29,748                     | 1  | 29,748           | ,918     | ,352 |
| Remojo * Germinado               | 82,066                     | 1  | 82,066           | 2,533    | ,131 |
| Remojo * Iluminación             | 9,703                      | 1  | 9,703            | ,299     | ,592 |
| Germinado * Iluminación          | 138,336                    | 1  | 138,336          | 4,269    | ,055 |
| Remojo * Germinado * Iluminación | 10,088                     | 1  | 10,088           | ,311     | ,585 |
| Error                            | 518,460                    | 16 | 32,404           |          |      |
| Total                            | 128585,073                 | 24 |                  |          |      |
| Total corregida                  | 4770,265                   | 23 |                  |          |      |

## ANEXO 10

## Capacidad de hinchamiento de los tratamientos

Tabla 56 — Tabla ANOVA de un factor

|              | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F     | Sig. |
|--------------|-------------------|----|------------------|-------|------|
| Inter-grupos | 812,902           | 8  | 101,613          | 4,225 | ,005 |
| Intra-grupos | 432,871           | 18 | 24,048           |       |      |
| Total        | 1245,773          | 26 |                  |       |      |

Tabla 57 — Prueba HSD de Tukey

| Tratamiento | N | Subconjunto para alfa = 0.05 |         |
|-------------|---|------------------------------|---------|
|             |   | 1                            | 2       |
| 2,00        | 3 | 1,1327                       |         |
| 1,00        | 3 | 4,3313                       |         |
| 3,00        | 3 | 8,0586                       |         |
| 4,00        | 3 | 8,3283                       |         |
| 7,00        | 3 | 8,5248                       | 8,5248  |
| 9,00        | 3 | 9,4776                       | 9,4776  |
| 8,00        | 3 | 9,6175                       | 9,6175  |
| 5,00        | 3 | 11,2190                      | 11,2190 |
| 6,00        | 3 |                              | 22,4419 |
| Sig.        |   | ,286                         | ,053    |

Tabla 58 — Diferencia significativa de medias

| Origen                           | Suma de cuadrados tipo III | gl | Media cuadrática | F      | Sig. |
|----------------------------------|----------------------------|----|------------------|--------|------|
| Modelo corregido                 | 812,843 <sup>a</sup>       | 7  | 116,120          | 4,327  | ,007 |
| Intersección                     | 2034,305                   | 1  | 2034,305         | 75,812 | ,000 |
| Remojo                           | 336,451                    | 1  | 336,451          | 12,539 | ,003 |
| Germinado                        | 7,935                      | 1  | 7,935            | ,296   | ,594 |
| Iluminación                      | 33,041                     | 1  | 33,041           | 1,231  | ,284 |
| Remojo * Germinado               | 262,285                    | 1  | 262,285          | 9,775  | ,007 |
| Remojo * Iluminación             | 87,173                     | 1  | 87,173           | 3,249  | ,090 |
| Germinado * Iluminación          | 16,667                     | 1  | 16,667           | ,621   | ,442 |
| Remojo * Germinado * Iluminación | 69,292                     | 1  | 69,292           | 2,582  | ,128 |
| Error                            | 429,334                    | 16 | 26,833           |        |      |
| Total                            | 3276,482                   | 24 |                  |        |      |
| Total corregida                  | 1242,177                   | 23 |                  |        |      |

## ANEXO 11

## Capacidad de retención de agua y de absorción de aceite de los tratamientos

Tabla 59 — Tabla ANOVA de un factor para la capacidad de retención de agua

|              | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F     | Sig. |
|--------------|-------------------|----|------------------|-------|------|
| Inter-grupos | 5,989             | 8  | ,749             | 2,241 | ,074 |
| Intra-grupos | 6,014             | 18 | ,334             |       |      |
| Total        | 12,003            | 26 |                  |       |      |

Tabla 60 — Tabla ANOVA de un factor para la capacidad de absorción de aceite

|              | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F    | Sig. |
|--------------|-------------------|----|------------------|------|------|
| Inter-grupos | 1,392             | 8  | ,174             | ,672 | ,710 |
| Intra-grupos | 4,663             | 18 | ,259             |      |      |
| Total        | 6,055             | 26 |                  |      |      |

## ANEXO 12

### Metodologías utilizadas para la Evaluación nutricional de la harina de basul germinado



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE ZOOTECNIA - DEPARTAMENTO ACADEMICO DE NUTRICION  
LABORATORIO DE EVALUACION NUTRICIONAL DE ALIMENTOS

"Año de la lucha contra la corrupción y la impunidad"

#### INFORME DE ENSAYO LENA N° 0516/2019

CLIENTE : UNAMBA  
NOMBRE DEL PRODUCTO : 28 muestras de semillas  
(Denominación responsabilidad del cliente)  
MUESTRA : PROPORCIONADA POR EL CLIENTE  
FECHA DE RECEPCIÓN : 10-05-2019  
FECHA DE ANÁLISIS : Del 10/05/19 al 28/06/19  
CANTIDAD DE MUESTRA : Indicado en tabla  
PRESENTACION : Muestras en frascos plásticos  
IDENTIFICACION : AQ19-0516/01-28

ELN<sup>1</sup> = EXTRACTO LIBRE DE NITRÓGENO

#### Métodos utilizados:

- |                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| a.- AOAC (2005), 950.46  | e.- AOAC (2005), 942.05 |
| b.- AOAC (2005), 984.13  |                         |
| c.- AOAC (2005), 2003.05 |                         |
| d.- AOAC (2005), 962.09  |                         |

Atentamente,

  
Dr. Carlos Gómez Bravo  
Jefe del Laboratorio de Evaluación  
Nutricional de Alimentos



La Molina, 28 de Junio del 2019



**Figura 13 — Pelado de la materia prima (basul)**



**Figura 14 — Selección de la materia prima**



**Figura 15 — Proceso de germinado de las semillas de basul**



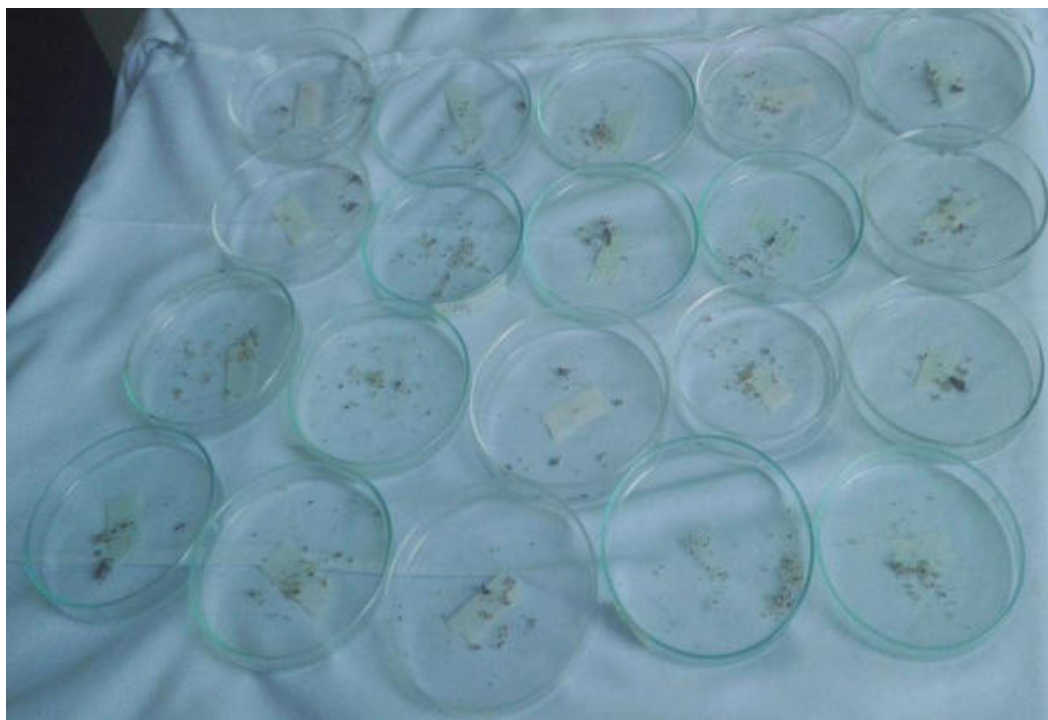
**Figura 16 — Proceso de secado por convección forzada de las semillas de basul**



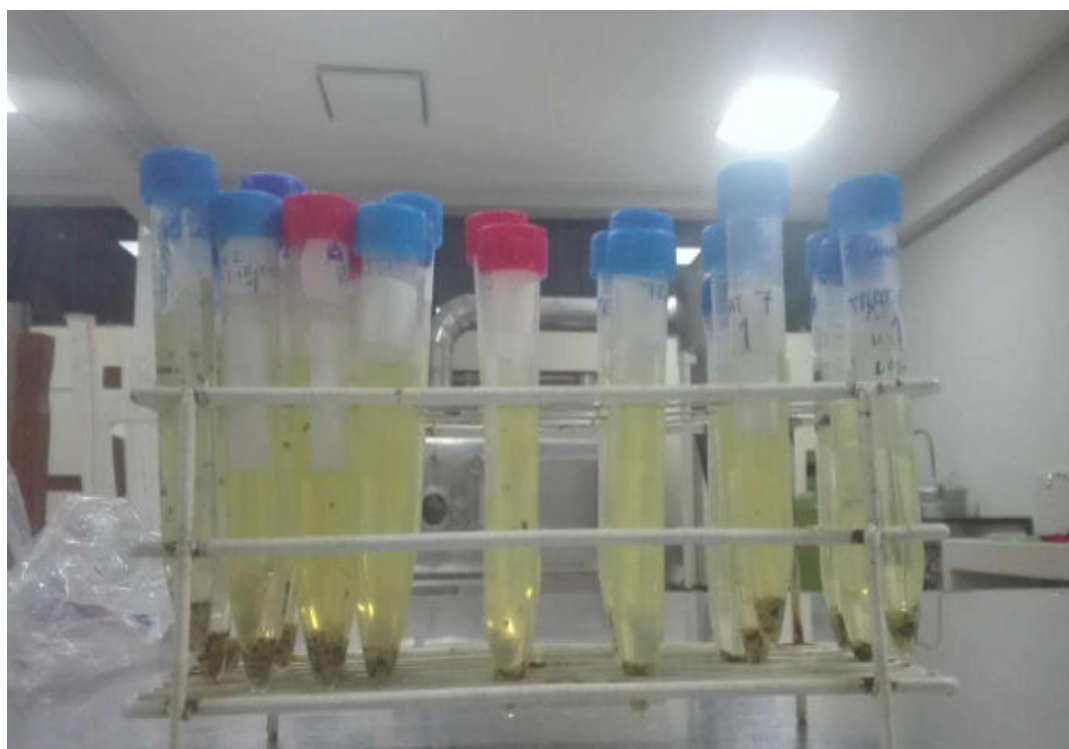
**Figura 17 — Obtención de la harina de basul germinado a diferentes condiciones**



**Figura 18 — Harina de basul germinado de diferentes granulometrías**



**Figura 19 — Solubilidad en agua de la harina de basul germinado a diferentes condiciones**



**Figura 20 — Capacidad de absorción de aceite de la harina de basul germinado a diferentes condiciones**



Figura 21 — Baño maría de las diferentes muestras para la digestibilidad *in vitro* de la proteína



Figura 22 — Digestibilidad *in vitro* de la proteína de basul germinado a diferentes condiciones



**Figura 23 — Determinación de los fenoles totales de la harina de basul germinado a diferentes condiciones**



**Figura 24 — Determinación de la capacidad antioxidante de la harina de basul germinado a diferentes condiciones**