







Efecto del germinado sobre las características nutricionales, propiedades bioactivas y funcionales de basul (*Erythrina edulis*)

Fulgencio Vilcanqui-Pérez^{1*},  Guadalupe Chaquilla-Quilca¹,  Víctor Hugo Sarmiento Casavilca¹, 
Candy Naya Céspedes Orosco¹,  Yeni Ventura Saldívar¹,  Paola Cortés-Avenidaño². 

Resumen: Efecto del germinado sobre las características nutricionales, propiedades bioactivas y funcionales de basul (*Erythrina edulis*). El basul es el fruto de la planta *Erythrina edulis* que posee un alto contenido de proteínas, fibra dietética y antioxidantes, pero también con contenido de antinutrientes. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto del germinado sobre las características nutricionales, propiedades bioactivas y funcionales de las semillas de basul. Mediante un diseño aleatorizado con arreglo factorial de 2x2x2 (tiempo de remojo, tiempo de germinado, presencia o ausencia de luz), las semillas de basul fueron germinadas y convertidas en harina (HBG) para determinar la composición proximal y la digestibilidad *in vitro* de la proteína. Además, se ha determinado los fenoles totales (CFT), la capacidad antioxidante (métodos ABTS y DPPH) y las propiedades de hidratación y adsorción de aceite. Las diferentes condiciones de germinado no han modificado la composición proximal de la HBG; sin embargo, la digestibilidad *in vitro* de la proteína incrementó hasta en 6,25% en uno de los tratamientos respecto a la muestra no germinada. El CFT, también ha incrementado de 241,49 mg AGE/100g (sin germinar) a 267,15 mg AGE/100g (germinado); al igual que la capacidad antioxidante (ABTS) de 173,04 $\mu\text{molTE/g}$ (sin germinar) a 195,67 $\mu\text{molTE/g}$ (germinado). También se tuvo incrementos en la solubilidad, la capacidad de absorción de agua y la capacidad de hinchamiento. La calidad de la proteína, el contenido de fenoles totales, la capacidad antioxidante y propiedades funcionales de interacción con el agua de la semilla de basul mejora con el germinado. *Arch Latinoam Nutr* 2021; 71(4): 241-251.

Palabras clave: Basul, germinado, digestibilidad *in vitro*, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante.

Abstract: Effect of sprouting on the nutritional characteristics, bioactive and functional properties of basul (*Erythrina edulis*). Basul is the fruit of the *Erythrina edulis* plant. It has a high content of proteins, dietary fiber, and antioxidants, but it also contains antinutrients. The study objective was to evaluate the effect of sprouting on the nutritional characteristics, bioactive and functional properties of basul seeds. Basul seeds were germinated to produce flour (HBG) and determine its proximal composition and *in vitro* digestibility of the protein through a randomized design with a 2x2x2 factorial arrangement (soaking time, germination time, and presence or absence of light). Total phenols (CFT), antioxidant capacity (ABTS and DPPH methods), and hydration and oil adsorption properties were also determined. The different germination conditions did not modify the proximal composition of HBG. However, the *in vitro* digestibility of the protein increased up to 6.25% in one of the treatments compared to the non-germinated sample. The CFT also increased from 241.49 mg AGE/100g (without germination) to 267.15 mg AGE/100g (germinated) and the antioxidant capacity (ABTS) from 173.04 $\mu\text{molTE/g}$ (without germination) to 195.67 $\mu\text{molTE/g}$ (germinated). Solubility, water absorption capacity, and swelling capacity also increased. The quality of the protein, the content of total phenols, the antioxidant capacity, and the functional properties of interaction with the water of the basul seed improved with germination. *Arch Latinoam Nutr* 2021; 71(4): 241-251.

Keywords: Basul, germinated, *in vitro* digestibility, phenolic compounds, antioxidant capacity

Introducción

En el mundo existe una gran diversidad de plantas subutilizadas que crecen en las regiones templadas, tropicales y subtropicales que han sido reconocidas por sus beneficios para la salud humana debido al contenido de compuestos nutritivos, no nutritivos y bioactivos (1).

¹Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Apurímac, Perú. ²Facultad de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
Autor para la correspondencia: Fulgencio Vilcanqui-Pérez, E-mail: fvilcanqui@unamba.edu.pe

Dentro de la diversidad de especies originarias del Perú, la *Erythrina edulis* es una planta que crece con mucha facilidad en los valles interandinos y según el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre SERFOR-Perú, es considerada en estado silvestre. Esta planta produce vainas alargadas que contienen a las semillas perteneciente al grupo de las legumbres, que adoptan diferentes denominaciones tales como basúl, pajuro, poroto, planta de agua o chachafruto, dependiendo de la región de producción (2). Las legumbres en general, son excelentes fuentes de proteínas, carbohidratos complejos, fibra dietética, vitaminas y minerales esenciales (3); al igual que en el contenido de compuestos bioactivos (flavonoides, antocianinas, ácidos fenólicos, aceites esenciales y carotenoides) (4). Por otro lado, las proteínas de las legumbres son buenos complementos de las proteínas de otras fuentes vegetales, aportando aminoácidos esenciales tales como la lisina, leucina, ácido aspártico, ácido glutámico y arginina (5). Sin embargo, uno de los inconvenientes de las legumbres es el contenido de taninos pertenecientes al grupo de los polifenoles, que forman complejos insolubles con las proteínas y reducen su digestibilidad. La presencia del ácido fítico o fitatos, es otro anti nutriente que reduce la biodisponibilidad de minerales (Ca^{2+} , Mg^{2+}) y oligoelementos como Zn^{2+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} y Mn^{2+} (6). Para la reducción de estos efectos adversos, se han diseñado diferentes métodos de tratamiento como el remojo, germinado y cocción (7). El proceso de remojo y germinado de las semillas involucra una serie de cambios fisicoquímicos, tales como 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 reducen los factores antinutricionales e incrementan la digestibilidad de las proteínas y los carbohidratos, la biodisponibilidad de los minerales y el contenido de las vitaminas (8). Otro aspecto importante del proceso de germinado es el efecto que tiene sobre las propiedades funcionales, tal como la solubilidad de las proteínas que afecta en la capacidad emulsificante, formación de la espuma y gelificación (9). Finalmente, existen estudios que demuestran el incremento del contenido de

compuestos fenólicos y de la actividad antioxidante en leguminosas y cereales germinados (10).

El efecto del proceso de germinado sobre los valores nutricionales y las propiedades funcionales, en gran medida dependen de las condiciones físicas en las que se llevan a cabo, entre ellos el tiempo de remojo y germinado, presencia o ausencia de la luz, factores que juegan un papel importante (11). Sin embargo, la literatura carece de información sobre el efecto del proceso de germinado, remojo y condiciones de iluminación sobre las características nutricionales, bioactivas y funcionales del basul. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de las diferentes condiciones de germinado sobre los valores nutricionales, los compuestos fenólicos totales, la actividad antioxidante y las propiedades funcionales en las semillas de basul.

Materiales y métodos

Recolección, germinado y obtención de la harina de basul

Las semillas de basul fueron recolectadas en la comunidad de Cruzpata, distrito de Lambrama, región de Apurímac, Perú; siguiendo las recomendaciones del Servicio Nacional y Forestal de Fauna Silvestre respecto al uso de la flora silvestre (Autorización N° 120-2019-MINAGRI-SERFOR/ATFFS-APURÍMAC). Inmediatamente las semillas de basul fueron seleccionadas, clasificadas, lavadas y desinfectadas con hipoclorito de sodio a 25 ppm de cloro libre residual por 10 min. Con la adición de agua destilada, las semillas fueron remojadas por 18 y 24 h, respectivamente; luego germinadas por 96 y 144 h, respectivamente en condiciones de luz u oscuridad. Las semillas germinadas fueron secadas en una estufa (Memmert UF55Plus) de circulación de aire forzada a 60 °C por 15 h; posteriormente molidas y tamizadas (RETSCH AS200 en el rango de diámetro de $15 < d < 60 \mu\text{m}$).

Características nutricionales

En las muestras de las harinas (sin germinar y germinada) de basul fueron determinadas el contenido de humedad, proteínas (N x 6.25), grasa, fibra cruda, ceniza y el extracto libre de nitrógeno (ELN) por los métodos AOAC (2003) (12).

La digestibilidad *in vitro* de la proteína se determinó por el método enzimático (13). Se preparó una solución con las enzimas pepsina y pancreatina (SIGMA- Aldrich), sobre el cual se agregó la harina de las muestras germinadas;

posteriormente fueron digeridas en condiciones de pH 8, 37 °C y 10 min en un baño maría (Memmert WNE22). La digestibilidad *in vitro* de la proteína fue calculada con la ecuación (1).

$$y=210,46-18,10x \quad (1)$$

Donde x, es el pH de la suspensión proteica después de 10 min de digestión con la solución multienzimática; y, es el porcentaje de hidrólisis de la proteína.

Propiedades bioactivas (compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante)

El contenido de compuestos fenólicos totales de la semilla de basul, fue determinado por el método de Folin-Ciocalteu (14). Se prepararon reactivos: a) metanol al 80% (400 mL de metanol aforado con agua destilada en una fiola de 500 mL); b) solución de carbonato de sodio al 7,5% (g/L); c) reactivo de Folin- Ciocalteu 1N (1000 µL de reactivo Folin y 1000 µL de agua destilada) que fue almacenada en frasco ámbar. Para la obtención de los extractos fenólicos de la harina de basul, se pesaron 0,5 g de harina en tubos cónicos de 50 mL y se mezclaron con 10 mL de metanol al 80%, luego se agitaron por 30 s en vórtex y se dejó reposar por 24 h a 4 °C en refrigeración. Las muestras fueron centrifugadas a 4000 rpm por 15 min. Seguidamente, el sobrenadante fue separado y se registró el volumen obtenido. Los extractos fueron almacenados en frascos ámbar a -20 °C en oscuridad para los análisis posteriores. La determinación de los compuestos fenólicos se realizó en tubos de vidrio, para esto, se tomó 500 µL de extracto, 250 µL del reactivo Folin Ciocalteu 1N, 8 mL de agua destilada y 1250 µL de la solución de carbonato de sodio. La solución se homogenizó en un vórtex y se dejó reposar por 30 min en oscuridad y luego se procedió a la lectura de la absorbancia en el espectrofotómetro UV-VIS a 755 nm. El contenido de compuestos fenólicos totales fue calculado a través de una curva estándar (ecuación 2).

$$y=4,7179x-0,0085 \quad (2)$$

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

La capacidad antioxidante se determinó por el método 1,1-Difenil-picrilhidrazilo radical (DPPH) (15). Para esto, se emplearon extractos metanólicos de la harina de basul. 150 mL del extracto fueron mezclados con 2850 mL del radical DPPH e incubadas por 30 min en oscuridad a temperatura

ambiente y la absorbancia fue medida a 515 nm en el espectrofotómetro GENESYS 20. La capacidad antioxidante fue calculada como equivalente a trolox (µmol de trolox/g b.s.) a partir de una curva de calibración.

Para la capacidad antioxidante por el método ABTS {ácido 2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico)} (15), se procedió con el pesado de 78,4 mg del reactivo A (disolución ABTS) y luego se aforó con agua destilada en una fiola de 10 mL. Para el reactivo B se disolvió 13,2 mg de persulfato de potasio en agua destilada y se aforó en una fiola de 10 mL. Por otro lado, se preparó la solución madre de ABTS mezclando volúmenes iguales de los reactivos A y B y se dejó reposar a 4 °C por 12 h en condiciones de oscuridad. Transcurrido el tiempo se preparó la solución de trabajo ABTS mediante la dilución de la solución madre ABTS y el metanol puro en una relación de 1:60. Para 120 mL de metanol fue empleado 2 ml de solución madre ABTS y luego se llevó a una absorbancia de $1,1 \pm 0,02$ a 734 µm. Finalmente, se midió la capacidad antioxidante de las muestras. Los extractos de basul sin germinar y germinado (150 mL), se mezclaron con 2850 µL de ABTS, permitiendo la reacción hasta una absorbancia constante a longitud de onda 734 µm. La capacidad antioxidante fue calculada como equivalente a trolox (µmol de trolox/g b.s.) a partir de una curva de calibración.

Propiedades funcionales

La solubilidad en agua (SA) fue determinada mediante la mezcla de la harina con agua destilada al 1% (p/v) y calentada a 90 °C por 30 min en un baño de agua con agitación. Las mezclas enfriadas a temperatura ambiente fueron centrifugadas a 3000 g por 30 min. El sobrenadante fue recuperado en un recipiente y secado en una estufa con circulación de aire forzada a 105°C por 2 h. Los resultados de la solubilidad en agua fueron calculados por diferencia de pesos en % (16).

La capacidad de absorción de agua (CAA) y la capacidad de retención de agua (CRA), fueron determinadas por medio de la hidratación de 100

mg de la muestra en 10 mL de agua destilada, luego agitadas en un vórtex hasta obtener una mezcla homogénea. Para la CAA, las harinas hidratadas se dejaron a temperatura ambiente por una hora y para la CRA se almacenaron a 37 °C por 18 h (16). Al finalizar el tiempo, las mezclas fueron centrifugadas a 3000 g por 10 min. El sobrenadante fue retirado y luego registrado el peso de la muestra sedimentada. Los resultados fueron calculados con la ecuación (3) y fueron expresados en g de agua absorbida o retenida por g de materia seca.

$$\text{CAA y CRA} = (m_2 - m_1) / m_1 \quad (3)$$

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

Para la capacidad de adsorción de aceite (CAAc), se pesó 200 mg de harina en tubos cónicos y se añadió 10 mL de aceite. Las muestras fueron agitadas en un vórtex hasta obtener una mezcla homogénea y se almacenaron por 18 h a temperatura ambiente. Al finalizar el tiempo se centrifugó a 3000 g por 20 min. El aceite sobrenadante fue removido y el resultado fue calculado con la ecuación (4) y se expresaron en g de aceite adsorbido por g de materia seca (g/g).

$$\text{CAAc} = (m_2 - m_1) / m_1 \quad (4)$$

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

La capacidad de hinchamiento (CH) se determinó mediante la adición de 100 mg de harina en tubos con graduación volumétrica de 0,2 mL y se agregó 15 mL de agua destilada. Las muestras se agitaron suavemente en un vórtex hasta obtener una mezcla homogénea y se almacenaron por 18 h a temperatura ambiente. Los resultados fueron calculados con la ecuación (5) y expresados en mL de agua por g de materia seca (mL/g).

$$\text{CH} = (v_2 - v_1) / m \quad (5)$$

Donde v_1 , es el volumen de la muestra seca (mL); v_2 , es el volumen de la muestra hidratada (mL); m , es el peso de la muestra seca (g).

Análisis estadístico

Para evaluar el tiempo de remojo (18 y 24 h), el tiempo de germinado (96 y 144 h) y luz (presencia y ausencia) sobre las características nutricionales, propiedades bioactivas y funcionales de las semillas de basul, se utilizó un diseño aleatorizado con un arreglo factorial de 2x2x2, y para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ($p < 0,05$). El programa estadístico utilizado fue el SPSS versión 19.

Resultados

Características nutricionales de las semillas de basul

La composición proximal y la digestibilidad *in vitro* de las proteínas de semillas de basul se presentan en la Tabla 1. El análisis de varianza entre los tratamientos indica que no existe diferencias significativas en el contenido de proteínas, grasa, fibra cruda, cenizas y extracto libre de nitrógeno. Específicamente, el contenido de proteínas de la semilla de basul sin germinar con respecto a la germinada, se observa una ligera disminución; sin embargo, los cambios no son significativos estadísticamente ($p > 0,05$). Por otro lado, en la Tabla 2 se presentan los resultados de los efectos principales y de interacción de los factores de germinado sobre los valores nutricionales; donde se puede observar que los diferentes factores en estudio no influyen sobre la composición proximal de las semillas germinadas ($p > 0,05$), a excepción de los factores de tiempo de remojo y la interacción de TR x TG sobre extracto libre de nitrógeno ($p = 0,022$).

Respecto a la digestibilidad *in vitro* de las proteínas, se tuvo incrementos a partir 70,43 % (sin germinar) hasta valores de 73,26, 74,29 y 74,83 %, respectivamente, pertenecientes las condiciones de TR: 18 h, TG: 144 h, ILU: Luz; TR: 18 h, TG: 144 h, ILU: Oscuro y TR: 24, TG: 96, ILU: luz, respectivamente; sin embargo, estas diferencias no son significativas ($p > 0,05$). Por otro lado, los factores que permiten el incremento de la digestibilidad *in vitro* de la proteína fueron el tiempo de remojo y el tiempo de germinado (Tabla 2), pero estadísticamente son no significativos. La interacción de los mismos factores (TR x TG), sí tuvo influencia estadística sobre la digestibilidad *in vitro* de la proteína ($p = 0,011$).

Propiedades bioactivas de la semilla de basul

Los resultados de las propiedades bioactivas expresadas en el contenido de los compuestos fenólicos totales y la capacidad

Tabla 1. Características nutricionales de las semillas de basul

TR (h)	TG (h)	ILU	Proteína (% b.s.)	Grasa (% b.s.)	Fibra cruda (% b.s.)	Ceniza (% b.s.)	ELN (% b.s.)	Digestibilidad <i>in vitro</i> proteína (%)
Sin germinar (SG)			17,74±0,1 ^a	0,33±0,03 ^a	5,61±0,8 ^a	4,71±0,16 ^a	71,62±0,62 ^a	70,43±0,69 ^{ab}
18	24	Luz	17,06±0,40 ^a	0,44±0,19 ^a	6,48±1,79 ^a	4,60±0,14 ^a	71,42±1,44 ^a	66,56±1,26 ^{ab}
		Oscuro	17,30±0,13 ^a	0,41±0,07 ^a	5,38±0,22 ^a	4,69±0,13 ^a	72,22±0,34 ^a	64,27±1,74 ^a
18	144	Luz	17,24±0,26 ^a	0,37±0,18 ^a	5,44±0,16 ^a	4,82±0,14 ^a	72,13±0,08 ^a	73,26±12,09 ^b
		Oscuro	17,17±0,15 ^a	0,46±0,11 ^a	5,52±0,19 ^a	4,76±0,21 ^a	72,08±0,34 ^a	74,29±1,67 ^b
24	96	Luz	17,08±0,51 ^a	0,45±0,22 ^a	4,98±0,3 ^a	4,92±0,27 ^a	72,57±0,50 ^a	74,83±0,84 ^b
		Oscuro	17,30±0,28 ^a	0,41±0,17 ^a	4,78±0,26 ^a	4,84±0,1 ^a	72,67±0,35 ^a	69,34±1,93 ^{ab}
24	144	Luz	16,76±0,70 ^a	0,46±0,13 ^a	5,61±0,17 ^a	4,76±0,19 ^a	72,41±1,16 ^a	70,37±2,35 ^{ab}
		Oscuro	17,11±0,12 ^a	0,20±0,09 ^a	5,21±0,77 ^a	4,75±0,51 ^a	72,74±0,64 ^a	68,98±1,62 ^{ab}

Valores son el promedio ±desviación estándar (n=3). Letras diferentes del índice superior dentro de la columna representan diferencias significativas (p<0,05). TR, tiempo de remojo; TG, tiempo de germinado; ILU, condiciones de iluminación; SG, semilla no germinada.

Tabla 2. Efecto de los factores de germinado de basul sobre las características nutricionales

	Proteína (% b.s.)	Grasa (% b.s.)	Fibra cruda (% b.s.)	Ceniza (% b.s.)	ELN (% b.s.)	Digestibilidad <i>in vitro</i> proteína (%)
TR (h)						
18	17,19	0,419	5,70	4,72	71,88	69,59
24	17,06	0,379	5,15	4,82	72,60	70,88
Valor-p	0,377	0,542	0,077	0,173	0,022	0,500
TG (h)						
96	17,19	0,43	5,40	4,77	72,22	68,75
144	17,07	0,37	5,45	4,77	72,26	71,72
Valor-p	0,433	0,403	0,893	0,893	0,901	0,129
ILU						
Luz	17,03	0,43	5,63	4,78	72,13	71,25
Oscuro	17,22	0,37	5,22	4,76	72,34	69,22
Valor-p	0,241	0,358	0,182	0,855	0,494	0,290
Interacción						
TR x TG	0,359	0,504	0,113	0,061	0,782	0,011
TR x ILU	0,534	0,167	0,726	0,688	0,996	0,461
TG x ILU	0,771	0,679	0,415	0,779	0,442	0,334
TR x TG x ILU	0,480	0,182	0,251	0,419	0,257	0,917

TR, tiempo de remojo; TG, tiempo de germinado; ILU, condiciones de iluminación. Valor -p<0,05, significativos.

antioxidante por los métodos ABTS y DPPH de la semilla germinada de basul se presentan en la Tabla 3. Si bien es cierto que hubo incrementos desde 241,49 mg AGE/100g m.s. (SG), hasta 267,15 mg AGE/100g m.s. (TR:24 h, TG: 144, ILU: oscuro); sin embargo, estas diferencias, no fueron significativas ($p>0,05$). Comportamientos parecidos se tiene para los resultados de la capacidad antioxidante por el método ABTS, en donde hubo un incremento desde 173,04 $\mu\text{molTE/g}$ m.s. (SG) hasta 195,67 $\mu\text{molTE/g}$ m.s. (TR:18 h, TG: 24, ILU: oscuro). La capacidad antioxidante por el método DPPH de las semillas no germinadas fue de 43,46 $\mu\text{molTE/g}$ m.s., valor que no pudo cambiar significativamente con el germinado.

En la Tabla 4, se presentan los efectos principales y la interacción de los factores de germinado sobre las propiedades bioactivas. Existe una influencia significativa de la interacción de los factores de TRxTGxILU, principalmente sobre la capacidad antioxidante por el método ABTS.

Propiedades funcionales de la semilla de basul

En la Tabla 5, se presentan los resultados de las propiedades funcionales de la harina de basul germinado en función a las diferentes condiciones de germinado; siendo la solubilidad y la capacidad de absorción del agua las que experimentaron incrementos significativos. Por ejemplo, la SA, a 24 h de remojo, 144 h de germinado y en presencia de luz tuvo un valor de 89,60% con respecto a la semilla no germinada con 38,37%; al igual que la CAA tuvo un incremento desde 3,76 g/g m.s. (referencia) hasta 5,50 g/g m.s. (18 h de remojo, 144 h de remojo y en presencia de luz). Por el contrario, para la capacidad de retención del agua, la capacidad de adsorción de aceite y la capacidad de hinchamiento, cuyos valores máximos fueron 5,10 g/g, 6,05 g/g y 22,44 mL/g, respectivamente, no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos y con respecto a la harina de basul no germinado.

El efecto de los factores de germinado de la semilla de basul sobre las propiedades funcionales se observa en la Tabla 6. La solubilidad y la

Tabla 3. Propiedades bioactivas de semillas germinadas de basul

TR (h)	TG (h)	ILU	CFT (mgAGE/100g m.s.)	ABTS ($\mu\text{molTE/g}$ m.s.)	DPPH ($\mu\text{molTE/g}$ m.s.)
		SG	241,49±16,1 ^{ab}	173,04±5,82 ^{abc}	43,46±4,42 ^a
18	24	Luz	250,93±3,79 ^{ab}	179,78±6,13 ^{abc}	40,88±0,45 ^a
		Oscuro	250,79±21,91 ^{ab}	195,67±16,93 ^c	41,69±3,21 ^a
18	144	Luz	241,56±10,85 ^{ab}	162,09±7,2 ^{ab}	45,35±6,9 ^a
		Oscuro	238,16±2,40 ^{ab}	169,66±3,58 ^{abc}	41,71±1,71 ^a
24	96	Luz	233,63±26,09 ^{ab}	156,76±15,19 ^a	37,88±5,82 ^a
		Oscuro	225,53±6,11 ^a	168,67±2 ^{abc}	38,82±2,23 ^a
24	144	Luz	248,51±6,89 ^{ab}	191,37±18,49 ^{bc}	40,26±1,24 ^a
		Oscuro	267,15±4,59 ^b	179,24±3,53 ^{abc}	43,75±2,26 ^a

Valores son el promedio \pm desviación estándar de tres observaciones independientes por tratamiento (n=3). Los superíndices con diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas ($p<0,05$). TR, tiempo de remojo; TG, tiempo de germinado; ILU, condiciones de iluminación; SG, semilla no germinada; CFT, compuestos fenólicos totales.

Tabla 4. Factores de germinado de basul sobre los compuestos bioactivos

TR (h)	CFT (mgAGE/100g m.s.)	ABTS ($\mu\text{molTE/g}$ m.s.)	DPPH ($\mu\text{molTE/g}$ m.s.)
18	246,19	177,65	42,85
24	236,46	171,61	39,67
Valor - p	0,115	0,205	0,063
TG (h)			
96	241,05	169,81	40,98
144	241,60	179,45	41,53
Valor - p	0,927	0,051	0,735
ILU			
Luz	238,99	176,76	41,42
Oscuro	243,66	172,50	41,09
Valor - p	0,436	0,364	0,840
Interacción			
TR x TG	0,923	0,136	0,619
TR x ILU	0,447	0,062	0,592
TG x ILU	0,710	0,799	0,089
TR x TG x ILU	0,066	0,001	0,881

TR, tiempo de remojo; TG, tiempo de germinado; ILU, condiciones de iluminación. Valor- $p<0,05$, significativos.

Tabla 5. Propiedades funcionales de la harina de semillas germinadas de basul

TR (h)	TG (h)	ILU	SA (%)	CAA (g/g m.s.)	CRA (g/g m.s.)	CH (ml/g m.s.)	CAAc (g/g m.s.)
		SG	38,37±2,78 ^a	3,76±0,39 ^{ab}	4,64±0,09 ^a	9,48±1,32 ^{ab}	5,10±0,41 ^a
18	24	Luz	58,68±5,05 ^b	4,11±0,46 ^{abc}	5,64±0,29 ^a	4,33±2,08 ^a	4,50±0,83 ^a
		Oscuro	61,28±6,35 ^b	5,00±0,50 ^{cd}	5,05±1,49 ^a	1,13±0,81 ^a	4,55±0,74 ^a
18	144	Luz	62,76±2,43 ^b	5,50±0,08 ^d	5,05±1,49 ^a	8,06±4,24 ^a	4,58±0,29 ^a
		Oscuro	53,16±5,74 ^{ab}	4,68±0,24 ^{bcd}	5,25±0,07 ^a	8,33±1,53 ^a	4,70±0,40 ^a
24	96	Luz	80,71±2,59 ^c	3,55±0,55 ^a	5,20±0,46 ^a	11,22±2,83 ^{ab}	4,76±0,78 ^a
		Oscuro	83,27±8,20 ^c	3,85±0,46 ^{ab}	6,05±0,29 ^a	22,44±13,46 ^b	4,82±0,01 ^a
24	144	Luz	89,60±4,85 ^c	4,51±0,32 ^{abcd}	6,00±0,51 ^a	8,52±0,16 ^{ab}	5,07±0,11 ^a
		Oscuro	85,14±7,55 ^c	4,47±0,25 ^{abcd}	5,70±0,09 ^a	9,62±0,50 ^{ab}	5,09±0,23 ^a

Valores son el promedio±desviación estándar de tres observaciones independientes por tratamiento (n=3). Los superíndices con diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas (p<0,05). TR, tiempo de remojo; TG, tiempo de germinado; ILU, condiciones de iluminación; SG, semilla no germinada. SA, solubilidad en agua; CAA, capacidad de absorción de agua; CRA, capacidad de retención de agua; CH, capacidad de hinchamiento; CAAc, capacidad de adsorción de aceite.

Tabla 6. Factores de germinado de basul sobre las propiedades funcionales

	SA (%)	CAA (g/g m.s.)	CRA (g/g m.s.)	CH (ml/g m.s.)	CAAc (g/g m.s.)
TR (h)					
18	58,97	4,82	5,50	5,47	4,73
24	84,70	4,09	5,74	12,95	4,92
Valor -p	0,000	0,000	0,352	0,003	0,388
TG (h)					
96	70,99	4,12	5,74	9,78	4,65
144	72,66	4,79	5,50	8,64	5,00
Valor -p	0,481	0,001	0,356	0,597	0,115
ILU					
Luz	72,94	4,42	5,47	8,04	4,85
Oscuro	70,71	4,50	5,76	10,38	4,81
Valor -p	0,352	0,624	0,261	0,285	0,853
Interacción					
TR x TG	0,131	0,433	0,086	0,006	0,865
TR x ILU	0,592	0,760	0,955	0,090	0,677
TG x ILU	0,055	0,005	0,199	0,440	0,524
TR x TG x ILU	0,585	0,047	0,359	0,128	0,752

TR, tiempo de remojo; TG, tiempo de germinado; ILU, condiciones de iluminación. Valor -p<0,05, significativos. SA, solubilidad en agua; CAA, capacidad de absorción de agua; CRA, capacidad de retención de agua; CH, capacidad de hinchamiento; CAAc, capacidad de adsorción de aceite.

capacidad de absorción del agua, son influenciados significativamente por el tiempo de remojo (p<0,05, en ambos casos); existiendo un incremento en la SA desde 58,97% (18 h de TR) hasta 84,70% (24 h de TR). Por otro lado, la interacción de los factores de TGxILU y TRxTGxILU, contribuyeron significativamente en la modificación de la capacidad de absorción del agua.

Discusión

Estudios realizados por Handa *et al.* (2017) (11), 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) (7), 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 el incremento en el contenido de proteínas, por ejemplo,

de las semillas de trigo (*Fagopyrum esculentum* Moench) de 144,68 mg/g (sin germinar) a 155,16 mg/g (germinado)(17), al igual que las semillas de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) de 20,22% b.s. (sin germinar) a 23,54% b.s. (germinado)(18). Existen diversas explicaciones respecto al contenido de proteínas en cereales y leguminosas germinados; en algunos casos con incrementos y en otros con disminuciones, y al parecer éstos dependen del tipo de semilla y las condiciones de germinado (14), teniendo en cuenta que durante este proceso ocurren cambios dinámicos en la proteólisis y la síntesis de proteínas. 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 puede explicar para los otros componentes (grasa, carbohidratos y fibra dietética).

En cuanto al estudio de la calidad de la proteína (digestibilidad *in vitro*), Atudorei *et al.* (2020) (6) reporta resultados del germinado del garbanzo (*Cicer arietinum* L.) donde indica que hubo un incremento de 34,18% a 89,01% (valor máximo). Además, destacan que el tiempo de germinado y la iluminación son factores que influyen significativamente sobre la digestibilidad *in vitro*. En esta misma línea, Yan *et al.* (2022) (19), presentan resultados del incremento en la digestibilidad *in vitro* de proteínas de la semilla sésamo (*Sesamum indicum* L.) en el orden de 43,69, 47,97 y 45,04%, respectivamente, en los tiempos de germinado a 0, 2 y 4 días, respectivamente; en todas son atribuidas principalmente a la solubilización parcial y la proteólisis que ocurren en el germinado. Al respecto, Singh *et al.* (2015) (8), 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, y 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, las semillas de basul tuvieron una mayor actividad de hidrólisis de la proteína y por consiguiente el mayor incremento en la digestibilidad (74,83%); convirtiéndose en el tratamiento que mejora la calidad nutricional de esta semilla.

Respecto las propiedades bioactivas, en el contenido de compuestos fenólicos totales (Tabla 3), 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 respecto, Gan *et al.* (2017) (20), señalan de un incremento gradual en el contenido de los compuestos fenólicos en semillas germinadas; por ejemplo, el frijol germinado por cinco días, tuvo un aproximado de 5 a 5,5 veces más de fenoles solubles respecto a la semilla no germinada. Sin embargo, otros estudios indican una disminución de los fenoles solubles en semillas germinadas, por ejemplo, en la lenteja de 450 mg GAE/100 g m.s. a 130-250 mg GAE/100 g m.s. en tres y ocho días de germinado (21). Sobre este punto, Gan *et al.* (2017) (20), 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 concomitantemente la síntesis de los compuestos fenólicos solubles y su unión en la pared celular; es decir, procesos dinámicos de liberación y conjugación de fenoles. Finalmente, Guo *et al.* (2012) (22), atribuye estas contradicciones principalmente a la expresión de los resultados en peso seco y húmedo, considerando que durante el germinado incrementa gradualmente el contenido del agua.

En cuanto a la solubilidad en agua, Handa *et al.* (2017)(11), reportaron resultados del índice de solubilidad de la harina de frijol verde (*Macrotyloma uniflorum*) sin germinar de 200% y debido al germinado a 24 h y 48 h respectivamente, este valor incrementó entre 210 y 216%, respectivamente. Por otro lado, Azeez *et al.* (2021)(23), reportaron resultados de la capacidad de absorción del agua en la harina de semilla de mijo de 3,58 g/g (sin germinar) a 4,77 g/g (germinado), donde se puede observar el incremento de esta propiedad con proceso de germinado. Finalmente, Handa *et al.* (2017)(11), informan que la capacidad de absorción del agua de la harina de un tipo de frijol germinado [*Macrotyloma uniflorum* (Lam.) Verdc.], incrementó desde 318,89% (sin germinar) hasta

340% (germinado a 24 h). 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 (Tabla 5) presentaron incrementos en estos valores. Las propiedades de capacidad de absorción y solubilidad en agua, están relacionadas principalmente con dos componentes importantes de la leguminosa. La propiedad de CAA, está relacionada con la presencia de los aminoácidos polares (residuo) que tienen afinidad con moléculas del agua la solubilidad con los polisacáridos hidrofílicos. Singh *et al.* (2015) (8), atribuyen que el incremento en la CAA al incremento en el contenido de proteínas en semillas germinadas y a los cambios en la calidad de la proteína; siendo este último muy importante, en razón de que se observó un incremento importante en la digestibilidad *in vitro* de la proteína en la harina de basul germinada. Durante el germinado se lleva a cabo 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. De igual forma, Handa *et al.* (2017) (11) y Pal *et al.* (2016) (24), señalan que durante el proceso de remojo y germinado existe una descomposición de las moléculas de los polisacáridos en monosacáridos, por consiguiente, el incremento de los sitios activos para la interacción con el agua.

Desde el punto de vista tecnológico, la solubilidad y la capacidad de absorción del agua juegan un papel importante durante la preparación de los alimentos, puesto que estas propiedades son indicadores del desempeño de los hidrocoloides en sistemas de dispersión a través de una reducción en la difusión de masa y causan una mayor estabilidad (25). 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 (8). 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) (26).

El tiempo de remojo, tiempo de germinado, las condiciones de iluminación (luz, oscuro) y la interacción de cada uno de ellos, no tuvieron influencias sobre la capacidad de retención de agua, capacidad de hinchamiento y la capacidad de

adsorción del aceite. Sin embargo, se puntualiza que los valores de la capacidad de adsorción 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 (26). De igual forma, estudios en la harina de frijol verde (*Macrotyloma uniflorum*) germinado tuvieron valores de 1,05 g/g (24) y 2,75 g/g m.s. (11) de capacidad de adsorción de aceite. El valor alto de la capacidad de adsorción de aceite de la harina de basul podría estar relacionado con el alto contenido de la fibra dietética (hemicelulosa y lignina) presentes 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 adsorción 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) (26). Por otro lado, la capacidad de adsorción 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 (27).

Conclusiones

En el presente estudio, se evidencia que el germinado (incluye el remojo) de la semilla de basul, incrementa la digestibilidad *in vitro* debida principalmente a la interacción de los factores de tiempo de remojo y tiempo de germinado; en cambio, no afecta en la composición proximal. Otro hallazgo importante es el incremento del contenido de los compuestos fenólicos totales, al igual que la capacidad antioxidante por el método ABTS. Las propiedades de la solubilidad y la capacidad de absorción del agua, incrementa con el germinado de las semillas de basul y a la vez presenta alta capacidad de adsorción del aceite respecto a otras

leguminosas. Estas propiedades sugieren el uso de la harina de basul germinado en el desarrollo de alimentos nutritivos y funcionales.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica – FONDECYT (Contrato N° 121-2018-FONDECYT-BM-IADT-SE), por la subvención económica.

Referencias

- Diniyah N, Alam MB, Lee SH. Antioxidant potential of non-oil seed legumes of Indonesian's ethnobotanical extracts. *Arab J Chem.* 2020; 13:5208-5217.
- Intiquilla A, Jiménez-Aliaga K, Guzmán F, Alvarez CA, Zavaleta AI, *et al.* Novel antioxidant peptides obtained by alcalase hydrolysis of *Erythrina edulis* (pajuro) protein. *J Sci Food Agric.* 2019; 99:2420-2427.
- Mamilla RK, Mishra VK. Effect of germination on antioxidant and ACE inhibitory activities of legumes. *LWT-Food Sci Technol.* 2017; 75:51-58.
- Parmar N, Singh N, Kaur A, Thakur S. Comparison of color, anti-nutritional factors, minerals, phenolic profile and protein digestibility between hard-to-cook and easy-to-cook grains from different kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) accessions. *J Food Sci Technol.* 2017; 54:1023-1034.
- Ohanenye IC, Tsopmo A, Ejike CE, Udenigwe CC. Germination as a bioprocess for enhancing the quality and nutritional prospects of legume proteins. *Trends Food Sci Technol.* 2020; 101:213-222.
- Atudorei D, Codină GG. Perspectives on the Use of Germinated Legumes in the Bread Making Process, A Review. *Appl Sci.* 2020; 10(18):6244.
- Elbaloula MF; Yang R, Guo Q, Gu Z. Major nutrient compositions and functional properties of sorghum flour at 0–3 days of grain germination. *Int J Food Sci Nutr.* 2014; 65:48-52.
- Singh AK, Rehal J, Kaur A, Jyot G. Enhancement of attributes of cereals by germination and fermentation: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2015; 55:1575-1589.
- Hernandez-Aguilar C, Domínguez-Pacheco A, Palma M, Valderrama-Bravo C, Soto M, Cruz-Orea A, Ordóñez-Miranda J. Lentil sprouts: a nutraceutical alternative for the elaboration of bread. *J Food Sci Technol.* 2020; 57(5): 1817-1829.
- Khang DT, Dung TN, Elzaawely AA, Xuan TD. Phenolic profiles and antioxidant activity of germinated legumes. *Foods.* 2016; 5:1-10.
- Handa V, Kumar V, Panghal A, Suri S, Kaur J. Effect of soaking and germination on physicochemical and functional attributes of horsegram flour. *J Food Sci Technol.* 2017; 54:4229-4239.
- AOAC. 2003. Official methods of analysis. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Hsu HW, Vavak DL, Satterlee LD, Miller GA. A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *J Food Sci.* 1977; 42:1269-1273.
- Singleton VL, Rossi JA. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am J Enol Vitic.* 1965; 16:144-158.
- Ayesha S, Premakumari KB, Roukiya S. Antioxidant activity and estimation of total phenolic content of *Muntingia Calabura* by colorimetry. *Int J ChemTech Res.* 2010; 2(1): 205-208.
- Vilcanqui-Perez F, Villanueva ME, Vilchez C. Functional properties *in vitro* and physiological effects *in vivo* of new sources of dietary fiber in Holtzman rats. *Rev Chil Nutr.* 2018; 45:223-231.
- Zhang G, Xu Z, Gao Y, Huang X, Zou Y, *et al.* Effects of germination on the nutritional properties, phenolic profiles, and antioxidant activities of buckwheat. *J Food Sci.* 2015; 80:H1111-H1119.
- Domínguez-Arispuro DM, Cuevas-Rodríguez EO, Milán-Carrillo J, León-López L, Gutiérrez-Dorado R, *et al.* Optimal germination condition impacts on the antioxidant activity and phenolic acids profile in pigmented desi chickpea (*Cicer arietinum* L.) seeds. *J Food Sci Technol.* 2018; 55(2): 638-647.
- Di Y, Li X, Chang X, Gu R, Duan X, *et al.* Impact of germination on structural, functional properties and *in vitro* protein digestibility of sesame (*Sesamum indicum* L.) protein. *LWT-Food Sci Technol.* 2022; 154: 112651.
- Gan RY, Lui WY, Wu K, Chan CL, Dai SH, *et al.* Bioactive compounds and bioactivities of germinated edible seeds and sprouts: An updated review. *Trends Food Sci Technol.* 2017; 59:1-14.
- Aguilera Y, Liébana R, Herrera T, Rebollo-Hernanz M, Sánchez-Puelles C, *et al.* Effect of illumination on the content of melatonin, phenolic compounds, and antioxidant activity during germination of lentils (*Lens culinaris* L.) and kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *J Agric Food Chem.* 2014; 62:10736-10743.
- Guo X, Li T, Tang K, Liu RH. Effect of germination on phytochemical profiles and antioxidant activity of mung bean sprouts (*Vigna radiata*). *J Agric Food Chem.* 2012; 60:11050-11055.
- Azeez SO, Chinma CE, Bassey SO, Eze UR, Makinde AF, *et al.* Impact of germination alone or in combination with solid-state fermentation on the physicochemical, antioxidant, *in vitro* digestibility, functional and thermal properties of brown finger millet flours. 2021; *LWT-Food Sci Technol*; 154:112734.
- Pal RS, Bhartiya A, ArunKumar R, Kant L, Aditya JP, *et al.* Impact of dehulling and germination on nutrients, antinutrients, and antioxidant properties in horsegram. *J Food Sci Technol.* 2016; 53:337-347.
- Alpizar-Reyes E, Carrillo-Navas H, Gallardo-Rivera R, Varela-

- Guerrero V, Alvarez-Ramirez J, et al. Functional properties and physicochemical characteristics of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed mucilage powder as a novel hydrocolloid. J Food Eng. 2017; 209:68-75.
26. Du SK, Jiang H, Yu X, Jane JL. Physicochemical and functional properties of whole legume flour. LWT-Food Sci Technol. 2014; 55:308-313.
27. Vilcanqui-Pérez F, Vílchez C. Dietary fiber: new definitions, functional properties and health benefits. Review. Arch Latinoam Nutr. 2017; 67(2):146-156.

Recibido: 18/02/2021
Aceptado: 04/11/2021