

Estudio de la rehidratación y germinación de cebada

Study of rehydration and germination of barley

👤 Ramos, Juan F.¹, 👤 Yabar, Fredy E.¹, 👤 Indigoyen, David.¹ y 👤 Peña, Angel O.¹

¹ Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancaayo, Perú.

Resumen: Se analizó el efecto del tiempo de rehidratación y el tiempo de germinación en la proporción (%) de granos germinados para explicar el comportamiento de la evolución de la humedad en la cebada sometida a rehidratación. El experimento se condujo utilizando un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial de 32. Para verificar la evolución de la humedad, los granos fueron sometidos a maceración utilizando una relación de 1 cebada/3 agua, por un tiempo total de 28 h con controles cada 2. El ANOVA mostró que el factor tiempo de rehidratación (A) no generó diferencias significativas ($P > 0.05$), el factor tiempo de germinación (B) generó efectos significativos en la proporción de granos germinados ($P < 0.05$), siendo la mejor 96 h con 96% de granos germinados. El tratamiento de 5 h de rehidratación y 96 h de germinación proporcionó el mejor resultado para la variable respuesta (98% granos germinados) como interacción entre los factores AB. Los datos empíricos de evolución de humedad fueron explicados por los modelos logarítmico, potencial y de Peleg con coeficientes de determinación de 97.01%; 97.05% y 96.10%. Las curvas de tendencia se caracterizaron por un rápido incremento de la humedad en las primeras horas de maceración seguido de una ralentización considerable en horas finales.

Palabras clave: cebada, germinación, imágenes, malta de cebada.

Abstract: The effect of rehydration time and germination time on the proportion (%) of germinated grains was analyzed to explain the behavior of moisture evolution in barley subjected to maceration. The experiment was conducted using a completely randomized design (CRD) with a factorial arrangement of 32. To verify the moisture evolution, the grains were subjected to maceration using a ratio of 1 barley/3 water, for a total time of 28 h with controls every 2 h followed by oxygenation for 30 min. ANOVA showed that the rehydration time factor (A) did not generate significant differences ($P > .05$), the germination time factor (B) generated significant effects on the proportion of germinated grains ($P < .05$), the best being 96 h with 96% germinated grains. The treatment of 5 h rehydration and 96 h germination provided the best result for the response variable (98% germinated grains) as an interaction between factors AB. The empirical data of moisture evolution were explained by the logarithmic, potential and Peleg models in 97.01%; 97.05% and 96.10% of variability. The trend curves were characterized by a rapid increase in moisture in the first hours of maceration followed by a considerable slowdown in the final hours.

Keywords: barley, barley germination, germination images, barley malt.



Referencia: Ramos, J. F. Yabar, F. E. Indigoyen, D. y Peña, A. O. (2024). Estudio de la rehidratación y germinación de cebada. *Prospectiva Universitaria en Ciencias Agrarias*, 05(02), 1–9. <https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/pucag>

Recibido: 14 de octubre de 2024
Aceptado: 20 de diciembre de 2024
Publicado: 10 de enero de 2025

Prospectiva Universitaria en Ciencias Agrarias. Vol. 05, núm. 02, julio a diciembre, 2024. Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons



CC BY 4.0 DEED
Attribution 4.0 International
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

1. Introducción

La cebada es un alimento fundamental para el ganado, como para las personas de zonas pobres donde se constituye en la fuente principal de carbohidratos, sin embargo, la calidad sensorial es un obstáculo para un consumo más amplio (Badea & Wijekoon, 2021). La agroindustria utiliza el proceso de perlado, que elimina las capas externas del grano de cebada con el fin de darle una apariencia comercial más agradable, afectando su composición química, y sus bondades nutricionales y nutraceuticas (Bleidere et al., 2017).

A inicios de 2022 en Perú, existían 150 empresas formales que producían cerveza artesanal (Gestión, 2022). y en los años siguientes fueron incorporándose muchos más a esta actividad. Uno de los principales problemas que enfrenta este rubro en los países en desarrollo es la dependencia del insumo más importante, la malta cervecera, que es importada de países especialmente europeos, para asegurar cualidades malteadoras, pero, a precios elevados, mismo que contribuye a los altos costos de producción (Maw et al., 2023; McGlinch et al., 2021).

Aunque la producción de cebada en Perú y los países vecinos es alta, no existen empresas locales que se dediquen a la elaboración de cebada malteada, para abastecer a las empresas productoras de cerveza artesanal, fundamentalmente, por desconocimiento de los parámetros del proceso de germinación, en especial el manejo del proceso de rehidratación.

La clasificación es necesaria ya que el tamaño del grano afecta la absorción de agua y las tasas de modificación durante la germinación para el malteado. La fracción más voluminosa son granos que no pasan por el tamiz de 2.5 mm y se utilizan para la elaboración de malta cervecera (Ullrich, 2011). Granos menores de 2.2 o 2.3 mm de ancho se rechaza y se utiliza en la alimentación animal (Briggs, 1978).

El proceso de germinación activa enzimas que pueden aumentar los niveles de ciertos nutrientes y mejorar la capacidad antioxidante (Al-Taher & Nemzer, 2023; Ruirong et al., 2024). Además, se ha observado un incremento en compuestos bioactivos como los ácidos grasos poliinsaturados y fenoles totales, que son beneficiosos para la salud humana (Al-Taher & Nemzer, 2023; Bernate et al., 2020).

Es importante considerar que la germinación puede tener impactos variables en diferentes granos y que el proceso debe ser cuidadosamente controlado para maximizar los beneficios (Ding & Feng, 2019; Ruirong et al., 2024).

Swanston et al. (2014) determinó que la humedad ideal para iniciar la germinación debe estar en el ran-

go de 42 a 46%; Ullrich (2011) sostiene que entre 42 a 48% y para Punia (2020) entre 42 a 45%.

Divyanshu et al. (2022) encontraron que las semillas de cebada tratadas con ciertas cepas de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) mostraron hasta un 94.44% de germinación.

Existe información valiosa sobre los factores que afectan la germinación de las semillas en general, estos incluyen el papel del contenido de humedad del grano, la temperatura y los tratamientos químicos, que potencialmente podrían aplicarse para optimizar la germinación de las semillas de cebada. (Elizalde et al., 2016; López-Elías et al., 2017).

Los modelos de rehidratación para diferentes vegetales son informados por (Akinola & Abeokuta, 2022). En la fase de maceración de la cebada, se delinearán dos fases: una fase rápida inicial donde el embrión absorbe agua rápidamente, seguida de una fase más lenta donde el endospermo absorbe agua más gradualmente. El estudio también señala que las actividades enzimáticas en el embrión aumentan inicialmente con la absorción de agua, pero requieren de escurrido y exposición de los granos a la atmósfera para mantener la actividad (Reynolds & MacWilliam, 1966).

Los estudios revisados abordan diversos modelos de rehidratación para la cebada, enfocándose en la cinética de absorción de agua y las propiedades termodinámicas involucradas en el proceso. El modelo de Peleg es frecuentemente citado por su adecuación en la predicción de la cinética de hidratación de la cebada bajo diferentes condiciones de temperatura (Borsato et al., 2019; Resio et al., 2006). Este modelo es importante para la optimización de procesos industriales, como la producción de malta para la industria cervecera, donde la hidratación juega un papel crucial.

Además del modelo de Peleg se han utilizado otros enfoques para modelar la hidratación de granos de cebada, como la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano combinado con espectroscopía de limitación de dos dimensiones (2D-COS), que permite monitorear los cambios bioquímicos y biofísicos durante la absorción de agua (Cozzolino et al., 2014).

Cui et al. (2017) utilizó la ecuación de Peleg, en la investigación de la cinética de rehidratación de diversos alimentos a temperaturas del agua de 308 K, 343 K y 368 K. El resultado mostró que la tasa de rehidratación aumentó rápidamente con el tiempo durante la fase inicial y disminuyó en la fase final hasta el equilibrio, el modelo de Peleg mostró buena concordancia con los datos experimentales y los coeficientes de correlación tomaron valores por encima de 0.99. Las ecuaciones utilizadas por Akinola y Abeokuta (2022) y Cui et al.

(2017) fueron las siguientes:

$$M_t = M_o + \frac{t}{K_1 + K_2 \times t} \quad (1)$$

Donde M_o representa al contenido inicial de humedad inicial expresado en base seca ($g \text{ H}_2\text{O}/g$ material seco), M_t es el contenido de humedad en el momento t ($g \text{ H}_2\text{O}/g$ material seco); $K_1(s/\%)$ y $K_2(1/\%)$, k_1 es una constante de velocidad cinética mientras K_2 es una constante característica (ambas son conocidas como primera y segunda constante de Peleg).

La tasa de absorción (R) se obtiene a partir de la primera derivada de la ecuación de Peleg, como muestra la fórmula (2).

$$R = \frac{dM}{dt} = \frac{K_1}{(K_1 + K_2 \times t)^2} \quad (2)$$

Luego Cuando t toma el valor de 0 (cero), la fórmula (2) permite obtener la ecuación (3), aquí es posible conocer K_1 que está relacionado con la tasa de absorción inicial (R_0):

$$R_0 = \left. \frac{dM}{dt} \right|_{t=0} = \frac{1}{K_1} \quad (3)$$

A partir de la fórmula (1) conocida, cuando $t = 0$, entonces $M_t = M_o$, es decir, M_o es el contenido de humedad inicial, cuando $t \rightarrow \infty$, se puede obtener la fórmula (4). M_e es el contenido de humedad de equilibrio, la fórmula (4) da la relación entre el contenido de humedad de equilibrio (M_e) y k_2 :

$$M_e = \lim_{t \rightarrow \infty} M_t = M_o + \frac{1}{K_2} \quad (4)$$

Anikola (2022), también utilizó los modelos: exponencial, de Peleg, de Weibull, de Anikola. Los resultados obtenidos usando el modelo de Peleg fueron las siguientes; para batata: $R^2 = 0.9934$; $K_1 = 32.98$; $K_2 = 0.7756$. Para remolacha: $R^2 = 0.9782$; $K_1 = 2.39$; $K_2 = 0.0564$. Para el modelo exponencial fueron; para batata: $R^2 = 0.9946$; $K = -0.0505$. Para remolacha: $R^2 = 0.9946$; $K = -0.0285$.

Cui (2017), para rehidratación de cebada a 35°C , obtuvo los siguientes datos para el modelo de Peleg: $R^2 = 0.992$; $K_1 = 298.99$; $K_2 = 1.182$; Humedad de equilibrio = $0.846 \text{ g H}_2\text{O}/g \text{ m.s.}$

En vista que los artículos científicos revisados no abordan profundamente la evolución de la humedad de los granos de cebada durante la etapa de rehidratación o macerado, se justifica el hecho que esta investigación podría aportar a cubrir por lo menos parcialmente esta brecha existente y generar conocimientos y

parámetros que puedan ser utilizadas en los procesos industriales locales para producción de cebada malteada.

El objetivo perseguido por la investigación fue estudiar la etapa de rehidratación de la cebada y explicar a través de modelos matemáticos el comportamiento que se presenta en esta etapa, además, determinar el porcentaje de granos germinados que se produce en la etapa de germinación a temperatura de $17 \pm 2^\circ\text{C}$.

2. Métodos

Para la conducción del experimento se utilizó la variedad de cebada S9 INIA proporcionada por el Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) de Perú ubicada en la ciudad de Huancayo (INIA Santa Ana).

El proceso seguido para el experimento constó de las operaciones de selección y clasificación para asegurar la eliminación de impurezas y homogeneizar el diámetro de granos a tamaños mayores a 2.5 mm; seguido de las operaciones de rehidratación por tiempos de 5, 10 y 20 h (factor A), y germinación por tiempos de 48, 72 y 96 h (factor B).

El diseño experimental utilizado fue el DCA con arreglo factorial de 3×3 ; explicado por el siguiente modelo aditivo lineal:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (5)$$

Donde μ es la media general, A_i i-ésimo efecto del factor tiempo de rehidratación, B_j j-ésimo efecto del factor tiempo de germinación, $(AB)_{ij}$ interacción de dos factores A y B, ε_{ijk} error experimental. Los tratamientos se generaron por combinación de los tres niveles del factor A (5, 10 y 20 h), con los tres niveles del factor B (48, 72, 96 h).

Se prepararon 3 juegos diferentes de unidades experimentales. La primera para determinar la variable respuesta de porcentaje de germinación, compuestas por 100 semillas que fueron rehidratadas por 5, 10 o 20 h y luego germinadas por 48, 72 o 96 h, dependiendo del tratamiento que se conducía.

Para la rehidratación y germinación se utilizó un germinador fabricado en acero inoxidable que contó con un baño de agua que permitió mantener temperatura constante, y una cámara de germinación. Para la rehidratación se utilizó la cubeta de acero inoxidable del germinador contenidos de agua, donde se colocaron por inmersión las unidades experimentales de 100 granos de cebada empacadas en tela, en proporción aproximada de 1 cebada/3 agua. Cada 2.0 h se procedió a escurrido total y los granos de cebada se expusieron a condiciones de medio ambiente para efectos de

oxigenación (respiración), por un tiempo de 30 minutos. Estos ciclos se realizaron hasta completar las 5, 10 o 20h de rehidratación, al cabo de las cuales se dio el inicio oficial de la etapa de germinación por 48, 72 o 96h, en el interior del germinador, donde se colocaron los granos de cebada empacados. Para cada corrida experimental se utilizaron 2 unidades experimentales (2 repeticiones). Al final de cada tratamiento, se determinó el recuento de semillas germinadas, para luego expresarlos en porcentaje.

Un segundo y tercer juego de unidades experimentales estuvieron compuestos por 50 g de granos de cebada empacadas en tela. El segundo juego fue utilizado para la determinación de la evolución de humedad de cada nivel de factor de la variable independiente tiempo de rehidratación (5, 10, 20 h), desde las cero horas hasta las 96 h e incluso 120 h (para 20 h de rehidratación), con intervalo de 24 h (se usaron dos réplicas para cada tratamiento).

El tercer juego de unidades experimentales, fueron sometidas a rehidratación por inmersión en agua (1 cebada/3 agua) a temperatura ambiente, exceptuando los periodos de oxigenación. Durante esta etapa, se tomaron muestras de 3 g cada 2.0 horas para determinar la humedad alcanzada hasta ese momento, con controles desde 0 hasta las 28 h. Para la determinación de humedad en base húmeda se utilizó un analizador de humedad por infrarrojos de la marca OHAUS, modelo MB23.

Durante el análisis estadístico se aplicó el ANOVA para experimentos multifactoriales de 3 x 3; haciendo uso del software SPSS versión 27.

3. Resultados

El 91.3% de granos de cebada seleccionados de la variedad S9 INIA tuvieron un diámetro superior a 2.5 mm. La evolución de la humedad en función del tiempo de rehidratación (5, 10 y 20 h) se muestra en la tabla 1. Los controles a las 24, 48, 96 y 120 h corresponden a la etapa de germinación.

Tabla 1
Evolución de Humedad en Función del Tiempo

Tiempo ^a	Humedad en tiempos máximos de rehidratación		
	5h	10h	20h
Rehidratación			
0	5.72	5.72	5.72
5	23.24		
10		27.72	
20			33.51
Germinación			
48	41.57	43.07	42.04
72	46.06	45.63	44.96
96	47.25	47.88	49.71
120			50.93

Nota. Valores de porcentaje de humedad según tratamientos de rehidratación (5, 10, y 20h).

^a Tiempo en horas.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov, arrojó un valor de significación asintótica bilateral de 0.056 (mayor que = 0.05); indicador que las variables respuesta obtenidas están normalmente distribuidas.

El ANOVA, desarrollado con base a los datos de la tabla 2 muestra los resultados que se consignan en la tabla 3.

Tabla 3
Comparación de Germinación de Cebada por Tratamientos

F.V.	SC	GL	CM	Fc	Sig.
A	1.33	2	0.67	1.33	0.311
B	58.33	2	29.17	58.33	0.000
AB	20.33	4	5.08	10.17	0.002
Error	4.50	9	0.50		
Total	84.50	17			

Nota. Prueba ANOVA de dos factores.

El tiempo de rehidratación no afectó de manera significativa al porcentaje de germinación ($P > 0.05$), mientras el tiempo de germinación si la afectó ($P < 0.05$). La prueba de comparación de medias de Tukey que se muestra en la tabla 4, permite evidenciar que el tiempo de 96 h genera mayor proporción de granos germinados (95.67%).

Tabla 2
Granos Germinados por Tratamiento

Tiempo de germinación	Tratamientos		
	5	10	20
48	90.5 (0.71)	92 (1.41)	92.0 (0.0)
72	91.5 (0.71)	94 (0.0)	91.5 (0.71)
96	97.5 (0.71)	94.5 (0.71)	95.0 (0.0)

Nota. Porcentaje promedio de granos germinados, entre paréntesis desviación estándar. Tiempo de germinación y tratamiento en horas. Tratamientos corresponden a los tiempos máximos de rehidratación. Número de repeticiones por tiempo de germinación = 2.

Tabla 4
PCMM de Tukey para Granos Germinados

Tiempo de germinación	N	1	2
48 h	6	91.50	
72 h	6	92.33	
96 h	6		95.67
Sig.		1.00	1.00

Igualmente, de la tabla 3 se deduce que la interacción de los factores A y B a través de los diversos tratamientos que producen generan efectos significativos en la proporción de granos germinados. La tabla 5 muestra que el tratamiento de 5h de rehidratación con 96h de germinación genera la mayor proporción de granos germinados (97.50%), diferente a todos los demás.

La evolución de la humedad determinada en función del tiempo de rehidratación para las primeras 28 h, así como las curvas de tendencia se muestran en la figura 1.

Las constantes y coeficientes determinadas para cada una de las funciones que explican la tendencia de las humedades experimentales se resumen en la tabla 6.

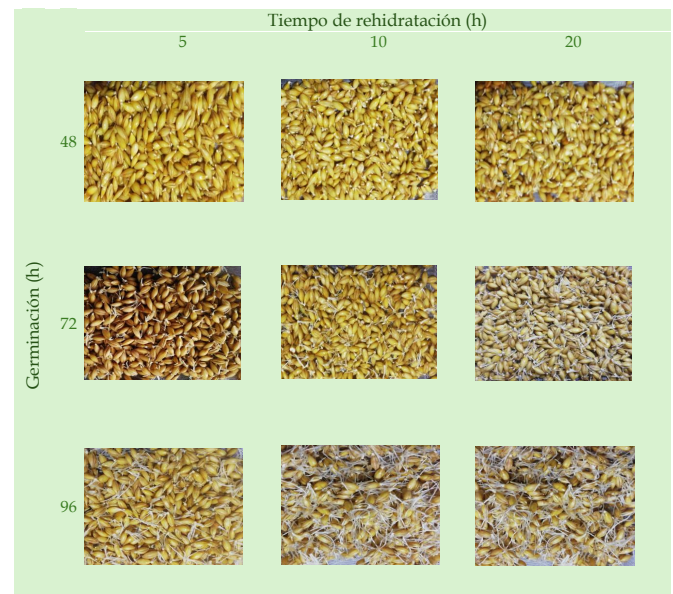
Tabla 6
Constantes y Coeficientes por Modelo Matemático

Modelo	R2	K1	K2
	0-28 h		
Logarítmico	0.9701	16.023	5.245
Potencial	0.9705	13.262	0.3069
Peleg	0.9610	12.371	1.767

La figura 2 muestra las imágenes, que dan cuenta

de los cambios que se producen en los granos de cebada en función del tiempo de rehidratación y el tiempo de germinación.

Figura 2
Proceso de Germinación



4. Discusión

La proporción de granos que es retenido por la malla que posee agujeros de 2.5 mm alcanzó el 91.26 ± 0.37%, resultado que se encuentran dentro de lo reportado como aceptable por Ullrich (2011), que indica que la fracción más voluminosa son de granos que no pasan por el tamiz de 2.5 mm y por Briggs (2008), quien afirma que los granos con diámetro menor de 2.2 a 2.3 mm son rechazados y utilizados en alimentación animal. La razón de este resultado está fundada en el hecho que esta variedad S9 INIA posee granos grandes con diámetro ecuatorial mayor a 2.5 mm, salvo los granos desinflados, vacíos o alargados, pero, estrechos. Además, la clasificación de acuerdo con Ulrich (2011) es vital porque el tamaño del grano afecta la absorción de agua que en lo posible debe ser homogéneo.

Tabla 5
PCMM para Tratamientos de Germinación

Tratamientos		1	2	3	4	5
5h 48 h	2	90.50				
5 h 72 h	2	91.50	91.50			
20 h 72 h	2	91.50	91.50			
10 h 48 h	2	92.00	92.00	92.00		
20 h 48 h	2	92.00	92.00	92.00		
10 h 72 h	2		94.00	94.00	94.00	
10 h 96 h	2			94.50	94.50	
20 h 96 h	2				95.00	
5 h 96 h	2					97.50

La tabla 1, muestra que habiendo iniciado la rehidratación con humedad igual (5.72%), Al final de la rehidratación por 5h los granos alcanzaron una humedad de 23.24%; 27.72% si fueron rehidratados por 10 h y 33.51% los rehidratados por 20 h. Sin embargo, durante el primer control a las 48 h de germinación tanto los granos rehidratados por 5 h, 10 h y 20 h poseen humedades muy cercanas (41.57%; 43.07% y 42.04% respectivamente). Este comportamiento cercano se mantuvo para el control a las 72 h de germinación (46.06%, 45.63% y 44.96%), mientras para el control a las 96 h de germinación los rehidratados por 20 h adquirieron una humedad ligeramente mayor a las otras dos (49.71%) y a las 120 h alcanza el 50.93%.

Al cabo de las 48 h, los granos de cebada recién presentaron rangos de humedad apropiadas para iniciar la germinación, tal como lo sostienen Swanston et al. (2014) que proponen como ideal humedades estar entre 42 a 46%, Ullrich (2011) entre 42 a 48% y Punia (2020) entre 42 a 45%. Elizalde et al. (2016), López-Elías et al. (2017), Maqueira-López et al. (2021) y Mayo-Mosqueda et al. (2017) afirman también que, la humedad de la cebada es un factor vital para iniciar la germinación.

En la investigación las humedades alcanzadas en el control a las 48 h y a las 96 h de germinación se encuentran dentro del rango propuesto por los tres autores. Mientras que en el control a las 96 horas de germinación en todos los casos las humedades alcanzadas son mayores al rango ideal sostenido por Punia (2020) y por Swanston et al. (2014), pero dentro del rango sugerido por Ullrich (2011), a excepción de los granos que fueron rehidratados por el tiempo de 20 h (49.71%) y a las 120 h de germinación (50.93%).

En general las humedades alcanzadas durante el

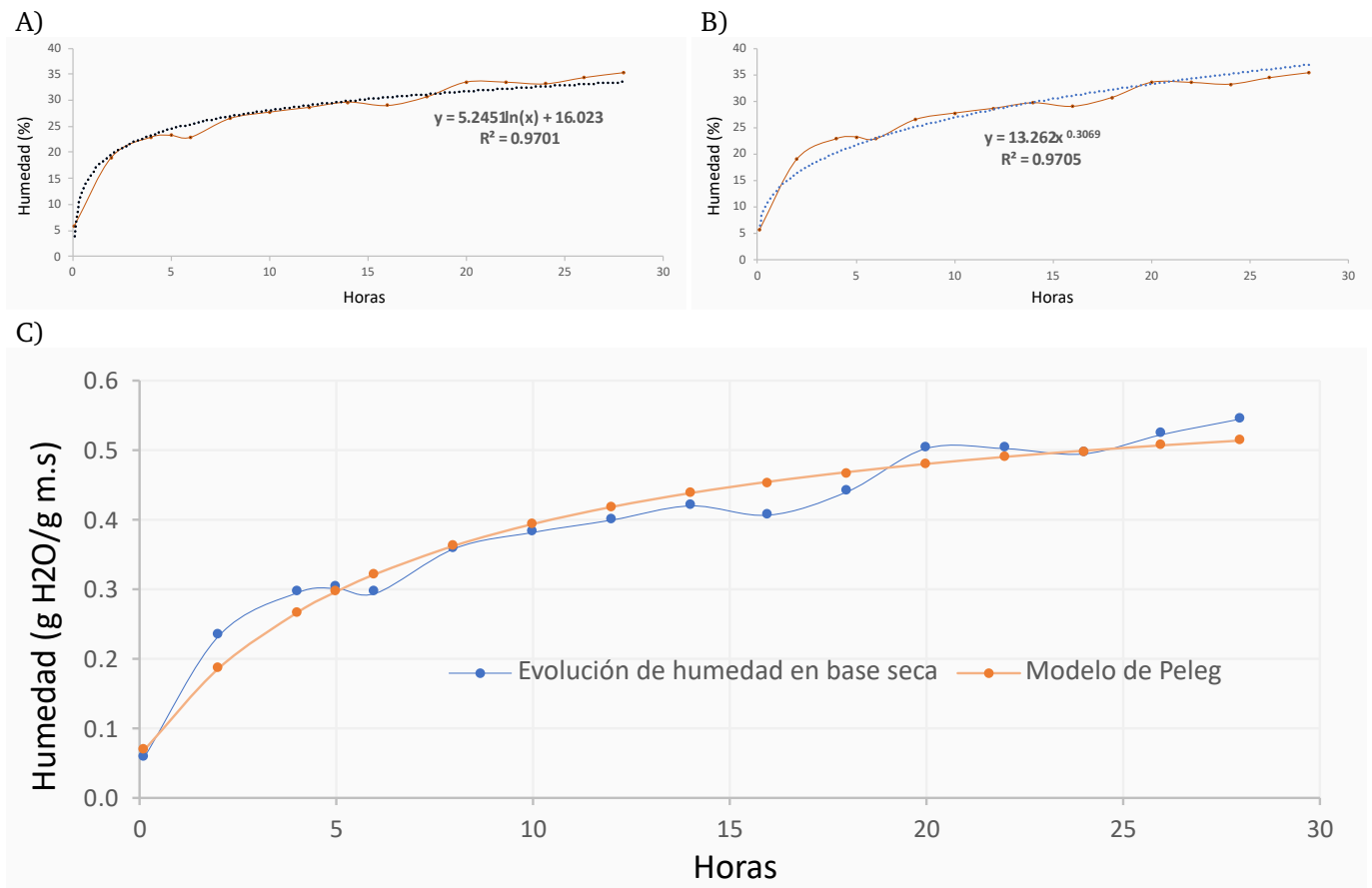
proceso de germinación escapan muy poco de los rangos propuestos como ideales por los diferentes investigadores y en todos los casos se alcanzó el objetivo respaldado por Punia (2020) quien indica que una mayor humedad genera ablandamiento del grano preparando al grano para iniciar el proceso metabólico de germinación.

Durante las lecturas de humedad determinadas en los diferentes momentos se encontró, que conforme el largo de las acrospiras (raicillas de la cebada desarrollada por germinación) crecieron, la humedad determinada también mostró valores mayores, lo que significa que el grano de cebada garantiza la dotación suficiente de agua para fijarlos en las acrospiras en desarrollo.

La mayor proporción de granos germinados mostrada en la tabla 2 fue del 97.5%, mientras 90.5% la menor. Se deduce que con 5 h de rehidratación se alcanzó una mayor proporción de germinados al cabo de las 96 h de germinación (97.5%), lo que no ocurre con 10 h y 20 h de rehidratación (94.5% y 95% respectivamente). En general, la investigación presentó proporciones de germinación mayores a los reportados por Al-Dahwi et al. (2023) 65%, probablemente porque se trabajó con granos sanos (no infestados con hongos) e inferiores a los reportados por Divyanshu et al. (2022) como 94.44%, para los tiempos de germinación de 48 y 72 h, pero, cercanos e incluso superiores con tiempos de germinación de 96h.

Ahmad et al. (2023), Al-Taher y Nemzer (2023), Bernate et al. (2020), Ding y Feng (2019), Geng et al. (2022), Kamal-Eldin (2008), Kanauchi et al. (1998) y Ruirong et al. (2024) afirman que la germinación genera el desarrollo de componentes bioactivos con efectos protectores contra diversas enfermedades crónicas y cambios favorables para la nutrición en la compo-

Figura 1
Evolución de la Humedad en Función del Tiempo de Rehidratación



Nota. Panel A: Función logarítmica, Panel B: Función potencial, Panel C: Modelo de Peleg.

sición de macronutrientes, mismos que se pueden verificar en futuras investigaciones utilizando el proceso realizado en el estudio, pero, como indican Ding y Feng (2019) y Ruirong et al. (2024) deben verificarse los cuidados de control necesarios durante el proceso, para maximizar los beneficios.

El ANOVA de la tabla 3, nos indica que el factor B (tiempo de rehidratación) y la interacción de los dos factores A y B generan efectos significativos en la proporción de granos germinados ($P < 0.05$), mientras A no ($P > 0.05$). La tabla 4 confirma este hecho indicando que a las 96 h se verifica una germinación del 95.67% de granos, diferente al producido por 48 h y 72 h de germinación (91.50% y 92.33% respectivamente).

Sin embargo, durante la conducción del experimento ambos factores interactuaron de manera simultánea (AB), la tabla 5 nos muestra que el tratamiento de 5h de rehidratación por 96 h de rehidratación genera el 97.50% de granos germinados diferente al producido por los demás tratamientos que alcanzan niveles en promedio de 95% y valores menores a este. No

se encontró antecedentes relacionados con la proporción de germinación de granos de cebada para los tratamientos estudiados.

Datos empíricos promedio utilizados para la elaboración de la figura 1 muestran una rápida ganancia de humedad por los granos de cebada durante las primeras 5, 10 y 20 h de maceración y una ralentización de esta para las horas siguientes, que coincide con lo reportado por Cozzolino et al. (2014), Cui et al. (2017) y Reynolds y MacWilliam (1966).

el panel A de la figura 1 muestra la evolución de la humedad en los granos de cebada a partir del 5.72% (grano seco), la tendencia indica que se produce un sostenido incremento de humedad conforme pasa el tiempo de rehidratación hasta las 28 h, momento en el que realizó el último control. La curva de tendencia que explica este fenómeno es la logarítmica con un coeficiente de determinación R^2 de 0.9701. El panel B de la figura 1 también muestra una curva de tendencia óptima con función potencial con R^2 de 0.9726. La figura 1 muestra el modelo de Peleg con R^2 de 0.9610; los tres muy cercanos a 1.0 y que según Walpole et al

(2012), indican que el 97.01%; 97.26% y 96.10% de la variabilidad, son explicadas por los tres modelos ajustados respectivamente, mientras que aproximadamente el 3% escapa de esta explicación. Estos resultados permiten afirmar que la ganancia de humedad por los granos de cebada durante el proceso de rehidratación es explicada en 97% por las siguientes ecuaciones:

$$Y = 5.2451 \ln(X) + 16.023 \quad (6)$$

$$Y = 13.262X^{0.3069} \quad (7)$$

$$Mt = 0.0607 + \frac{t}{12.371 + 1.767t} \quad (8)$$

Los valores de $K_1 = 12.371 \text{ s}^{-1}$ y $K_2 = 1.767\%$ para el modelo de Peleg, fueron obtenidos haciendo uso del procedimiento solver del software Excel versión 27. Comparado con los valores de K_1 y K_2 obtenidos por Akinola y Abeokuta (2022) 32.98 y 0.07756 respectivamente para batata, 2.39 y 0.0564 para remolacha, difieren de los obtenidos para cebada, por tratarse de otro producto alimenticio, sin embargo, se valida nuevamente que el modelo de Peleg explica muy bien el proceso de rehidratación de un alimento, en este caso de la cebada. Sin embargo, estos valores obtenidos se alejan de los reportados por (Cui et al., 2017) que indica que estos son 298.99 y 1.182 respectivamente, aunque no mencionan la variedad de cebada con la que

trabajaron, que puede tener características diferentes al S9 INIA, probablemente granos más grandes, cáscara más gruesa, etc.

La figura 2 muestra imágenes donde a las 48 horas recién se inicia el brote del germen, como puntitos blancos en uno de los extremos de grano (igual para los macerados por 5h, 10h y 20h). A las 72 horas la longitud y abundancia de las acróspiras son mayores en aquellas que fueron rehidratadas por 20h y 10h, mientras fueron muy escasas y de menor longitud en las rehidratadas por 5h. A las 96h se notó esta misma tendencia con acróspiras que alcanzaron una longitud aproximada de 1.0 cm.

4.1. Conclusiones

Los resultados obtenidos indican que conforme el tiempo de rehidratación se incrementa también lo hace la humedad final alcanzada, existiendo una relación directa entre estas dos. El estudio determinó que la germinación lograda se acerca al 100%, con efecto importante del factor tiempo de germinación y la interacción de los factores A y B. La evolución de la humedad de los granos de cebada en función del tiempo, muestra un rápido incremento de este en las primeras horas y más lentamente a las horas intermedias y finales. Los modelos matemáticos logarítmico, potencial y de Peleg explican muy bien el comportamiento de los datos empíricos con R^2 muy cercanos a 1.

Referencias

- Ahmad, A., Liaqat, C., Nayik, G. A., & Farooq, U. (2023, 23 de enero). Chemical Composition of Cereal Grains. En *Cereal Grains* (1ª ed., pp. 49-76). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003252023-4>
- Akinola, A. A., & Abeokuta, E. T. (2022). Rehydration Characteristics of Beetroot, Sweet Potato and Yam Slices Dried Using the Refractance Window™ Method. *West Indian Journal of Engineering*, 45(1), 62-68. <https://doi.org/10.47412/DJOA3244>
- Al-Dahwi, S. S. J., Al-Jubouri, H. K. J., & Al-Mrsomi, Z. M. M. (2023). Effect of Acarus Siro L. Infestation on Germination of Wheat and Barley Seeds under Laboratory Conditions. *Research on Crops*, VOLUME 24. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2023.ROC-1021>
- Al-Taher, F., & Nemzer, B. (2023). Effect of Germination on Fatty Acid Composition in Cereal Grains. *Foods*, 12(17), 3306. <https://doi.org/10.3390/foods12173306>
- Badea, A., & Wijekoon, C. (2021, 8 de diciembre). Benefits of Barley Grain in Animal and Human Diets. En A. Kumar Goyal (Ed.), *Cereal Grains - Volume 1*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97053>
- Bernate, I., Sabovics, M., & Tomson, L. (2020). Influence of Germination Conditions and Parameters on the Content of Total Phenolic Compounds and Scavenging Activity in Germinated Seeds. *Rural Sustainability Research*, 44(339), 46-53. <https://doi.org/10.2478/plua-2020-0016>
- Bleidere, M., Jansone, Z., Grunte, I., & Jakobson, I. (2017). Biochemical Composition of Spring Barley Grain Pearled to Varying Degrees. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences.*, 71(6), 468-473. <https://doi.org/10.1515/prolas-2017-0082>
- Borsato, V. M., Jorge, L. M. M., Mathias, A. L., & Jorge, R. M. M. (2019). Thermodynamic properties of barley hydration process and its thermostability. *Journal of Food Process Engineering*, 42(2), e12964. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12964>
- Briggs, D. E. (1978). *Barley*. Wiley.
- Cozzolino, D., Roumeliotis, S., & Eglinton, J. (2014). Study of Water Uptake in Whole Grain Barley by Two-Dimensional Correlation Near-Infrared Spectroscopy. *Spectroscopy Letters*, 47(4), 261-266. <https://doi.org/10.1080/00387010.2013.795977>

- Cui, X., Chen, W., Li, H., Gui, X., Qiao, Y., & Jiao, X. (2017). Effect of Temperature on Rehydration of Freeze-Dried Dumpling and the Peleg Rehydration Model. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 13(2), 68-71. <https://doi.org/10.19026/ajfst.13.3767>
- Ding, J., & Feng, H. (2019). Controlled germination for enhancing the nutritional value of sprouted grains. En *Sprouted Grains* (pp. 91-112). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811525-1.00005-1>
- Divyanshu, K., Yadav, M., Shukla, V., Kumar, S., Tripathi, Y. N., & Upadhyay, R. S. (2022). Molecular Identification and Characterization of Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Their Effect on Seed Germination and Vigour Index of Barley (*Hordeum Vulgare* L.) *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 16(2), 974-989. <https://doi.org/10.22207/JPAM.16.2.21>
- Elizalde, V., García, J. R., Peña-Valdivia, C. B., Ybarra, M. C., Leiva, O. R., & Trejo, C. (2016). Viabilidad y Germinación de Semillas de *Hechtia Perotensis* (Bromeliaceae). *Revista de Biología Tropical*, 65(1), 153. <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i1.23566>
- Geng, L., Li, M., Zhang, G., & Ye, L. (2022). Barley: A potential cereal for producing healthy and functional foods. *Food Quality and Safety*, 6, fyac012. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyac012>
- Gestión. (2022, 1 de febrero). *Mercado de cerveza artesanal espera alcanzar producción récord este año*. Gestión. Consultado el 9 de enero de 2025, desde <https://gestion.pe/economia/empresas/mercado-de-cerveza-artesanal-espera-alcanzar-produccion-record-este-ano-noticia/>
- Kamal-Eldin, A. (2008). Micronutrients in cereal products: Their bioactivities and effects on health. En *Technology of Functional Cereal Products* (pp. 86-111). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781845693886.1.86>
- Kanauchi, O., Nakamura, T., Agata, K., Mitsuyama, K., & Iwanaga, T. (1998). Effects of Germinated Barley Foodstuff on Dextran Sulfate Sodium-Induced Colitis in Rats. *Journal of Gastroenterology*, 33(2), 179-188. <https://doi.org/10.1007/s005350050067>
- López-Elías, J., Jiménez-León, J., Huez-López, M. A., Dávila-Loreto, J. A., Ávila-Machado, E., & Robles-Zepeda, R. E. (2017). Germinación De Semillas De *Asclepias Subulata* En Condiciones De Casa Sombra Utilizando Ácido Giberélico. *European Scientific Journal, ESJ*, 13(15), 58. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n15p58>
- Maqueira-López, L. A., Roján-Herrera, O., Solano-Flores, J., & Milagros-Santana, I. (2021). Germinación de semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a diferentes temperaturas. *Cultivos Tropicales*, 42(2). Consultado el 9 de enero de 2025, desde <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193268052003>
- Maw, M. J. W., Lepcha, I., & Naumann, H. D. (2023). Previous legume crop influences winter barley yield, N fertilizer response, and malting quality in Missouri. *Legume Science*, 5(4), e182. <https://doi.org/10.1002/leg3.182>
- Mayo-Mosqueda, A., Espinosa-Moreno, J., Centurión-Hidalgo, D., & Cázares-Camero, J. (2017). Estrategias Para Mejorar La Germinación de Semillas de *Calyptrogyne Ghiesbreghtiana* (Linden y H. Wendland). *Polibotánica*, 0(43). <https://doi.org/10.18387/polibotanica.43.11>
- McGlinch, G. J., Jacquemin, S. J., & Lindsey, L. E. (2021). Evaluating winter malting barley grain yield with fractional green canopy cover. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 7(1), e20079. <https://doi.org/10.1002/cft2.20079>
- Punia, S. (2020). *Barley: Properties, functionality and applications*. CRC Press.
- Resio, A. C., Aguerre, R. J., & Suarez, C. (2006). Hydration kinetics of amaranth grain. *Journal of Food Engineering*, 72(3), 247-253. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.12.003>
- Reynolds, T., & MacWilliam, I. C. (1966). WATER UPTAKE AND ENZYMIC ACTIVITY DURING STEEPING OF BARLEY. *Journal of the Institute of Brewing*, 72(2), 166-170. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1966.tb02947.x>
- Ruirong, P., Hassane Hamadou, A., & Xu, B. (2024). Germination in improving the nutrition, health benefits and processing of highland barley. *International Journal of Food Science & Technology*, 59(4), 2162-2171. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17012>
- Swanston, J., Wilhelmson, A., Ritala, A., & Gibson, B. (2014). Malting, Brewing, and Distilling. En *Barley* (pp. 193-222). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-891127-79-3.50008-1>
- Ullrich, S. E. (2011). *Barley: Production, improvement, and uses*. Wiley-Blackwell.