

# Caracterización y modelado del crecimiento microbiano en el desarrollo de una bebida probiótica no láctea de extracto vegetal de tarwi (*Lupinus mutabilis* S.)

## Characterization and modeling of microbial growth in the development of a non-dairy probiotic drink made from tarwi plant extract (*Lupinus mutabilis* S.)

Edith Jessica Colque Cruz<sup>1</sup>, Alex Danny Chambi-Rodriguez<sup>2\*</sup> y Noe Benjamín Pampa-Quispe<sup>3</sup>

### Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar y modelar el crecimiento microbiano de una bebida probiótica fermentada no láctea a base de extracto vegetal de tarwi. Se empleó la metodología de molienda húmeda para obtener el Extracto Vegetal de Tarwi (EVQ), luego se procedió a formular las mezclas con sacarosa (6 y 12 %) e inóculo de *Saccharomyces boulardii* (2 y 4 %) y se obtuvo así cuatro tratamientos (A<sub>1</sub> – A<sub>4</sub>) con réplicas; la inoculación fue realizada a 37 °C con agitación constante a 20 RPM durante 24 horas. Se realizaron las lecturas del incremento de biomasa con un microscopio y una cámara de Neubauer, expresado en (ufc/ml) en intervalos de 3 horas; se construyó curvas y parámetros cinéticos de crecimiento microbiano con el modelo matemático de Gompertz; se realizó un monitoreo de °Brix, densidad, pH, y % de acidez; se aplicó un análisis de regresión lineal; finalmente se realizó el ajuste del modelado matemático. Los resultados de la cinética de crecimiento microbiano mostraron las fases de crecimiento microbiano en todos tratamientos, sin embargo, A<sub>1</sub> mostró el mejor ajuste en los parámetros cinéticos (C = 0.652, B = 1.296, M = 0.408). Por otro lado, se observó en la regresión lineal de las propiedades fisicoquímicas pendientes negativas con respecto a los °Brix, densidad, pH, y una pendiente positiva en la acidez. El comportamiento de la cinética de crecimiento microbiano y los cambios fisicoquímicos presentaron buenos parámetros y características propia de una bebida probiótica.

**Palabras clave:** Probióticos, Modelo de Gompertz, *Lupinus*, *Boulardii*.

### Abstract

The present study, had the purpose of developing a fermented non-dairy probiotic drink based on tarwi, for this purpose the legume was unmarked, and then obtained Tarwi Vegetable Extract (EVQ) by blending it, then proceeded to make mixtures with sucrose (6 and 12%) and inoculum of *Saccharomyces boulardii* (2 and 4%) thus obtaining a total of 4 treatments (A<sub>1</sub> - A<sub>4</sub>), the inoculation was performed at 37 °C with constant agitation at 20 RPM for a period of 24 hours; where at three-hour intervals readings of the biomass increase were made with a microscope and a Neubauer chamber expressed in (cfu / ml) at intervals of 3 hours, curves and kinetic parameters of microbial growth were constructed with the mathematical model of Gompertz, a monitoring of ° Brix, density, pH, and % of acidity was carried out, a linear regression analysis was applied; finally the adjustment of the mathematical modeling was carried out. The results of the microbial growth kinetics showed the stages of microbial growth in all treatments, however, A<sub>1</sub> showed the best fit in the kinetic parameters (C = 0.652, B = 1.296, M = 0.408). On the other hand, negative slopes with respect to ° Brix, density, pH, and a positive slope in acidity were observed in the linear regression of the physicochemical properties. The behavior of the kinetics of microbial growth and the physicochemical changes presented good parameters and characteristics of a probiotic drink.

**Keywords:** Probiotics, Gompertz Model, *Lupinus*, *Boulardii*.

**Recibido:** 10/11/2022

**Aceptado:** 13/01/2023

**Publicado:** 31/01/2023

**Sección:** Artículo original

\*Autor correspondiente: [adanny@upeu.edu.pe](mailto:adanny@upeu.edu.pe)

### Introducción

En la actualidad los alimentos probióticos son de mucho interés tanto para investigadores como para consumidores; entre estos productos podemos destacar bebidas lácteas y no lácteas, estas últimas de provecho, pues existe un grupo de consumidores que padecen intolerancia a compuestos presentes en productos lácteos, la lactosa es el más conocido ya que se carece de una enzima (lactasa) que pueda intervenir en el metabolismo de esta, ocasionando así la privación de estos alimentos y sus derivados (Uscanga et al., 2019). Es así que existe una tendencia creciente hacia el desarrollo de productos

probióticos libres de lactosa, como es el caso de bebidas de frutas (gilaburu), de cereales, leguminosas (soja); y

<sup>1</sup> Centro de Investigación de Tecnología de Alimentos, Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3521-0713>

<sup>2</sup> Centro de Investigación de Tecnología de Alimentos, Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0858-0332>

<sup>3</sup> Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional de Barranca, Lima, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8072-249X>

**Como citar:** Colque Cruz, E. J., Chambi-Rodriguez, A. D., & Pampa-Quispe, N. B. (2023). Caracterización y modelado del crecimiento microbiano en el desarrollo de una bebida probiótica no láctea de extracto vegetal de tarwi (*Lupinus mutabilis* S.). Revista De Investigaciones Altoandinas, 25(1), 41-48. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.501>



es debido a su gran potencial nutricional en conjunto, al efecto de los microorganismos, que estos productos son una buena opción de alimentación (Carvalho et al., 2018; Chavan, et al., 2018; et al., 2016).

El extracto vegetal de tarwi es una bebida natural que se logra a través de un proceso de molienda húmeda mediante el cual se obtiene el extracto acuoso del grano. El tarwi es fuente de valor nutricional en aminoácidos, carbohidratos, fibra, vitaminas, así como de fósforo, potasio y hierro (Muñoz et al., 2018). Contiene ácido linoleico y linoléico que son ácidos grasos esenciales, con propiedades que los hacen únicos e irremplazables ya que nuestro organismo no puede sintetizarlos y se deben adquirir en la dieta (Chirinos, 2015).

La fermentación con cultivos lácticos representa una alternativa tecnológica para la transformación del extracto de granos vegetales, o como un sustrato adecuado para el crecimiento y la actividad de bacterias debido a los oligosacáridos, aminoácidos y péptidos presentes en el grano que estimulan el crecimiento microbiano (Fazilah et al. 2018). La adición de cultivos lácticos probióticos al extracto de granos vegetales permite obtener bebidas fermentadas con propiedades funcionales, estos microorganismos vivos son capaz de mejorar el equilibrio microbiano intestinal, y producen efectos beneficiosos en la salud individual (Marin et al., 2014).

Según Valdovinos et al. (2019) indican, los alimentos probióticos son de mucho beneficio para el consumidor; entre sus bondades se destacan el desarrollo normal del sistema inmunitario, y la regulación de respuesta ante patógenos. Entre los microorganismos presentes en los alimentos probióticos tenemos algunos como el *Lactobacillus fermentum*, *Bifidobacterim bifidum*, *Saccharomyces cerevisiae* y *Saccharomyces boulardii*; este último puede generar efectos farmacodinámicos fisiológicos en la flora intestinal normal; estudios realizados demostraron la viabilidad de esta en productos alimenticios como quesos, brotes de frijol, tunta, entre otros (Rodríguez y Chambí, 2019; Swieca et al., 2019; Vega et al., 2016).

Para ajustar el crecimiento de microbiano se aplica un modelo de regresión lineal o no lineal para todos los datos observados durante un tiempo largo. Es común notar errores del modelo no correlacionados y que sus varianzas son constantes en todo. Montgomery et al. (2012), y Silva, et al (2018) indican que el modelo más ampliamente utilizado para describir el crecimiento microbiano es la función de Gompertz. Y para realizar el ajuste del modelo para cada tratamiento se aplica los análisis estadísticos sugeridos por Torres et al. (2012).

En vista de la demanda de los alimentos consumidos y los efectos beneficiosos del tarwi y los probióticos, este trabajo tuvo como objetivo caracterizar y evaluar la cinética de crecimiento microbiano en el desarrollo de una bebida probiótica fermentada no láctea a partir de extracto vegetal de tarwi.

## Materiales y métodos

El tarwi fue obtenido en el mercado local de la provincia de Yunguyo, departamento de Puno. Fue trasladado a la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca. Se procedió a realizar el desamargado de esta muestra, para lo cual se sometió a remojo por 24 horas a temperatura ambiente, luego se llevó al proceso térmico de 87 °C por una hora, y finalmente se realizaron lavados consecutivos durante cinco días.

### Obtención del Extracto Vegetal de Tarwi

El proceso de obtención del Extracto Vegetal de Tarwi (EVT) y la bebida probiótica fue según la metodología de González (2011), como se muestra en la Figura 1.

### Cepas de levadura y condiciones de crecimiento

Los experimentos se desarrollaron con cepas liofilizadas de *Saccharomyces boulardii* (Floratil 200 mg). Para su activación las muestras fueron inoculadas en leche desnatada estéril en relación de 1:1 (cepa : leche); luego se las incubó a temperatura de 37 °C por 12 horas en una incubadora marca Binder; más tarde se procedió a realizar la inoculación en el EVT, y a separarlas en matraces de 250 ml esterilizadas en autoclave marca STURDY a 121 °C por 15 min, para evitar la interferencia de otros microorganismos y asegurar la esterilidad del medio.

A partir de estas se preparó una batería de matraces, de un total de 4 tratamientos codificados según se muestra en la Tabla 1, con 200 ml aproximados, y variaciones en el porcentaje de la concentración de sacarosa (CS), en la concentración de la cepa (CC), a temperatura de 37 ± 1 °C, con agitación constante de 20 RPM regulados por un baño María BS – 11. Cada tres horas (0 – 24 horas de incubación) se retiró cada matraz para el conteo correspondiente; asimismo, se realizó monitoreo de las propiedades físicas de sólidos solubles (°Brix) medido con un refractómetro ATAGO N50, la densidad (g/cm<sup>3</sup>) de la bebida se midió con un picnómetro graduado, el potencial de hidrógeno (pH) fue medido con un potenciómetro de mesa SI Analytics modelo Lab 850; y el porcentaje de acidez titulable con hidróxido de sodio 0,1 N como titulante, y como indicador solución alcohólica de fenolftaleína al 1%.

**Tabla 1.** Tratamientos y codificación de los tratamientos

Tratamiento (Código)	Concentración de Sacarosa (%)	Concentración de Ceba (%)
A <sub>1</sub>	6.0	2.0
A <sub>2</sub>	6.0	4.0
A <sub>3</sub>	12.0	2.0
A <sub>4</sub>	12.0	4.0

### Crecimiento microbiano y modelamiento matemático

Para las lecturas del incremento de biomasa se utilizó un microscopio monocular LW SCIENTIFIC y una cámara Neubauer de 0,100 a 0,00025 mm<sup>2</sup>, expresando los resultados en unidades formadora de colonias por mililitro (ufc/mL), convertidos a logaritmos de base 10 y modelados con la siguiente fórmula (Castro et al., 2008):

Modelo de Gompertz.

$$N = N_0 + C * \exp(-\exp(-B * (t - M))) \quad (1)$$

Donde N es el número de microorganismos a un tiempo t.

N<sub>0</sub> > 0 es el número de microorganismos en momento inicial.

C: logaritmo común de la diferencia entre la población inicial y final en la fase estacionaria.

B: representa la pendiente de la curva y describe la tasa de crecimiento.

M: tiempo en el cual la tasa de crecimiento es de mayor magnitud.

Asimismo, se calculó la velocidad específica de crecimiento ( $\mu_{\text{máx}}$ ), duración de la fase de latencia ( $\lambda$ ) y

el tiempo de generación (G); según Cayré, Vignolo, & Garro (2007).

$$\mu = \frac{(A * B)}{e} \quad (2)$$

$$\lambda = M - \frac{1}{B} \quad (3)$$

La comparación de los diferentes tratamientos se realizó tomando la factibilidad de los mismos para alcanzar el ajuste, y determinando los parámetros de crecimiento correspondientes a cada modelo matemático (Castro et al., 2008).

### Modelos de bondad de ajuste

Para realizar el ajuste del modelo para cada tratamiento se aplicó los análisis estadísticos sugeridos por Torres et al. (2012). De: interacciones, suma final de los cuadrados del error, cuadrado medio del error, la desviación estándar, y el coeficiente de variabilidad.

### Resultados y discusión

#### Resultados en las propiedades fisicoquímicas del Extracto vegetal

La Tabla 2 muestran los resultados de las propiedades fisicoquímicas del extracto vegetal de tarwi.

**Tabla 2.** Caracterización fisicoquímica del extracto vegetal de tarwi

Parámetros	Valor
Sólidos solubles (°Brix)	3.3 ± 0.208
Potencial de hidrógeno (pH)	6.19 ± 0.149
Densidad (g/mL)	1.015 ± 0.007
Viscosidad (Cp)	5.4 ± 0.007

### Crecimiento microbiano y Modelamiento matemático

La Figura 2 muestra la construcción de las curvas de crecimiento de cada uno de los tratamientos. En ella se puede apreciar que la fase de adaptación de cada una de las curvas se da en períodos muy cortos, casi imperceptibles; con respecto a la fase de crecimiento

exponencial, el tratamiento A<sub>1</sub> da valores más elevados de biomasa en comparación a los demás tratamientos; asimismo, se puede observar los puntos de cercanía a las curvas del modelo sigmoidal, de las cuales A<sub>2</sub> muestra un descenso más rápido seguido de A<sub>4</sub> y A<sub>3</sub>, mientras que A<sub>1</sub> presenta valores más estables.

Según Valbuena et al (2008), en su estudio demostraron que Gompertz establece buenos parámetros en la elaboración de las curvas de crecimiento, ya que este modelo presenta un buen ajuste en la función hiperbólica; para Oviedo et al. (2014), en el empleo del modelo Logístico hay valores sin fase “lag” o de adaptación; en comparación con nuestro estudio, con el modelo matemático de Gompertz se muestran fases “lag” cortas; asimismo, Rodríguez y Chambi (2019) mencionan que gracias al modelamiento se puede definir las fases de crecimiento de este microorganismo.

En la Tabla 3 se pueden apreciar los parámetros de la cinética de crecimiento microbiano; se ve con respecto al parámetro C, que el tratamiento A<sub>1</sub> fue superior con 0.652 en contraste son los demás, muestra así un mayor número de biomasa, con respecto al parámetro B el tratamiento A<sub>2</sub> presentó el mayor valor con 1.555,

sin embargo el tratamiento A<sub>1</sub> presentó el menor valor y menor pendiente en comparación con los demás tratamientos; el parámetro M muestra que el tratamiento A<sub>4</sub> presenta el mayor valor con 0.511 y asimismo el ( $\mu_{\text{máx}}$ ) menor valor es dado por el tratamiento A<sub>1</sub>. Sobre la velocidad específica de crecimiento, el valor más alto fue dado por A<sub>1</sub> con 0.266, seguido de A<sub>4</sub> y A<sub>2</sub>. Respecto a la duración de la fase de latencia, A<sub>2</sub> y A<sub>4</sub> presentaron la mayor duración y A<sub>3</sub> y A<sub>1</sub> los valores más bajos, este último con un valor de 0.726. Y sobre el tiempo de generación (G) el mayor valor fue el de A<sub>3</sub>, seguido por A<sub>2</sub> y A<sub>4</sub>, y por último A<sub>1</sub>. Asimismo, el análisis estadístico demostró que los tratamientos son estadísticamente diferentes en todos los casos, a excepción del parámetro C donde A<sub>3</sub> y A<sub>4</sub> son estadísticamente similares, tanto la concentración de sacarosa y la concentración de la cepa ejercieron efecto sobre las curvas de crecimiento.

**Tabla 3.** Parámetros cinéticos de *Saccharomyces boulardii*

Tratamiento	C	B	M	$\mu_{\text{máx}}$ (h <sup>-1</sup> )	$\lambda$ (h)	G (h)
A <sub>1</sub>	0.652 <sup>a</sup>	1.296 <sup>d</sup>	0.408 <sup>a</sup>	0.266 <sup>a</sup>	0.726 <sup>d</sup>	2.607 <sup>d</sup>
A <sub>2</sub>	0.503 <sup>b</sup>	1.555 <sup>a</sup>	0.496 <sup>b</sup>	0.249 <sup>c</sup>	1.119 <sup>a</sup>	2.775 <sup>b</sup>
A <sub>3</sub>	0.497 <sup>c</sup>	1.463 <sup>c</sup>	0.493 <sup>c</sup>	0.245 <sup>d</sup>	0.940 <sup>c</sup>	2.831 <sup>a</sup>
A <sub>4</sub>	0.499 <sup>c</sup>	1.549 <sup>b</sup>	0.511 <sup>a</sup>	0.255 <sup>b</sup>	1.076 <sup>b</sup>	2.717 <sup>c</sup>

Nota: <sup>a, b, c, d</sup> Los tratamientos que comparten letras son estadísticamente iguales.

Según Gualtieri (2007) indica, el desarrollo de los microorganismos se debe a la variación del sustrato, indispensable en obtención de biomasa; de modo que esto explica el fenómeno mostrado en las curvas de crecimiento, ya que a mayor cantidad de microorganismos el sustrato se agotará en tiempos cortos. Por otro lado, si la concentración de microorganismos es baja esta podrá tener un buen desarrollo y el incremento de células se dará sin problemas. Para Belda et al. (2014) los modelos sigmoidales de crecimiento nos permiten aprovechar las bondades de estas ecuaciones, como los datos de la tasa máxima de crecimiento ( $\mu_{\text{máx}}$ ), entre otros aspectos. Igualmente, Ortiz et al. (2008) afirman que

el contenido de biomasa depende de la concentración de sustrato hasta cierto punto, en su estudio se mostró que en concentración de melaza de 20 y 30 % no existe diferencia estadística de la cantidad de biomasa obtenida.

La Figura 3 presenta el gráfico de superficie de respuesta del parámetro  $\mu_{\text{máx}}$  en la cual se observa que A<sub>1</sub> y A<sub>4</sub>, están representados por los extremos más altos de la gráfica; por otro lado, los puntos más bajos corresponden a los tratamientos A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub>. En la Figura 4 se observa el gráfico de contorno donde A<sub>1</sub> presenta la región más óptima para el crecimiento en el parámetro  $\mu_{\text{máx}}$  en comparación con los demás tratamientos.

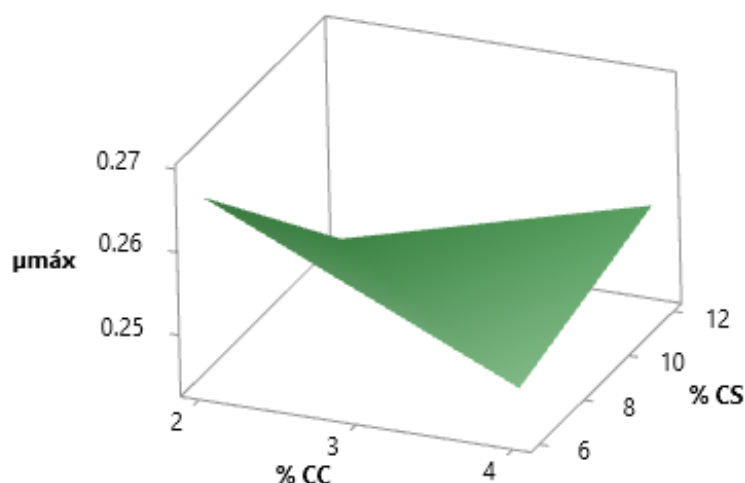


Figura 3. Gráfico de Superficie de respuesta de  $\mu_{máx}$

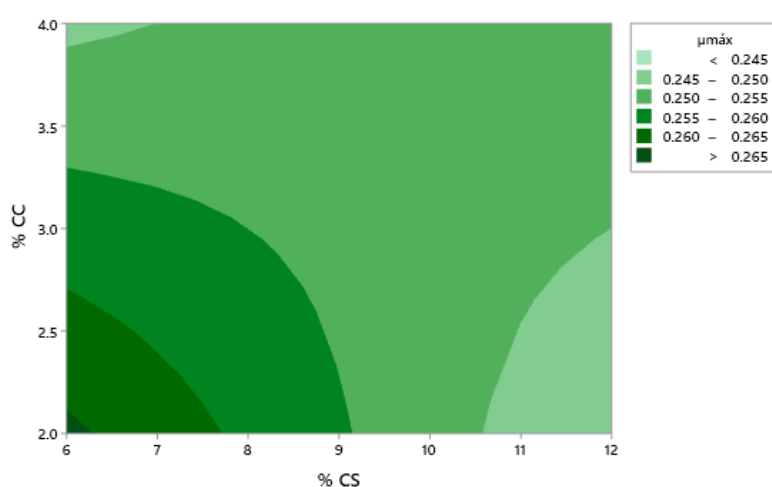


Figura 4. Gráfica de contorno de  $\mu_{máx}$

La Tabla 4 muestra el monitoreo de las propiedades físicas de la bebida probiótica. En ella se puede apreciar el descenso de algunas en todos los tratamientos, como en

el caso de los grados Brix, densidad y pH; sin embargo, con respecto a la acidez en todos los tratamientos se mostró un incremento.

Tabla 4. Monitoreo de las propiedades físicas y fisicoquímicas

Tiempo	°Brix				Densidad (g/cm <sup>3</sup> )			
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
0	6.5 ± 0.00	7.0 ± 0.05	12.5 ± 0.50	12.0 ± 0.05	1.0071	1.0074	1.0127	1.0127
3	6.4 ± 0.02	6.5 ± 0.50	11.7 ± 0.20	11.8 ± 0.28	1.0071	1.0073	1.0123	1.0119
6	6.4 ± 0.05	6.3 ± 0.28	11.6 ± 0.41	11.7 ± 0.25	1.0070	1.0068	1.0123	1.0115
9	6.3 ± 0.27	6.8 ± 0.28	11.5 ± 0.05	11.5 ± 0.07	1.0070	1.0067	1.0112	1.0114
12	6.2 ± 0.10	6.1 ± 0.28	11.4 ± 0.10	11.4 ± 0.07	1.0068	1.0062	1.0108	1.0113
15	5.4 ± 0.11	5.5 ± 0.12	11.5 ± 0.35	11.2 ± 0.31	1.0068	1.0061	1.0105	1.0109
18	5.0 ± 0.02	5.5 ± 0.14	11.4 ± 0.05	11.3 ± 0.10	1.0066	1.0061	1.0098	1.0107
21	5.2 ± 0.25	5.1 ± 0.22	10.9 ± 0.05	10.9 ± 0.17	1.0056	1.0058	1.0094	1.0106
24	4.7 ± 0.32	4.9 ± 0.19	10.7 ± 0.20	10.0 ± 0.01	1.0055	1.0057	1.0094	1.0104
	pH				Acidez (%)			
0	6.5 ± 0.37	6.5 ± 0.34	6.7 ± 0.02	6.9 ± 0.00	0.19 ± 0.01	0.15 ± 0.00	0.28 ± 0.00	0.16 ± 0.02
3	6.0 ± 0.06	6.4 ± 0.12	6.7 ± 0.02	6.7 ± 0.07	0.28 ± 0.03	0.16 ± 0.04	0.31 ± 0.01	0.32 ± 0.02
6	5.8 ± 0.02	6.4 ± 0.23	6.6 ± 0.01	6.4 ± 0.05	0.31 ± 0.02	0.31 ± 0.09	0.42 ± 0.15	0.40 ± 0.03
9	5.7 ± 0.05	6.3 ± 0.13	6.1 ± 0.40	6.4 ± 0.03	0.34 ± 0.09	0.36 ± 0.07	0.65 ± 0.29	0.93 ± 0.10
12	5.6 ± 0.04	5.6 ± 0.01	5.6 ± 0.00	5.5 ± 0.02	1.68 ± 0.29	2.36 ± 0.05	1.88 ± 0.08	2.71 ± 0.01
15	5.6 ± 0.08	5.5 ± 0.01	5.5 ± 0.01	5.5 ± 0.01	2.03 ± 0.06	2.64 ± 0.04	2.03 ± 0.06	2.95 ± 0.09
18	5.5 ± 0.12	5.5 ± 0.01	5.4 ± 0.00	5.5 ± 0.00	2.11 ± 0.29	2.72 ± 0.19	2.11 ± 0.29	3.02 ± 0.11
21	5.5 ± 0.15	5.4 ± 0.00	5.4 ± 0.00	5.4 ± 0.01	2.13 ± 0.08	2.82 ± 0.13	2.13 ± 0.08	3.02 ± 0.08
24	5.5 ± 0.18	4.8 ± 0.52	5.4 ± 0.01	5.4 ± 0.02	3.05 ± 0.10	2.93 ± 0.21	3.05 ± 0.10	3.06 ± 0.05

En la Figura 5 se puede apreciar la tendencia lineal de los parámetros físicos; en ella se ve un descenso para todos los parámetros en los grados Brix, densidad y

pH, mostrando pendientes negativas; pero en función al porcentaje de acidez se ve un incremento con pendiente positiva en todos los tratamientos.

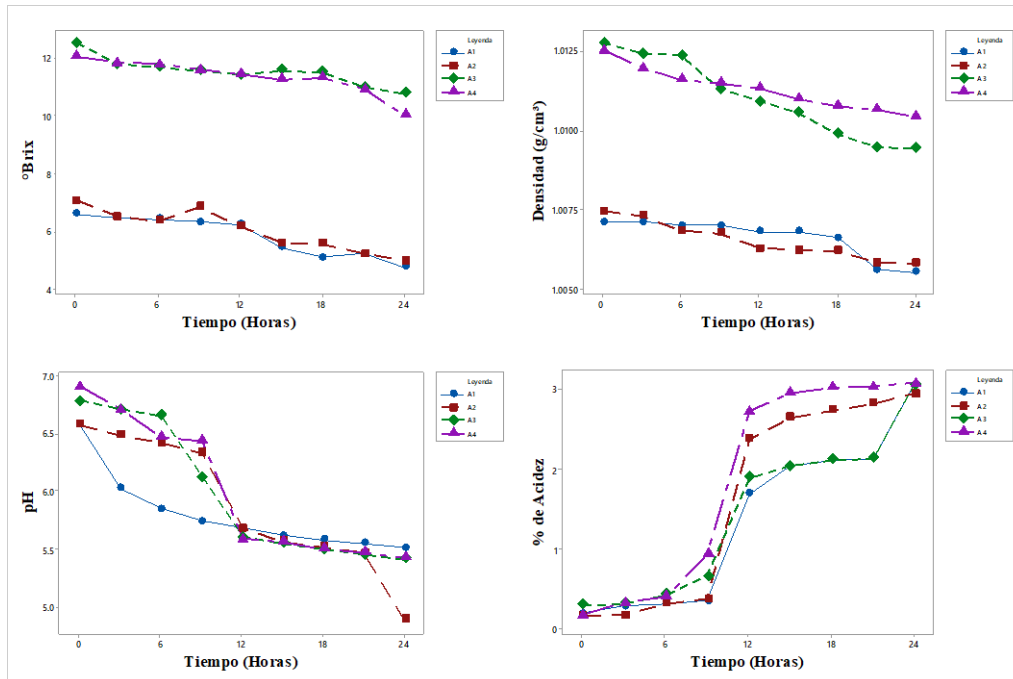


Figura 5. Monitoreo de parámetros físicos y fisicoquímicas

Jover et al. (2012) en su estudio de evaluación de levaduras mostraron que estas consumen los azúcares que se encuentran en el medio y claramente se puede apreciar en el descenso de los grados Brix, tal como ocurre con los tratamientos. Trigueros et al. (2016) resaltan que para el incremento de la biomasa se necesitan azúcares los cuales se reducen en función al tiempo, ya que los microorganismos la utilizan para el metabolismo. Moreno et al., (2013) muestran que existe diferencia en densidades de las bebidas antes de fermentar y luego de fermentar, esto debido a los procesos de transformación de parte de los microorganismos en el sustrato (Guel et al., 2018). Bajo este principio explicamos la variación de la densidad del extracto vegetal en cada uno de los tratamientos; Nissen et al. (2020), en su trabajo de fermentación de bebidas por probióticos con diversos

microorganismos mostraron descensos de pH de  $7.18 \pm 0.01$  a  $pH 4.74 \pm 0.10$  en un tiempo de seis horas; en contraste, con lo observado en nuestro estudio (Tabla 4) se ve un descenso más lento. Con respecto a la acidez Chavan et al. (2018), reportaron un incremento de esta con respecto al tiempo tal y como ocurre en nuestros tratamientos.

### Modelos de bondad de Ajuste

La Tabla 5 muestra los criterios estadísticos del modelo de Gompertz para cada tratamiento; en ella se puede apreciar que  $A_1$  muestra un mejor ajuste en comparación a los demás tratamientos; asimismo, en la Tabla 6 se muestran los criterios estadísticos de regresión lineal para los parámetros físicos monitoreados en ella.

Tabla 5. Criterios estadísticos para Gompertz correspondiente a cada tratamiento

Criterios	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
Suma de Cuadrados del error	0.007	0.022	0.013	0.020
Coefficiente de determinación (R <sup>2</sup> )	0.767	0.476	0.549	0.463
Cuadrado medio del error	0.001	0.003	0.002	0.003
Desviación estándar	0.035	0.061	0.046	0.059

**Tabla 6.** Criterios estadísticos para las propiedades físicas y fisicoquímicas

Criterios	Brix	Densidad	pH	% de Acidez
	<b>A<sub>1</sub></b>			
Suma de Cuadrados del error	0.387	7.4 x 10 <sup>-7</sup>	0.226	0.954
R <sup>2</sup> Coeficiente de determinación	0.904	0.759	0.748	0.896
Cuadrado medio del error	0.055	1.07 x 10 <sup>-7</sup>	0.032	0.136
Desviación estándar	0.010	3.2 x 10 <sup>-5</sup>	0.179	0.369
<b>A<sub>2</sub></b>				
Suma de Cuadrados del error	0.495	1.43 x 10 <sup>-7</sup>	0.214	2.109
R <sup>2</sup> Coeficiente de determinación	0.883	0.950	0.922	0.843
Cuadrado medio del error	0.070	2.04 x 10 <sup>-8</sup>	0.030	0.301
Desviación estándar	0.265	1.4 x 10 <sup>-5</sup>	0.175	0.549
<b>A<sub>3</sub></b>				
Suma de Cuadrados del error	0.361	3.7 x 10 <sup>-7</sup>	0.352	0.786
R <sup>2</sup> Coeficiente de determinación	0.817	0.971	0.874	0.905
Cuadrado medio del error	0.051	5.39 x 10 <sup>-8</sup>	0.050	0.112
Desviación estándar	0.227	2.3 x 10 <sup>-5</sup>	0.224	0.335
<b>A<sub>4</sub></b>				
Suma de Cuadrados del error	0.469	1.2 x 10 <sup>-7</sup>	0.369	2.182
R <sup>2</sup> Coeficiente de determinación	0.838	0.966	0.874	0.847
Cuadrado medio del error	0.067	1.7 x 10 <sup>-8</sup>	0.052	0.311
Desviación estándar	0.258	1.3 x 10 <sup>-5</sup>	0.229	0.558

Para Torres et al. (2012), los criterios estadísticos son importantes ya que mediante estos podemos observar el mejor ajuste ya sea desde modelos de regresión lineal, modelos de primer orden, entre otros; asimismo, según Rodríguez & Chambi (2019) los criterios estadísticos pueden mostrar el ajuste correcto para las curvas de crecimiento microbiano.

## Conclusiones

La bebida probiótica no láctea se desarrolló utilizando extracto vegetal de tarwi y *Saccharomyces boulardii*. Mediante el estudio se obtuvieron las curvas de crecimiento de cada uno de los tratamientos, de los cuales el tratamiento A<sub>1</sub> con una concentración de sacarosa al 6% e inóculo a 2%, presentó valores óptimos tanto para los parámetros cinéticos como para los modelos de ajuste, mediante los cuales se puede predecir, optimizar y determinar las condiciones óptimas para el crecimiento de biomasa, y aprovechar cada una de sus diferentes aplicaciones.

Los parámetros físicos y fisicoquímicos presentaron comportamientos según la cantidad de sustrato, de modo que se pudo ver el comportamiento de estas en relación a la acción de *Saccharomyces boulardii*; en algunos casos con su disminución como los Brix, densidad y pH y en otros casos en su incremento como la acidez, mostrando así la dinámica de producción de metabolitos propios de una reacción bioquímica.

## Referencias

Belda, C.; Pina, M.; Espinosa, J.; et al. 2014. Use of the modified Gompertz equation to assess the Stevia

rebaudiana Berton antilisterial kinetics. Food Microbiology 38: 56–61.

Carvalho, J.; Celiberto, L.; Orlando, A.; et al. 2018. A soy-based probiotic drink modulates the microbiota and reduces body weight gain in diet-induced obese mice. Journal of Functional Foods 48: 302–313.

Castro, G.; Valbuena, E.; Sánchez, E.; et al. 2008. Comparación de modelos sigmoidales aplicados al crecimiento de *Lactococcus lactis* subsp. *Lactis*. Revista Científica 18(5): 582-588.

Cayré, M.; Vignolo, G.; Garro, A. 2007. Selección de un modelo primario para describir la curva de crecimiento de bacterias lácticas y *brochothrix thermosphacta* sobre emulsiones cárnicas cocidas. Información Tecnológica 18(3): 23–29.

Chavan, M.; Gat, Y.; Harmalkar, M.; et al. 2018. Development of non-dairy fermented probiotic drink based on germinated and ungerminated cereals and legume. LWT - Food Science and Technology 91: 339–344.

Chirinos, M. 2015. Tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) una planta con potencial nutritivo y medicinal. Revista Bio Ciencias 3(3): 163–172.

Fazilah, N.; Ariff, A.; Khayat, M.; et al. 2018. Influence of probiotics, prebiotics, synbiotics and bioactive phytochemicals on the formulation of functional yogurt. Journal of Functional Foods 48: 387–399.

- Gonzalez, J. (2012). Elaboración y evaluación nutricional de una bebida proteica a base de lactosuero y chocho (*Lupinus mutabilis*) como suplemento alimenticio. Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Rio Bamba. Ecuador. 113 pp.
- Guel, P.; Hernández, J.; Rodríguez, G. 2018. Use of bacteria obtained from whey and its potential use as probiotics in the food industry. A short review. *Revista Boliviana de Química* 35(1): 40–45.
- Jover, J.; Cuevas, M.; Quintana, C. 2012. Evaluación industrial de levaduras del género *Saccharomyces* en la destilería George Washington. *Revista de Tecnología Química* 32: 42–52.
- Marin, M.; Madruga, N.; Rodrigues, R.; *et al.* 2014. Caracterização físico-química e sensorial de bebida probiótica de soja. *Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos* 32(1): 93–104.
- Montgomery, D.; Peck, E.; Vining, G. 2012. Introduction to Linear Regression Analysis. Volumen 821. Editorial John Wiley & Sons, Estados Unidos. 661pp.
- Moreno, L.; Cervera, P.; Ortega, R.; *et al.* 2013. Evidencia científica sobre el papel del yogur y otras leches fermentadas en la alimentación saludable de la población española. *Nutricion Hospitalaria*, 28(6), 2039–2089.
- Muñoz, E.; Luna, D.; Fornasini, M.; *et al.* 2018. Gamma-conglutin peptides from Andean lupin legume (*Lupinus mutabilis* Sweet) enhanced glucose uptake and reduced gluconeogenesis in vitro. *Journal of Functional Foods* 45: 339–347.
- Nissen, L.; Di Carlo, E.; Gianotti, A. 2020. Prebiotic potential of hemp blended drinks fermented by probiotics. *Food Research International* 131: 109029
- Ortiz, Á.; Reuto, J.; Fajardo, E.; *et al.* 2008. Evaluación de la capacidad probiótica “in vitro” de una cepa nativa de *Saccharomyces cerevisiae*. *Universitas Scientiarum* 13(2): 138–148.
- Oviedo, J.; Casas, A.; Valencia, J.; *et al.* 2014. Análisis de la medición de la biomasa en fermentación en estado sólido empleando el modelo logístico y redes neuronales. *Información Tecnológica* 25(4): 141–152.
- Rodríguez, M.; Chambi, A. 2019. Determinación de la curva de crecimiento microbiano *Saccharomyces Boulardii* en Tunta variedades Chaska y Negra. *Fides et Ratio*, 18, 201–213.
- Silva, A.; Longhi, D.; Dalcanton, F.; *et al.* 2018. Modelling the growth of lactic acid bacteria at different temperatures. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 61: 1–11.
- Swieca, M.; Kordowska, M.; Pytka, M.; *et al.* 2019. Nutritional and pro-health quality of lentil and adzuki bean sprouts enriched with probiotic yeast. *LWT - Food Science and Technology* 100: 220–226.
- Torres, V.; Barbosa, I.; Meyer, R.; *et al.* 2012. Criterios de bondad de ajuste en la selección de modelos no lineales en la descripción de comportamientos biológicos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 46(4): 345–350.
- Trigueros, D.; Fiorese, M.; Kroumov, A.; *et al.* 2016. Medium optimization and kinetics modeling for the fermentation of hydrolyzed cheese whey permeate as a substrate for *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*. *Biochemical Engineering Journal* 110: 71–83.
- Uscanga, L.; Orozco, I.; Vázquez, R.; *et al.* 2019. Technical position on milk and its derivatives in adult health and disease from the Asociación Mexicana de Gastroenterología and the Asociación Mexicana de Gerontología y Geriatria. *Revista de Gastroenterologia de Mexico* 84(3): 357–371.
- Valbuena, E., Barreiro, J., Sánchez, E., Castro, G., Kutchinskaya, V., & Briñez, W. 2008. Predicción de crecimiento de *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* en leche descremada estéril en función a la temperatura. *Revista Científica* 18(6): 745-758.
- Valdovinos, L.; Abreu, A.; Valdovinos, M. 2019. Uso de probióticos en la práctica clínica: resultados de una encuesta nacional a gastroenterólogos y nutriólogos. *Revista de Gastroenterologia de Mexico* 84(3): 303–309.
- Vega, R.; Martínez, H.; Montañez, J.; Rodiles, J. 2016. Viabilidad de *Saccharomyces boullardii* en queso fresco bajo condiciones de acidez “in vitro.” *Nova Scientia*, 7(15), 68.
- Wirunpan, M.; Savedboworn, W.; Wanchaitanawong, P. 2016. Survival and shelf life of *Lactobacillus lactis* 1464 in shrimp feed pellet after fluidized bed drying. *Agriculture and Natural Resources*, 50(1), 1–7.