

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA**

**DESARROLLO DE UNA BEBIDA TIPO YOGUR A PARTIR DE ARROZ  
INTEGRAL GERMINADO Y LECHE DE COCO**

**POR:**

**JUAN JOSÉ TEJEDA SILVA**

**TESIS**



**CATACAMAS**

**OLANCHO**

**NOVIEMBRE, 2025**

**“DESARROLLO DE UNA BEBIDA TIPO YOGUR A PARTIR DE ARROZ  
INTEGRAL GERMINADO Y LECHE DE COCO”**

**POR:  
JUAN JOSÉ TEJEDA SILVA**

**MARIO JOSUE GONZALES SANTOS Ph.D.  
ASESOR PRINCIPAL**

**TESIS**

**PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO  
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA ALIMENTARIA**

**CATACAMAS**

**OLANCHO**

**NOVIEMBRE, 2025**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por ser mi guía en cada paso, por darme fuerzas cuando quise rendirme y luz cuando el camino se veía incierto. Todo lo logrado es primero para Tu gloria.

A mis padres, por su amor incondicional, sus sacrificios silenciosos y su fe constante en mí. Gracias por enseñarme, con el ejemplo, a luchar con honestidad, paciencia y por creer en mí.

A mis amigos, por acompañarme en las largas jornadas, por las palabras de ánimo, la comprensión y las risas que hicieron más ligero este camino. Su compañía fue impulso y descanso a la vez.

A todos ustedes, con gratitud profunda, dedico este trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por la vida, la sabiduría y la fortaleza que me sostuvieron en cada etapa de este trabajo.

A mis asesores, por su guía académica, paciencia y exigencia constructiva. Sus observaciones y orientación metodológica fueron esenciales para dar solidez científica a esta investigación.

Al personal de planta y a los jefes de planta, por abrirme las puertas, facilitar instalaciones, equipos y tiempos, y por compartir su experiencia operativa; su colaboración fue clave para integrar la visión tecnológica y de proceso que enriquece este estudio.

A la Universidad y a la Facultad por el espacio académico y la confianza depositada.

A mis padres y familia, por su apoyo incondicional, que siempre estuvieron pendientes de mi progreso.

A mis amigos Allan, Rony, Shermy por brindarme su ayuda cuando la necesite y también Angie que me acompañó en todos los trabajos como mi compañera de tesis, les agradezco mucho.

A todos, gracias por ser parte de este logro.

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>DEDICATORIA .....</b>                                                               | <b>I</b>  |
| <b>AGRADECIMIENTOS .....</b>                                                           | <b>II</b> |
| <b>I INTRODUCCIÓN.....</b>                                                             | <b>1</b>  |
| <b>II OBJETIVOS.....</b>                                                               | <b>3</b>  |
| 2.1 Objetivos generales.....                                                           | 3         |
| 2.2 Objetivos específicos .....                                                        | 3         |
| <b>III REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>                                                 | <b>4</b>  |
| 3.1 Arroz integral.....                                                                | 4         |
| 3.2 Germinación. ....                                                                  | 5         |
| 3.3 Arroz Geminado. ....                                                               | 5         |
| 3.4 Ácido gamma aminobutírico (GABA). ....                                             | 6         |
| 3.5 Arroz integral germinado y leche de coco como base para productos fermentados..... | 7         |
| 3.6 Leche de coco.....                                                                 | 7         |
| 3.7 Yogures de origen vegetal. ....                                                    | 8         |
| 3.8 Desarrollo de yogures funcionales: antecedentes y tendencias .....                 | 9         |
| 3.9 Alimentos funcionales. ....                                                        | 10        |
| 4 Funciones de las bebidas vegetales y yogures vegetales en la alimentación.....       | 11        |
| <b>IV MATERIALES Y METODOS.....</b>                                                    | <b>13</b> |
| 4.1 Ubicación:.....                                                                    | 13        |
| 4.2 Materiales y equipo .....                                                          | 14        |
| 4.3 Elaboración de las bebidas tipo yogur.....                                         | 15        |

|               |                                                                             |           |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3.1         | Tratamientos basados en el tipo de pretratamiento del arroz integral: ..... | 15        |
| 4.3.2         | Proceso de preparación de los diferentes tratamientos de arroz: .....       | 15        |
| 4.3.3         | Obtención de leche de coco: .....                                           | 16        |
| 4.3.4         | Elaboración de las bebidas tipo yogurt: .....                               | 17        |
| 4.4           | Análisis fisicoquímicos. ....                                               | 17        |
| 4.4.1         | Grados Brix .....                                                           | 17        |
| 4.4.2         | pH .....                                                                    | 18        |
| 4.4.3         | Acidez titulable.....                                                       | 18        |
| 4.4.4         | Viscosidad .....                                                            | 19        |
| 4.4.5         | Color .....                                                                 | 19        |
| 4.4.6         | Análisis de sinéresis: .....                                                | 19        |
| 4.4.7         | Densidad.....                                                               | 19        |
| 4.5           | Diseño experimental: .....                                                  | 20        |
| <b>V.</b>     | <b>RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>                                        | <b>21</b> |
| 5.1           | Sinéresis.....                                                              | 21        |
| 5.2           | Viscosidad .....                                                            | 23        |
| 5.3           | Densidad .....                                                              | 25        |
| 5.4           | pH .....                                                                    | 27        |
| 5.5           | Acidez titulable.....                                                       | 29        |
| 5.6           | Color .....                                                                 | 31        |
| <b>VI</b>     | <b>CONCLUSIONES.....</b>                                                    | <b>40</b> |
| <b>VII</b>    | <b>RECOMENDACIONES.....</b>                                                 | <b>41</b> |
| <b>VIII</b>   | <b>BIBLIOGRAFIA.....</b>                                                    | <b>42</b> |
| <b>ANEXOS</b> | <b>.....</b>                                                                | <b>53</b> |

## INDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> Materias primas y cultivo iniciador empleados en la elaboración del producto.....                                         | 23 |
| <b>Tabla 2.</b> Equipos de laboratorio utilizados y sus principales parámetros de operación.                                              | 23 |
| <b>Tabla 3.</b> Indumentaria requerida y su función en las fases del desarrollo del producto.                                             | 23 |
| <b>Tabla 4.</b> Codificación y descripción de los tratamientos de arroz integral (cbr, sbr, gbr48 y gbr96). ....                          | 24 |
| <b>Tabla 5.</b> Variables evaluadas en el diseño experimental.....                                                                        | 29 |
| <b>tabla 6.</b> Valores promedio de sinéresis (% $\pm$ de) de las bebidas tipo yogur durante el almacenamiento (días 0–5).....            | 30 |
| <b>Tabla 7.</b> Viscosidad (cp $\pm$ de) en bebidas tipo yogur: comparación por tratamiento y tiempo (0–5 días). ....                     | 31 |
| <b>Tabla 8.</b> Densidad media $\pm$ de de las bebidas tipo yogur durante el almacenamiento (días 0–5).....                               | 33 |
| <b>Tabla 9.</b> Evolución del ph (media $\pm$ de) en bebidas tipo yogur a lo largo de 0–5 días de refrigeración. ....                     | 34 |
| <b>Tabla 10.</b> Acidez titulable (% ácido láctico $\pm$ de) por tratamiento y día (0–5).....                                             | 35 |
| <b>Tabla 11.</b> Valores promedio de color en el eje $l^*$ $\pm$ desviación estándar de las bebidas tipo yogur durante los días 0-5. .... | 37 |
| <b>Tabla 12.</b> Valores promedio de color en el eje $a^*$ $\pm$ desviación estándar de las bebidas tipo yogur durante los días 0-5. .... | 38 |
| <b>Tabla 13.</b> Valores promedio de color en el eje $b^*$ $\pm$ desviación estándar de las bebidas tipo yogur durante los días 0-5.....  | 39 |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica de la planta de procesamiento de granos y cereales....                                                                                                                                | 21 |
| <b>Figura 2.</b> Comparación de valores medios de las variaciones de color ( $\Delta e$ , $c^*$ , $h^*$ ) en los<br>tratamientos t1, t2, t3, t4 de la bebida tipo yogur de arroz integral germinado y leche<br>de coco..... | 45 |
| <b>Figura 3.</b> Proceso de germinación y deshidratado de los tratamientos.....                                                                                                                                             | 61 |
| <b>Figura 4.</b> Molienda y empaquetado.....                                                                                                                                                                                | 62 |
| <b>Figura 5.</b> Obtención de la leche de coco. ....                                                                                                                                                                        | 62 |
| <b>Figura 6.</b> Elaboración del yogur.....                                                                                                                                                                                 | 63 |



TEJEDA SILVA, J, 2025 DESARROLLO DE UNA BEBIDA TIPO YOGUR A PARTIR DE ARROZ INTEGRAL GERMINADO Y LECHE DE COCO. Tesis Ing. En Tecnología Alimentaria, Catacamas, Olancho, Honduras. Universidad Nacional de Agricultura.

## RESUMEN

Este estudio desarrolló un yogur no lácteo fermentado a partir de leche de coco y harina de arroz integral sometido a diferentes procesamientos: control (CBR), remojado 24h (SBR), germinado 48h (GBR48) y 96h (GBR96). Tras la fermentación, se evaluaron sus propiedades fisicoquímicas, reológicas y color durante 5 días de almacenamiento refrigerado. Los resultados mostraron que la germinación optimizó las características reológicas. GBR48 alcanzó la mayor viscosidad (1011.5 cP al día 5) y presentó la menor sinéresis (65%), con una densidad estable (1.12 g/mL). En cambio, la acidez titulable más baja se registró en GBR96 (1.83%), mientras que el pH fue menor en GBR48 (4.17), ambos estables en el tiempo. Respecto al color, los tratamientos CBR, SBR y GBR48 mantuvieron una luminosidad clara y estable. GBR96 fue consistentemente más oscuro. La diferencia total de color ( $\Delta E$ ) frente al control fue mínima para SBR, intermedia para GBR48 y muy marcada para GBR96, siendo este visualmente el más distinto. En conclusión, la bebida demostró ser viable. La germinación de 48 horas (GBR48) produjo el perfil más equilibrado, con alta viscosidad, baja sinéresis, acidez y pH adecuados, y un color claro aceptable, siendo la opción óptima para este yogur alternativo.

**Palabras clave:** Estabilidad, Fermentación, Propiedades Reológicas, Propiedades fisicoquímicas, Yogur vegetal.

## I INTRODUCCIÓN

En Honduras, el consumo de alimentos funcionales como yogures probióticos presentan un crecimiento notable en los principales centros urbanos (FAO et al. 2022). En los últimos años, el consumo de alimentos funcionales y saludables ha experimentado un crecimiento significativo, impulsado por la creciente conciencia sobre la relación entre la dieta y la salud (Yang et al. 2025). Dentro de este contexto, los productos fermentados, como el yogurt, han ganado popularidad debido a sus beneficios probióticos y su contribución a la salud digestiva e inmunológica. Sin embargo, el aumento de la demanda de alternativas no lácteas, motivado por factores como la intolerancia a la lactosa, el veganismo y la búsqueda de opciones más sostenibles, ha llevado a la innovación en el desarrollo de yogures a base de ingredientes vegetales (Mäkinen et al. 2016).

Entre las bases vegetales más utilizadas para la elaboración de yogures no lácteos se encuentran la soya, la almendra, la avena y el coco (Jeske 2018). La leche de coco, en particular, ha destacado por su perfil nutricional rico en ácidos grasos de cadena media (AGCM), que han sido asociados con beneficios metabólicos y cardiovasculares (DebMandal y Mandal 2011). Por otro lado, el arroz integral germinado ha emergido como un ingrediente funcional prometedor, ya que el proceso de germinación incrementa su contenido de compuestos bioactivos, como antioxidantes, vitaminas y minerales, mejorando su valor nutricional y digestibilidad (Cornejo et al. 2015).

La combinación de estos dos ingredientes: arroz integral germinado y leche de coco ofrece un potencial único para el desarrollo de un yogurt no lácteo con propiedades nutricionales y funcionales mejoradas. Sin embargo, a pesar de los avances en la investigación sobre alimentos fermentados no lácteos, existen vacíos en la literatura respecto a la optimización del proceso de fermentación, la estabilidad del producto y la aceptación sensorial de yogures elaborados a partir de esta combinación específica (Wang et al. 2020). Se debe de tener un mayor entendimiento de cómo los compuestos bioactivos

presentes en el arroz germinado y la leche de coco interactúan durante la fermentación para potenciar los beneficios para la salud. En este sentido, el presente estudio busca contribuir al campo de los alimentos funcionales no lácteos mediante el desarrollo de un producto tipo yogurt a partir de arroz integral germinado y leche de coco.

## **II OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos generales**

- Desarrollar y formular una bebida fermentada tipo yogur a base de harina de arroz integral germinado y leche de coco, y caracterizar integralmente su desempeño fisicoquímico, reológico y color durante el almacenamiento refrigerado (0–5 días)

### **2.2 Objetivos específicos**

- Cuantificar y comparar el efecto de los tratamientos del arroz (control, remojo 24 h, germinación 48 h y 96 h) sobre los indicadores fisicoquímicos de la bebida (pH, acidez titulable y °Brix) durante el almacenamiento refrigerado (días 0–5)
- Evaluar las propiedades reológicas de las bebidas obtenidas a partir de cada tratamiento de arroz mediante la determinación de viscosidad, densidad y sinéresis, identificando su comportamiento en los días 0–5 de almacenamiento en refrigeración.
- Determinar los cambios en  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $h^\circ$  y  $\Delta E$  mediante el método CIELAB durante los días 0–5.

### III REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 Arroz integral.

El arroz integral conserva salvado y germen, por lo que aporta más fibra dietaria, minerales y compuestos bioactivos (p. ej., ácidos fenólicos y  $\gamma$ -oryzanol) que el arroz pulido; estos componentes se han vinculado con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias y con beneficios metabólicos potenciales en la prevención de enfermedades crónicas (Wu 2023). En particular, el  $\gamma$ -oryzanol, abundante en la fracción de salvado, se asocia con modulación de lípidos, actividad antioxidante y acciones antiinflamatorias, lo que respalda el interés en el arroz integral como alimento funcional (Juricic et al. 2025).

La distribución y retención de estos bioactivos dependen del procesamiento y del fraccionamiento del grano (molienda, estabilización, cocción), lo que explica parte de la variabilidad observada entre estudios y productos (Wu 2023). Estructuralmente, el arroz integral salvado, germen y endospermo es fuente de proteínas, lípidos, fibra bruta, vitaminas, compuestos fenólicos y  $\gamma$ -aminobutirato, además de microelementos y fitoesteroles, que sustentan su aptitud nutricional (Lele 2025).

En comparación con el arroz blanco, la mayoría de los nutrientes del arroz integral se concentra en el salvado (epidermis y aleurona) y en el germen incluidos lípidos, proteínas, fibra dietética, compuestos fenólicos, microelementos y esteroides, de ahí su mayor densidad nutricional (Yang et al. 2025). No obstante, pese a estas ventajas nutricionales, su aceptación puede verse limitada por atributos sensoriales y tecnológicos (p. ej., calidad de cocción, sabor y dureza percibida), factores que históricamente han frenado su preferencia frente al arroz blanco (Monks et al. 2013).

### **3.2 Germinación.**

Por definición, la germinación de una semilla comienza con la absorción de agua y se completa con la aparición del embrión, en la mayoría de las especies radícula primero, a través de la estructura circundante. A partir de entonces, se completa la germinación y se considera que la semilla ha germinado a veces denominada "germinación visible", en lugar de germinar, y el crecimiento de las plántulas ya está en marcha (Nonogaki et al. 2010). La germinación se refiere comúnmente al proceso hasta que el grano de arroz presenta una radícula de 2 a 5 mm, y la pre germinación es la etapa con una radícula expandida expuesta aproximadamente de 0,5 a 1 mm (Kwak et al. 2013).

### **3.3 Arroz Geminado.**

El arroz integral germinado (GBR) ha ganado popularidad debido a que numerosos estudios han demostrado que la germinación mejora la textura y la aceptabilidad y también mejora los nutrientes y fitoquímicos (Cáceres et al. 2017). El GBR es abundante en numerosos compuestos activos y se considera que tiene un potencial significativo para combatir enfermedades crónicas como la diabetes, la obesidad y la hiperlipidemia (Chinma 2023)

Para obtener arroz germinado, es necesario someter los granos a un remojo prolongado en agua hasta que se active el proceso de germinación (Guo et al. 2025). Durante esta fase, ocurren cambios bioquímicos significativos: enzimas como el glutamato descarboxilasa y otras hidrolíticas (por ejemplo, amilasas y proteasas) se activan, generando un aumento en la concentración de azúcares reductores, péptidos y aminoácidos libres, especialmente el GABA (ácido gamma-aminobutírico).

Estas transformaciones no solo mejoran el perfil nutricional del arroz, sino que también influyen en sus características sensoriales, sin embargo, la germinación excesiva no es deseable, ya que puede provocar el crecimiento microbiano o la formación de sabores desagradables (Bourneow y Toontam 2019).

### **3.4 Ácido gamma aminobutírico (GABA).**

En los últimos años, los granos de arroz enriquecidos con ácido gamma-aminobutírico (GABA) han cobrado relevancia en el mercado de alimentos saludables debido a sus propiedades nutricionales y sus efectos positivos en el sistema nervioso y cerebral (Thomas et al. 2023). Este aminoácido no proteico, clasificado como un potente compuesto bioactivo, desempeña un papel clave como neurotransmisor inhibitorio, contribuyendo a la relajación, mejorando la calidad del sueño y reduciendo la presión arterial, el estrés, la ansiedad y la depresión. Además, se ha demostrado que el GABA fortalece el sistema inmunológico en situaciones de estrés y actúa como un diurético natural en el cerebro humano (Ding et al. 2018).

Más allá de sus efectos neurológicos, el GABA también tiene implicaciones significativas en la salud metabólica. Estudios recientes indican que puede ayudar a prevenir la diabetes, regular los niveles de colesterol en sangre e incluso inhibir la proliferación de células cancerosas, como las del cáncer de colon y la leucemia (Ngo y Vo, 2019). Estas propiedades han llevado a que sea reconocido como un nutriente esencial para una dieta equilibrada y saludable.

La biosíntesis de GABA en alimentos como el arroz germinado depende de varios factores, entre ellos la variedad del grano, las condiciones de remojo y el tiempo de germinación (Thomas et al. 2023). Una de las estrategias más efectivas para incrementar su concentración es la germinación controlada, ya que activa enzimas como la glutamato descarboxilasa, responsable de su producción. Además, las bacterias del ácido láctico (BAL) desempeñan un papel crucial en la fermentación de alimentos enriquecidos con GABA, ofreciendo una alternativa natural, segura y sostenible (Diana et al. 2014).

Dada su versatilidad y beneficios, el GABA ha sido clasificado por la FDA como una sustancia generalmente reconocida como segura (GRAS), lo que refuerza su potencial en el desarrollo de alimentos funcionales. Su capacidad para aliviar el estrés, prevenir

enfermedades metabólicas y actuar como agente anticancerígeno lo convierte en un componente prometedor para la nutrición moderna (Caiwen 2023).

### **3.5 Arroz integral germinado y leche de coco como base para productos fermentados**

La combinación de arroz integral germinado y leche de coco es tecnológicamente prometedora para un producto fermentado tipo yogur porque integra una fase cereal más utilizable y bioactiva con una fase lipídica estable y sensorialmente cremosa. Al germinar, el arroz incrementa de forma significativa el GABA, libera aminoácidos y azúcares y disminuye fitatos, lo que mejora la biodisponibilidad mineral y facilita la acidificación láctica (Fukushima et al. 2021).

Estos cambios respaldan bebidas fermentadas funcionales con mayor actividad antioxidante y buena aceptación (Jabeen et al. 2024). Por su parte, la leche de coco aporta triglicéridos de cadena media (predominio láurico) y una fracción grasa que contribuye a cuerpo/cremosidad y a la estabilidad coloidal en rangos intermedios de grasa, sin penalizar la digestibilidad, condiciones favorables para matrices vegetales fermentadas (Chen et al. 2024).

Durante la fermentación, las bacterias lácticas pueden sintetizar exopolisacáridos (EPS) que elevan la viscosidad y reducen la sinéresis sin depender de altos niveles de estabilizantes un efecto especialmente útil cuando la fase acuosa proviene de granos (Erem et al., 2024). En conjunto, el arroz germinado aporta sustratos fermentables y bioactivos (GABA/fenólicos) y reduce antinutrientes, mientras la leche de coco ofrece una fase grasa funcional que ayuda a textura y estabilidad; la sinergia de ambas matrices potencia la acidificación, mejora la estructura del gel y añade valor nutricional en un formato no lácteo tipo yogur compatible con preferencias actuales.

### **3.6 Leche de coco.**



En los últimos años, ha habido un creciente interés en las alternativas a la leche de origen vegetal. Las propiedades nutricionales de estos productos dependen de la fuente de la planta, el procesamiento y la fortificación (Mäkinen et al. 2015). Las leches vegetales no son sustitutos de los productos lácteos porque difieren en el contenido de proteínas y otros nutrientes; sin embargo, pueden ofrecer alternativas o complementos a los consumidores, ya que contienen componentes funcionalmente activos con propiedades beneficiosas para la salud (Sethi et al. 2016).

La leche de coco es rica en vitaminas y minerales como hierro, calcio, potasio, magnesio y zinc. También contiene una cantidad significativa de vitamina C y E (Chee 1997). El uso de la leche de coco se asocia con beneficios para la salud como anticancerígenos, antimicrobianos, antibacterianos y antivirales. Contiene una grasa saturada, el ácido láurico, que está presente en la leche materna y se ha relacionado con el desarrollo del cerebro (Belewu 2007). La leche de coco se puede consumir como bebida cuando la pulpa de coco madura (*Cocos nucifera* L.) se ralla con agua, lo que da como resultado una suspensión vegetal (Mauro y Garcia 2019).

### **3.7 Yogures de origen vegetal.**

Los yogures de origen vegetal han crecido como alternativa no láctea porque atienden necesidades dietarias y de estilo de vida (intolerancia a la lactosa, alergia a proteínas lácteas, elección vegana/flexitariana) y porque hoy pueden ofrecer propiedades fisicoquímicas y sensoriales competitivas cuando se optimiza la formulación (base vegetal, sólidos, fase grasa, estabilización) (Dhakal et al. 2023).

Los parámetros sensoriales de aceptación siguen siendo el cuerpo/viscosidad, el sabor/aroma y la apariencia, y la evidencia reciente subraya que mejorar microestructura y textura es más determinante que apelar sólo a mensajes saludables o sostenibles para elevar la preferencia del consumidor (Cardello 2024). Dentro de estas bases, los yogures de coco destacan por una fracción lipídica rica en triglicéridos de cadena media (MCT) con ácido láurico predominante que favorece una matriz cremosa y estable; además, los

MCT presentan cinética de absorción/oxidación distinta a los lípidos de cadena larga, lo que explica su uso en formulaciones funcionales (Jadhav y Annapure 2023).

En términos de desarrollo de producto, los estudios en bebidas tipo yogur a base de leche de coco muestran buen desempeño reológico y estabilidad bajo refrigeración, validando al coco como plataforma apta para matrices fermentadas vegetales con perfil sensorial atractivo (cremosidad y dulzor suave propios del coco) (Vittheejongjaroen 2024). La literatura reciente compara atributos físicos y composición de yogures vegetales vs. lácteos y señala que, si bien el pH/acidez puede ser similar, la reología y el color dependen fuertemente de la microestructura y del diseño de la fase continua/particulada, guiando la innovación hacia matrices y procesos que incrementen cuerpo y uniformidad (Marlapati et al. 2024)

Finalmente, el vector de sostenibilidad acompaña la adopción: síntesis de evaluaciones de ciclo de vida indican que, en promedio, las alternativas vegetales exhiben menor huella ambiental (p. ej., emisiones y uso de agua) que la leche de vaca, si bien los impactos varían por ingredientes, origen y procesamiento; este contexto refuerza el interés por yogures vegetales cuando confluyen calidad sensorial, adecuación nutricional y bajo impacto en yogures de origen vegetal (Ramsing et al. 2023).

### **3.8 Desarrollo de yogures funcionales: antecedentes y tendencias**

Los yogures funcionales se conciben como matrices fermentadas diseñadas para aportar beneficios adicionales (p. ej., soporte probiótico, bioactivos estables) sin sacrificar calidad tecnológica y sensorial; en esta línea, la formulación moderna integra ingredientes funcionales, junto con estrategias de vehiculización/encapsulación que preservan actividad y controlan liberación durante almacenamiento y digestión. Esta perspectiva de “sistema integrado” es el eje de la innovación reciente en yogur (Ahmad 2022).

Al contrastar alternativas vegetales con el yogur lácteo, la literatura señala brechas nutricionales recurrentes (sobre todo proteína y calcio en productos no fortificados) y variabilidad en azúcares totales, lo que obliga a plantear fortificación inteligente (calcio/vitamina D) y ajustes de matriz para sostener la propuesta funcional sin penalizar textura ni estabilidad (D'Andrea et al. 2023).

La calidad reológica (cuerpo, firmeza de gel, sinéresis) depende de la microestructura y del diseño de la fase continua/particulada, de modo que hidrocoloides y exopolisacáridos (EPS) se utilizan como palancas para aumentar viscosidad y retención de agua en matrices lácteas y no lácteas; las revisiones coinciden en que estas variables gobiernan la sensación en boca y la estabilidad bajo frío (Le Ba et al. 2025).

En validaciones específicas, se ha demostrado que ajustes de formulación bien dosificados reducen sinéresis y mejoran consistencia en análogos a base de coco, evidenciando que la selección y nivel de texturizantes importa tanto como la fermentación para obtener una fase continua robusta y aceptable sensorialmente (Pachekrepapol et al. 2021). Complementariamente, cepas productoras de EPS en sistemas con leche de coco han mostrado ganancias reológicas y mejor viabilidad probiótica durante el almacenamiento, subrayando el valor de trabajar formulación y microbiología de forma coordinada (Adebayo-Tayo et al. 2024).

### **3.9 Alimentos funcionales.**

Los alimentos funcionales son aquellos que contienen componentes biológicamente activos que ejercen efectos beneficiosos y nutricionales básicos en una o varias funciones del organismo y que se traducen en una mejora de la salud o en una disminución del riesgo de sufrir enfermedades. El término alimento funcional fue propuesto por primera vez en Japón en la década de los 80's con la publicación de la reglamentación para los alimentos de uso específico de salud y que se refiere a aquellos alimentos procesados los cuales contienen ingredientes que desempeñan una función específica en las funciones fisiológicas del organismo humano, más allá de su contenido nutricional (Roberfroid 2002).

El mercado de los alimentos funcionales se está expandiendo, lo que ilustra una mejor comprensión de la toma de decisiones de los consumidores de estos alimentos para guiar la política alimentaria y las decisiones financieras. Los alimentos funcionales están evolucionando como una estrategia potencial en la prevención de enfermedades crónicas ya que se supone que tiene efectos beneficiosos fisiológicos, estos alimentos tienen bioactivos específicos agregados por sus beneficios para la salud, contienen una cantidad mayor de nutrientes promocionando comodidad a los consumidores (Fuentes-Berrío et al. 2015).

#### **4 Funciones de las bebidas vegetales y yogures vegetales en la alimentación.**

Los yogures de origen vegetal cumplen funciones claras en la alimentación moderna: amplían la inclusión dietaria (intolerancia a lactosa, alergias, elección vegana) y sirven como vehículos para fibra, lípidos específicos y micronutrientes cuando se formulan y fortifican adecuadamente; a nivel poblacional, su valor depende de qué matriz vegetal se use y cómo se diseñe la receta (proteína, calcio, estabilizantes, fortificación). La evidencia comparativa muestra que, frente al yogur lácteo, los yogures vegetales comerciales suelen tener menos proteína/calcio/potasio, pero más fibra y menos sodio/azúcares en promedio, lo que justifica fortificación (p. ej., calcio, vitamina D) y ajustes de formulación para cerrar brechas nutricionales sin sacrificar aceptación sensorial (D'Andrea et al. 2023)

Desde la funcionalidad, su aporte va más allá de “sustituir”: permiten modular textura y estabilidad (viscosidad, sinéresis) mediante el uso de proteínas vegetales, hidrocoloides y exopolisacáridos de fermentación, factores que gobiernan la sensación en boca y la uniformidad del gel en matrices no lácteas; en paralelo, la fortificación con vitamina D3 ha mostrado eficacia en mejorar el estatus de 25(OH)D con buen desempeño fisicoquímico y sensorial si se cuida la protección a la luz/oxidación (p. ej., envases opacos) y, cuando procede, encapsulación.(Giacone 2024)

En términos de aceptación del consumidor, los determinantes más influyentes siguen siendo textura/cremosidad, consistencia y dulzor; la literatura reciente confirma que la microestructura (diseño de fase continua/particulada) explica por qué productos con pH/acidez similar difieren en reología y color, orientando la innovación hacia matrices y procesos que mejoren cuerpo y uniformidad (Jaeger 2023).

Finalmente, existe una función ambiental relevante: los análisis de ciclo de vida muestran que ciertas alternativas de “yogur” vegetal (p. ej., a base de leguminosas o semillas) pueden exhibir impactos significativamente menores que el yogur lácteo en múltiples categorías cuando se controlan ingredientes frescos y abastecimiento, lo que añade una justificación sostenible a su integración en patrones dietarios, siempre que el perfil nutricional sea técnicamente optimizado (Suckling et al. 2025).

## IV MATERIALES Y METODOS

### 4.1 Ubicación:

El desarrollo del proceso de las 4 bebidas, formulaciones y distintos análisis se llevaron a cabo en la planta de procesamiento de granos y cereales de Universidad Nacional de Agricultura, ubicada en el Municipio de Catacamas, departamento de Olancho.



**Figura 1.** Ubicación geográfica de la planta de procesamiento de granos y cereales

## 4.2 Materiales y equipo

**Tabla 1.** Materias primas y cultivo iniciador empleados en la elaboración del producto.

| <b>Materia prima</b> | <b>Descripción</b>                        | <b>Unidad</b> |
|----------------------|-------------------------------------------|---------------|
| Arroz integral       | Arroz integral de grano entero            | Gramos        |
| leche Coco           | Sin colorantes ni preservantes            | Mililitros    |
| Azúcar               | Azúcar blanca refinada, grado alimenticio | Gramos        |
| goma Xantana         | espesante y estabilizante                 | Gramos        |
| Cultivo láctico      | LyoPro y MILD+                            | UFC           |

**Fuente:** creación propia

**Tabla 2.** Equipos de laboratorio utilizados y sus principales parámetros relevantes.

| <b>Equipo</b>     | <b>Marca/modelo</b> | <b>Parámetros relevantes</b> |
|-------------------|---------------------|------------------------------|
| p H metro         | EZ 9908             | Calibración pH 4.00 y 7.00   |
| Refractómetro     | Atago PAL 1         | Rango 0-53°Brix              |
| Viscosímetro      | PCE RVI 2           | Husillo L4                   |
| Colorímetro       | HM CR 400           | Espacio de color Lab         |
| Centrifugadora    | HERMLE Z327K        | Rango 200 a 18,000 RPM       |
| Balanza           | Ohaus SPX123        | Capacidad de 120 ml          |
| Matraz Erlenmeyer | Pyrex 4980          | Capacidad de 50 ml           |
| Bureta            | Biohall clase AS    | Capacidad de 50 ml           |

**Fuente:** creación propia

**Tabla 3.** Indumentaria requerida y su función en las fases del desarrollo del producto.

| Indumentaria | Uso principal                      | Obligatorio |
|--------------|------------------------------------|-------------|
| Redecilla    | Protección de cabello              | si          |
| Gabacha      | Protección de ropa y producto      | si          |
| Guantes      | Manipulación de producto           | si          |
| Mascarilla   | protección del operador y producto | si          |
| Botas        | Seguridad y limpieza               | si          |

**Fuente:** creación propia

### 4.3 Elaboración de las bebidas tipo yogur.

#### 4.3.1 Tratamientos basados en el tipo de pretratamiento del arroz integral:

**Tabla 4.** Codificación y descripción de los tratamientos de arroz integral (CBR, SBR, GBR48 y GBR96).

|       |                                                                           |
|-------|---------------------------------------------------------------------------|
| CBR   | Arroz integral sin tratamiento (control).                                 |
| SBR   | Arroz remojado por 24 horas y secado a 50 °C.                             |
| GBR48 | Arroz remojado por 24 horas, germinado durante 48 horas, y secado a 50 °C |
| GBR96 | Arroz remojado por 24 horas, germinado durante 96 horas, y secado a 50 °C |

#### 4.3.2 Proceso de preparación de los diferentes tratamientos de arroz:

Se trabajó con arroz integral comercial como materia prima. El grano se sometió a remojo en agua potable a temperatura ambiente por 24 h con recambios cada 6 h, lo cual favoreció la activación parcial de enzimas endógenas y la hidrólisis inicial del almidón y de las paredes celulares, facilitando la germinación subsiguiente en los tratamientos designados (Chavan et al. 2018); (Xu et al. 2024).



Los tiempos de 48 y 96 h se seleccionaron considerando reportes previos que indican que el contenido de GABA y compuestos bioactivos alcanzan su máximo entre 48 y 96 h de germinación, para los tratamientos GBR48 y GBR96, después del remojo se efectuó la germinación en oscuridad, a 25–28 °C, por 48 o 96 h según correspondiera, con renovación del agua cada 6 h para minimizar carga microbiana y asegurar oxigenación del sistema (Cáceres et al. 2019).

Concluida la germinación, los granos remojados y germinados se deshidrataron a fin de estabilizar la materia prima. Se empleó un secado a 70 °C por 6 h hasta alcanzar humedad segura para almacenamiento y molienda. Se consideró que temperaturas más bajas (35–45 °C) preservan mejor la integridad del grano, pero prolongan el proceso, mientras que incrementos por encima de 55 °C pueden aumentar el porcentaje de grano quebrado; por ello se controló la carga y el tiempo de secado para evitar daños térmicos (Allameh 2021).

Posteriormente, el arroz tratado se molturó en un molino eléctrico hasta obtener una harina fina y homogénea, que se tamizó con una malla de 0,5 mm para estandarizar granulometría. Las harinas se envasaron al vacío en bolsas de alta barrera y se almacenaron a temperatura ambiente ( $\leq 25$  °C) y en oscuridad hasta su uso. Con base en el riesgo conocido de *Bacillus cereus* en matrices de arroz, se extremaron prácticas de higiene en remojo/germinación y se mantuvieron temperaturas de refrigeración cuando fue necesario (Rodrigo et al. 2021).

#### **4.3.3 Obtención de leche de coco:**

Se trabajó con pulpa de coco madura de la variedad enano amarillo, seleccionada sin daños visibles. Los cocos se abrieron manualmente y la pulpa se separó cuidadosamente de la cáscara y del endocarpio; luego se lavó con agua (Mauro y Garcia 2019).

La pulpa se troceó y trituyó en licuadora industrial con agua potable en proporción 1:3 (pulpa: agua). La mezcla se filtró con tamiz fino ( $\leq 250$   $\mu\text{m}$ ) para remover la fibra y

obtener una leche homogénea. La leche obtenida se envasó en recipientes plásticos de grado alimentario previamente esterilizados y se refrigeró a 4 °C hasta su empleo.

#### **4.3.4 Elaboración de las bebidas tipo yogur:**

La elaboración de las bebidas se realizó utilizando las harinas obtenidas de los tratamientos de arroz previamente descritos. Para cada tratamiento, se pesó la harina de arroz y se mezcló con leche de coco en una proporción 1:4 (harina de arroz: leche de coco). A cada formulación se adicionaron 85 g de sacarosa y 12 g de goma xantana como estabilizante, y se homogenizó hasta lograr una mezcla uniforme (Chavan et al. 2018).

La mezcla resultante se pasteurizó a 75°C durante 15 minutos y, posteriormente, se enfrió hasta 42 °C para proceder con la inoculación. Se inocularon 0.7 g del cultivo *Lactobacillus acidophilus* y la fermentación se mantuvo en baño María a 42–45 °C durante 5 horas (Ruiz Rivera y Ramírez Matheus 2009) Concluida la fermentación, las bebidas se refrigeraron a 4–8 °C y se almacenaron hasta su análisis. Este procedimiento se repitió de manera idéntica para las cuatro bebidas correspondientes a los distintos tratamientos de arroz.

Las muestras obtenidas se evaluaron para determinar su estabilidad fisicoquímica, con el fin de comparar el efecto de los tratamientos aplicados al arroz sobre la calidad del producto final.

#### **4.4 Análisis fisicoquímicos.**

Para la caracterización física y química de cada bebida tipo yogurt, se realizarán los siguientes análisis:

##### **4.4.1 Grados Brix**

Para el análisis de °Brix se verificó y calibró el refractómetro digital con agua destilada a la temperatura de trabajo. luego, para cada muestra se depositaron 2–3 gotas sobre el prisma evitando burbujas, se cerró la tapa y se leyó el valor en la escala digital una vez estabilizada la medición. Posteriormente el prisma se limpió y se secó para prevenir contaminación cruzada, los análisis se realizaron por triplicado, se registraron los resultados y, para el informe, se calculó el promedio de °Brix (AOAC s. f.).

#### **4.4.2 pH**

En medición de pH se verificó y calibró el pH-metro digital con soluciones tampón (pH 4.00 y 7.00) a la temperatura de trabajo; luego, para cada tratamiento se tomaron 10 mL de muestra en un vaso de precipitados a 30–35 °C, se sumergió el electrodo sin tocar el fondo ni las paredes, se esperó a la estabilización de la lectura y se registró el valor; entre mediciones el electrodo se enjuagó con agua destilada y se secó suavemente; el procedimiento se repitió por triplicado en cada tratamiento para asegurar la confiabilidad de los datos.

#### **4.4.3 Acidez titulable**

La realización de este análisis, se llevó acabo pesando 10 g de la bebida y se colocaron en un matraz Erlenmeyer, donde la muestra se diluyó cuando fue necesario para garantizar que el análisis fuera representativo y que la base utilizada no reaccionara con impurezas presentes. A continuación, se adicionó fenolftaleína como indicador ácido–base, la cual permaneció incolora en medio ácido y tomó color rosa pálido en medio básico, señal característica del punto final.

Seguidamente, se agregó lentamente desde una bureta una solución de NaOH de concentración conocida, mientras la muestra se agitó de forma constante. La base se dosificó de manera controlada hasta que el indicador mostró el cambio de color estable (punto final de neutralización). Concluida la titulación, se registró el volumen de base

consumido y se calculó la acidez titulable mediante la ecuación correspondiente, expresándola como porcentaje (%) (Reyes y Ludeña 2015).

#### **4.4.4 Viscosidad**

La viscosidad se midió con un viscosímetro PCE-RVI 2 a temperatura ambiente, empleando el método rotacional con el husillo L4 para determinar la consistencia de las bebidas; previamente, se homogeneizaron 50 g de muestra en un vaso de precipitados, se puso en marcha el equipo a 60 RPM durante 30 segundos y, tras la estabilización de la lectura, se registró el valor; el procedimiento se repitió por triplicado en cada muestra para asegurar la confiabilidad de los datos (Committee 2020).

#### **4.4.5 Color**

Se utilizó un colorímetro portátil para medir los parámetros de color (L, a, b) de las bebidas, donde (L) es luminosidad, (a) matiz rojo o verde; (b) matiz amarillo o azul (Mathias-Rettig y Ah-Hen 2014). Previamente, el equipo se calibró con los patrones provistos por el fabricante. Cada muestra se homogeneizó antes, se sirvieron 50 mL en un vaso de precipitados limpio evitando espuma y burbujas, y se realizaron tres lecturas por muestra: una en cada lado opuesto del vaso y una en la parte inferior, apoyando firmemente el sensor del colorímetro y manteniendo fijo en todas las mediciones.

#### **4.4.6 Análisis de sinéresis:**

La sinéresis se determinó según (Santana 2018), con modificaciones: se pesaron  $20,00 \pm 0,01$  g de muestra en tubos tarados y etiquetados, se equilibraron por masa y posición en la centrífuga y se centrifugó a 7000 rpm durante 15 min (4–8 °C). Finalizado el ciclo, sin decantar, el sobrenadante se retiró con pipeta (evitando perturbar el sedimento) y se pesó en recipiente tarado. El índice de sinéresis (%) se calculó como  $(\text{masa del sobrenadante} / \text{masa total de la muestra}) \times 100$ , y cada determinación se realizó por triplicado, registrando temperatura, rpm y observaciones para trazabilidad (Silva 2021).

#### 4.4.6 Densidad:

La densidad se determinó pesando una cantidad conocida de muestra y registrando el volumen desplazado para aplicar la fórmula: densidad: masa/volumen

#### 4.5 Diseño experimental:

El factor de estudio fue el tipo de tratamiento del arroz; la constante fue la leche de coco (misma fuente, proporción y preparación para todos los tratamientos). Se trabajó con cuatro tratamientos (cuatro niveles/bebidas) definidos por el procesamiento del arroz, bajo un diseño de bloques completamente al azar con un solo factor. Para evaluar diferencias entre tratamientos y, cuando correspondió, la interacción tratamiento \* día, se ajustó un Modelo Lineal General (GLM) en Minitab; para analizar la variación exclusivamente entre días, se aplicó ANOVA de un factor (unidireccional).

En todos los casos se utilizó un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ , se verificaron supuestos y, cuando se encontraron efectos significativos, se ejecutó la prueba LSD de Fisher (Diferencia Mínima Significativa) para la comparación múltiple e identificación de diferencias específicas entre niveles. La tabulación de datos y la construcción de las gráficas se realizaron en Excel, manteniendo la codificación de tratamientos y días utilizada en el análisis estadístico.

**Tabla 5.** Variables evaluadas en el diseño experimental.

|                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Factor evaluado: Tratamiento del arroz integral (4 niveles) y la variación durante los días 0-5 |
| Constante: Leche de coco.                                                                       |

## V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 5.1 Sinéresis

**Tabla 6.** Valores promedio de sinéresis (%  $\pm$  DE) de las bebidas tipo yogur durante el almacenamiento (días 0–5).

| Tratamiento | Día                            |                                |                                |                                |                                 |                                |
|-------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|             | 0                              | 1                              | 2                              | 3                              | 4                               | 5                              |
| T1          | 87.22 $\pm$ 0.91 <sup>aA</sup> | 86.81 $\pm$ 1.39 <sup>aA</sup> | 83.97 $\pm$ 4.28 <sup>aA</sup> | 85.19 $\pm$ 2.97 <sup>aA</sup> | 87.57 $\pm$ 7.17 <sup>aA</sup>  | 82.67 $\pm$ 6.43 <sup>aA</sup> |
| T2          | 87.22 $\pm$ 1.02 <sup>aA</sup> | 86.42 $\pm$ 0.72 <sup>aA</sup> | 85.97 $\pm$ 2.19 <sup>aA</sup> | 89.23 $\pm$ 2.49 <sup>aA</sup> | 83.37 $\pm$ 7.52 <sup>aAB</sup> | 79.53 $\pm$ 1.43 <sup>aB</sup> |
| T3          | 64.7 $\pm$ 2.18 <sup>bA</sup>  | 64.59 $\pm$ 1.61 <sup>bA</sup> | 64.71 $\pm$ 3.97 <sup>bA</sup> | 66.33 $\pm$ 2.05 <sup>bA</sup> | 63.75 $\pm$ 3.01 <sup>bA</sup>  | 65.93 $\pm$ 5.17 <sup>bA</sup> |
| T4          | 89.34 $\pm$ 0.68 <sup>aA</sup> | 89.57 $\pm$ 0.69 <sup>aA</sup> | 86.81 $\pm$ 1.62 <sup>aA</sup> | 87.79 $\pm$ 2.05 <sup>aA</sup> | 87.83 $\pm$ 0.96 <sup>aA</sup>  | 79 $\pm$ 2.65 <sup>aB</sup>    |

Nota. T1: bebida tipo yogur elaborada con arroz integral sin germinar (CBR); T2: arroz integral remojado 24 h (SBR); T3: arroz integral germinado 48 h (GBR48); T4: arroz integral germinado 96 h (GBR96). Medias con letras minúsculas iguales en una misma columna no son significativamente diferentes entre tratamientos; medias con letras mayúsculas iguales en una misma fila no son significativamente diferentes entre días de almacenamiento.

En la Tabla 6 se presentan los valores medios de sinéresis (%) de las bebidas tipo yogur para los distintos tratamientos y días de almacenamiento. Se observan diferencias claras entre tratamientos: el tratamiento con arroz germinado 48 h (T3) mostró siempre los porcentajes más bajos de sinéresis, con valores alrededor de 64–66 %, mientras que el tratamiento con arroz germinado 96 h (T4) presentó los valores más altos, entre 86 y 90 %. Los tratamientos T1 (CBR) y T2 (SBR) se ubicaron en un nivel intermedio, generalmente entre 79 y 89 %. Estas diferencias entre T3 y los demás tratamientos resultaron estadísticamente significativas, lo que indica que la germinación de 48 h reduce de manera importante la separación de las fases líquidas/sólidas.

En cuanto al comportamiento del factor tiempo, los valores de sinéresis se mantuvieron prácticamente constantes en T1 y T3 entre los días 0 y 5, sin cambios estadísticamente significativos. Sólo en T2 y T4 que se observa una ligera disminución hacia el día 5, diferencia que sí fue significativa, aunque el tratamiento T4 continuó siendo el que mostró la mayor sinéresis durante todo el período de almacenamiento. Esto concuerda con que la sinéresis depende de la integridad y densidad de la red (proteína/polisacárido/grasa) y de la capacidad de retención de agua (Arab et al. 2023).

Mecánicamente, la menor sinéresis de T3 puede explicarse por una microestructura más competente para retener agua, en la que la matriz del arroz germinado 48 h habría favorecido interacciones coloidales y ensamble con la fase de coco; en análogos de yogur de coco, la optimización de la fase continua (p. ej., vía biopolímeros/almidón) reduce la sinéresis y aumenta la consistencia del gel, lo que es coherente con el desempeño de T3 (Pachekrepapol et al. 2021).

La literatura muestra que exopolisacáridos (EPS) generados durante la fermentación disminuyen la sinéresis al reforzar la cohesión y la viscosidad de la red (Brüls et al. 2024). La dirección y magnitud de la sinéresis durante el almacenamiento no son universales, es decir que dependen de composición y proceso, hay reportes con aumentos o disminuciones según se compacte o se reacomode la red y según la distribución de agua ligada en el gel (Zahir et al. 2024).

## 5.2 Viscosidad

**Tabla 7.** Viscosidad (cP  $\pm$  DE) en bebidas tipo yogur: comparación por tratamiento y tiempo (0–5 días).

| Tratamiento | Día                               |                                      |                                    |                                    |                                    |                                    |
|-------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|             | 0                                 | 1                                    | 2                                  | 3                                  | 4                                  | 5                                  |
| T1          | 604.7 $\pm$ 48.1 <sup>b D</sup>   | 813.2 $\pm$ 39.03 <sup>b C</sup>     | 849.7 $\pm$ 33.18 <sup>b BC</sup>  | 872.5 $\pm$ 27.46 <sup>b BC</sup>  | 907.6 $\pm$ 33.18 <sup>b B</sup>   | 983.4 $\pm$ 68.15 <sup>b A</sup>   |
| T2          | 649.6 $\pm$ 94.57 <sup>ab D</sup> | 829.33 $\pm$ 0.15.84 <sup>ab C</sup> | 909.3 $\pm$ 22.49 <sup>ab BC</sup> | 878.8 $\pm$ 47.47 <sup>ab BC</sup> | 1002.7 $\pm$ 41.62 <sup>ab A</sup> | 944.1 $\pm$ 46.76 <sup>ab AB</sup> |
| T3          | 679.8 $\pm$ 39.64 <sup>a C</sup>  | 821.6 $\pm$ 26.22 <sup>a B</sup>     | 933.9 $\pm$ 32.02 <sup>a A</sup>   | 984.0 $\pm$ 106.05 <sup>a A</sup>  | 978.6 $\pm$ 54.43 <sup>a A</sup>   | 1011.5 $\pm$ 62.77 <sup>a A</sup>  |
| T4          | 662.97 $\pm$ 13.16 <sup>b D</sup> | 794.2 $\pm$ 45.42 <sup>b C</sup>     | 907.41 $\pm$ 7.67 <sup>b AB</sup>  | 873.9 $\pm$ 37.24 <sup>b BC</sup>  | 979.2 $\pm$ 79.35 <sup>b A</sup>   | 916.2 $\pm$ 47.45 <sup>b AB</sup>  |

Nota. T1: bebida tipo yogur elaborada con arroz integral sin germinar (CBR); T2: arroz integral remojado 24 h (SBR); T3: arroz integral germinado 48 h (GBR48); T4: arroz integral germinado 96 h (GBR96). Medias con letras minúsculas iguales en una misma columna no son significativamente diferentes entre tratamientos; medias con letras mayúsculas iguales en una misma fila no son significativamente diferentes entre días de almacenamiento.



En la Tabla 7 se muestran los valores de viscosidad de las bebidas tipo yogur. Se ve claramente que el tratamiento de arroz germinado 48 h (T3) es el más espeso en casi todo el periodo, inicia alrededor de  $679.8 \pm 39.64$  cP y llega hasta  $1011.5 \pm 62.77$  cP en el día 5. En el caso del tratamiento control (T1) suele presentar las viscosidades más bajas, especialmente al inicio  $604.7 \pm 48.1$  cP en el día 0, mientras que T2 y T4 se mantienen en un rango intermedio (649–1002 cP). Las comparaciones estadísticas muestran que T3 es significativamente más viscoso que T1 y T4 en varios de los días evaluados ( $p \leq 0,05$ ), lo que indica que la germinación de 48 h favorece la formación de una bebida con mayor “cuerpo” y consistencia.

Si se observa el comportamiento en el tiempo, todos los tratamientos tienden a aumentar su viscosidad entre el día 0 y el día 5. T1 y T2 son los que muestran el cambio más evidente, pasando de valores cercanos a 600–650 cP al inicio a valores próximos a 950–980 cP al final del almacenamiento. T3 ya parte de una viscosidad relativamente alta y se mantiene alrededor de 933–1 002 cP desde el día 2 en adelante, mientras que T4 también incrementa su viscosidad, aunque con algunas subidas y bajadas entre días. Estos incrementos reflejan que, a medida que avanza el almacenamiento, la estructura del gel se consolida y las bebidas se vuelven más viscosas. (Le Ba et al. 2025).

La mayor viscosidad de T3 (GBR48) se interpretó como efecto de una fase continua más “cargada” y mejor estructurada debido a mayor fracción coloidal disponible tras la germinación y mejor interacción con la fase grasa de coco, lo que eleva la resistencia al flujo y disminuye el drenaje observado en sinéresis. En análogos de yogur de leche de coco, se ha demostrado que el ajuste de la matriz (p. ej., almidones compatibles, fibras) incrementa la consistencia y reduce la separación de las fases (Pachekrepapol 2021).

Además de la composición, la fermentación puede aportar exopolisacáridos (EPS) que aumentan la viscosidad y mejoran la cohesión del gel; este mecanismo, ampliamente documentado, explica por qué formulaciones con igual °Brix y grasa difieren en cuerpo cuando varía la aptitud de la matriz para retener y organizar los biopolímeros durante el almacenamiento refrigerado (Brüls et al. 2024).

### 5.3 Densidad

**Tabla 8.** Densidad media  $\pm$  DE de las bebidas tipo yogur durante el almacenamiento (días 0–5).

| Tratamientos | Día                            |                                |                                |                                |                                |                                |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|              | 0                              | 1                              | 2                              | 3                              | 4                              | 5                              |
| T1           | 1.09 $\pm$ 0.02 <sup>b A</sup> | 1.10 $\pm$ 0.02 <sup>b A</sup> | 1.09 $\pm$ 0.02 <sup>b A</sup> | 1.09 $\pm$ 0.04 <sup>b A</sup> | 1.08 $\pm$ 0.03 <sup>b A</sup> | 1.09 $\pm$ 0.04 <sup>b A</sup> |
| T2           | 1.09 $\pm$ 0.02 <sup>b A</sup> | 1.10 $\pm$ 0.02 <sup>b A</sup> | 1.09 $\pm$ 0.03 <sup>b A</sup> | 1.09 $\pm$ 0.02 <sup>b A</sup> | 1.08 $\pm$ 0.02 <sup>b A</sup> | 1.09 $\pm$ 0.03 <sup>b A</sup> |
| T3           | 1.10 $\pm$ 0.02 <sup>a A</sup> | 1.10 $\pm$ 0.02 <sup>a A</sup> | 1.10 $\pm$ 0.01 <sup>a A</sup> | 1.10 $\pm$ 0.01 <sup>a A</sup> | 1.09 $\pm$ 0.03 <sup>a A</sup> | 1.10 $\pm$ 0.01 <sup>a A</sup> |
| T4           | 1.09 $\pm$ 0.01 <sup>b A</sup> | 1.09 $\pm$ 0.01 <sup>b A</sup> | 1.09 $\pm$ 0.01 <sup>b A</sup> | 1.09 $\pm$ 0.01 <sup>b A</sup> | 1.09 $\pm$ 0.02 <sup>b A</sup> | 1.9 $\pm$ 0.03 <sup>b A</sup>  |

Nota. T1: bebida tipo yogur elaborada con arroz integral sin germinar (CBR); T2: arroz integral remojado 24 h (SBR); T3: arroz integral germinado 48 h (GBR48); T4: arroz integral germinado 96 h (GBR96). Medias con letras minúsculas iguales en una misma columna no son significativamente diferentes entre tratamientos; medias con letras mayúsculas iguales en una misma fila no son significativamente diferentes entre días de almacenamiento.

En la Tabla 8 se observa que la densidad prácticamente no cambia ni por tratamiento ni por día: todas las bebidas se mantuvieron entre 1.08 y 1.10 g/mL durante el almacenamiento. Aun así, el tratamiento GBR48 (T3) fue diferente al resto, porque se mantiene casi siempre en 1.10 g/mL, por ejemplo,  $1.10 \pm 0.02$  en D0–D1 y  $1.10 \pm 0.01$  en los días restantes, mientras que T1, T2 y T4 se concentran alrededor de 1.09 g/mL y llegan a 1.08 g/mL en el día 4, por ejemplo, T1:  $1.08 \pm 0.03$ ; T2:  $1.08 \pm 0.02$ ). Esa diferencia, aunque fue pequeña en magnitud, fue estadísticamente significativa entre tratamientos indicando una matriz ligeramente más “compacta” en T3.

En cuanto al comportamiento en el tiempo, no se detectaron cambios significativos dentro de cada tratamiento entre los días. En otras palabras: la densidad se mantiene estable durante el almacenamiento refrigerado, y los cambios más visibles del producto no se reflejan tanto en densidad, sino en otros indicadores como viscosidad o sinéresis. Este ligero incremento en T3 es coherente con su microestructura más compacta y con la mayor viscosidad y menor sinéresis observadas en esa formulación: redes continuas con mayor fracción coloidal efectiva (biopolímeros/partículas finas derivadas del arroz germinado) tienden a estructurar más la fase acuosa y a elevar levemente la densidad de la bebida, aun con °Brix iguales (Ilić et al. 2024).

En matrices tipo yogur, la densidad responde principalmente al contenido de sólidos y a la organización de la fase continua/particulada, por lo que pequeñas diferencias de composición o ensamble estructural se traducen en cambios modestos pero consistentes de este parámetro, en paralelo con el aumento de cuerpo reológico y la retención de agua (Pachekrepapol 2021). Estos vínculos entre microestructura-reología/estabilidad han sido ampliamente descritos para yogur y análogos vegetales, incluidos los elaborados con leche de coco (Naibaho et al. 2022).

## 5.4 pH

**Tabla 9.** Evolución del pH (media  $\pm$  DE) en bebidas tipo yogur a lo largo de 0–5 días de refrigeración.

| Tratamiento | Día                             |                                 |                                  |                                  |                                 |                                 |
|-------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|             | 0                               | 1                               | 2                                | 3                                | 4                               | 5                               |
| T1          | 4.30 $\pm$ 0.09 <sup>a AB</sup> | 4.33 $\pm$ 0.02 <sup>a AB</sup> | 4.31 $\pm$ 0.06 <sup>a AB</sup>  | 4.26 $\pm$ 0.06 <sup>a B</sup>   | 4.33 $\pm$ 0.08 <sup>a AB</sup> | 4.39 $\pm$ 0.06 <sup>a A</sup>  |
| T2          | 4.26 $\pm$ 0.04 <sup>a C</sup>  | 4.38 $\pm$ 0.10 <sup>a A</sup>  | 4.29 $\pm$ 0.02 <sup>a ABC</sup> | 4.31 $\pm$ 0.04 <sup>a ABC</sup> | 4.27 $\pm$ 0.05 <sup>a BC</sup> | 4.34 $\pm$ 0.02 <sup>a AB</sup> |
| T3          | 4.12 $\pm$ 0.06 <sup>c A</sup>  | 4.14 $\pm$ 0.12 <sup>c A</sup>  | 4.17 $\pm$ 0.09 <sup>c A</sup>   | 4.22 $\pm$ 0.05 <sup>c A</sup>   | 4.21 $\pm$ 0.04 <sup>c A</sup>  | 4.18 $\pm$ 0.15 <sup>c A</sup>  |
| T4          | 4.13 $\pm$ 0.02 <sup>b B</sup>  | 4.25 $\pm$ 0.11 <sup>b A</sup>  | 4.23 $\pm$ 0.06 <sup>b AB</sup>  | 4.23 $\pm$ 0.03 <sup>b AB</sup>  | 4.29 $\pm$ 0.09 <sup>b A</sup>  | 4.22 $\pm$ 0.03 <sup>b AB</sup> |

Nota. T1: bebida tipo yogur elaborada con arroz integral sin germinar (CBR); T2: arroz integral remojado 24 h (SBR); T3: arroz integral germinado 48 h (GBR48); T4: arroz integral germinado 96 h (GBR96). Medias con letras minúsculas iguales en una misma columna no son significativamente diferentes entre tratamientos; medias con letras mayúsculas iguales en una misma fila no son significativamente diferentes entre días de almacenamiento.

En la Tabla 9 se observa que el pH se mantuvo en un rango típico para una bebida tipo yogur (4.12–4.39). Según el tratamiento, el que se comportó diferente al resto fue T3 (GBR48), ya que presentó el pH más bajo desde el inicio ( $4.12 \pm 0.06$  en D0) y se mantuvo como el más ácido, con diferencias estadísticamente significativas frente a los demás tratamientos. En el caso de el T1 (CBR) mostró los pH más altos, alcanzando el máximo al final ( $4.39 \pm 0.06$  en D5), mientras que T4 (GBR96) quedó en un punto intermedio.

En cuanto al comportamiento en el tiempo, el cambio más relevante fue que T1 presentó una variación significativa entre días, con su valor más bajo en D3 ( $4.26 \pm 0.06$ ) y el más alto en D5 ( $4.39 \pm 0.06$ ). Por lo tanto, T3 se mantuvo prácticamente estable durante el almacenamiento, sin cambios significativos entre días. Este patrón es congruente con que la germinación del arroz aumenta azúcares fermentables por activación de  $\alpha$ -amilasas, facilitando la acidificación láctica a igualdad de condiciones de fermentación (Pucciariello 2020). En cereales y bebidas vegetales, la germinación incrementa la actividad amilásica y la disponibilidad de sustratos para las BAL, lo que favorece pH finales más bajos bajo tiempos/temperaturas similares (Zhu et al. 2025).

Adicionalmente, la germinación reduce el fitato por acción de fitasas endógenas, lo que disminuye la capacidad tampón de la matriz; con menor amortiguamiento, el pH desciende más con similar acidez titulable, explicando por qué T3 presentó pH inferior sin cambios marcados entre días (Bailin 2024).

El comportamiento temporal fue estable a levemente descendente, coherente con lo reportado en yogures de coco, donde el pH suele disminuir levemente durante el almacenamiento en frío por actividad metabólica residual de las BAL y reacomodos de la red (Vittheejongjaroen 2024). En conjunto, la combinación de más sustrato fermentable (por germinación) y menor tampón (por reducción de fitato) explica el pH mínimo observado en GBR48, sin necesidad de modificar cultivo, tiempo o temperatura de fermentación (Pucciariello 2020).

## 5.5 Acidez titulable

**Tabla 10.** Acidez titulable (% ácido láctico  $\pm$  DE) por tratamiento y día (0–5).

| Tratamiento | Día                            |                                 |                                |                                 |                                 |                                |
|-------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|             | 0                              | 1                               | 2                              | 3                               | 4                               | 5                              |
| T1          | 1.87 $\pm$ 0.2 <sup>a A</sup>  | 2.31 $\pm$ 0.35 <sup>a A</sup>  | 1.89 $\pm$ 0.16 <sup>a A</sup> | 2.1 $\pm$ 0.36 <sup>a A</sup>   | 2.13 $\pm$ 0.22 <sup>a A</sup>  | 1.98 $\pm$ 0.18 <sup>a A</sup> |
| T2          | 1.83 $\pm$ 0.05 <sup>a B</sup> | 2.15 $\pm$ 0.33 <sup>a AB</sup> | 2.22 $\pm$ 0.23 <sup>a A</sup> | 2.04 $\pm$ 0.22 <sup>a AB</sup> | 2.04 $\pm$ 0.13 <sup>a AB</sup> | 2.28 $\pm$ 0.37 <sup>a A</sup> |
| T3          | 1.97 $\pm$ 0.18 <sup>a A</sup> | 2.03 $\pm$ 0.25 <sup>a A</sup>  | 1.98 $\pm$ 0.09 <sup>a A</sup> | 2.07 $\pm$ 0.32 <sup>a A</sup>  | 2.25 $\pm$ 0.09 <sup>a A</sup>  | 2.16 $\pm$ 0.09 <sup>a A</sup> |
| T4          | 1.80 $\pm$ 0.36 <sup>b A</sup> | 1.86 $\pm$ 0.10 <sup>b A</sup>  | 1.83 $\pm$ 0.10 <sup>b A</sup> | 1.85 $\pm$ 0.13 <sup>b A</sup>  | 1.86 $\pm$ 0.13 <sup>b A</sup>  | 2.10 $\pm$ 0.20 <sup>b A</sup> |

Nota. T1: bebida tipo yogur elaborada con arroz integral sin germinar (CBR); T2: arroz integral remojado 24 h (SBR); T3: arroz integral germinado 48 h (GBR48); T4: arroz integral germinado 96 h (GBR96). Medias con letras minúsculas iguales en una misma columna no son significativamente diferentes entre tratamientos; medias con letras mayúsculas iguales en una misma fila no son significativamente diferentes entre días de almacenamiento.

En la Tabla 10 se presentan los valores de acidez titulable de las bebidas tipo yogur durante el almacenamiento. Según la comparación entre tratamientos el que se comportó distinto fue T4 (GBR96), ya que mantuvo la acidez más baja prácticamente en todos los días ( $1.80 \pm 0.36$  en D0 y alrededor de 1.85–1.86 entre D1–D4) y, aunque aumentó en D5 ( $2.10 \pm 0.20$ ), continuó siendo significativamente menor que T1, T2 y T3. Al contrario, el valor más alto se registró en T1 (CBR) en D1:  $2.31 \pm 0.35$ , mientras que T1–T3 se mantuvieron en un rango cercano (1.87–2.25) y en varios días no difirieron entre sí.

En cuanto al comportamiento del parámetro en el tiempo, la acidez fue estable en T1, T3 y T4, sin cambios estadísticamente significativos entre D0 y D5 ( $p > 0.05$ ). El único tratamiento con variación relevante fue T2 (SBR): inició con  $1.83 \pm 0.05$  en D0 y alcanzó valores mayores en D2 ( $2.22 \pm 0.23$ ) y D5 ( $2.28 \pm 0.37$ ), mostrando un incremento significativo durante el almacenamiento ( $p \leq 0.05$ ). Esto sugiere que, en el tratamiento remojado, la acidez tiende a aumentar ligeramente con los días, mientras que en los tratamientos germinados (especialmente GBR96) se mantiene más baja y con menor variación. Este comportamiento es congruente con la post-acidificación en refrigeración: las BAL continúan metabolizando sustratos residuales y elevan moderadamente la AT durante almacenamiento, con cinéticas y magnitudes que dependen de la matriz y del cultivo (Sadighbathi et al. 2023).

Que T3 (GBR48) exhibiera pH más bajo, pero AT no máxima se explicó por la capacidad tampón: la germinación reduce fitato (vía fitasas endógenas), disminuyendo el amortiguamiento de la matriz; con igual o similar AT, el pH puede descender más cuando el tampón es menor, fenómeno descrito al comparar matrices lácteas y vegetales. (Gunathunga 2024).

En análogos de leche de coco, la AT alcanzada en rangos 1.8–2.3 % es típica de productos estables sensorial y tecnológicamente cuando la red se consolida sin exceso de acidez; estudios con “yogur” vegetal de coco reportan incrementos moderados de AT en frío y enfatizan que su magnitud depende del diseño de fase continua (biopolímeros/almidón) y del perfil del cultivo (Pachekrepapol 2021)

## 5.6 Color

**Tabla 11.** Valores promedio de Color en el eje L\*  $\pm$  desviación estándar de las bebidas tipo yogur durante los días 0-5.

| Tratamiento | Día                             |                                  |                                 |                                  |                                 |                                  |
|-------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
|             | 0                               | 1                                | 2                               | 3                                | 4                               | 5                                |
| T1          | 60.75 $\pm$ 2.12 <sup>a B</sup> | 64.60 $\pm$ 4.49 <sup>a AB</sup> | 65.80 $\pm$ 1.80 <sup>a A</sup> | 64.17 $\pm$ 1.71 <sup>a AB</sup> | 66.44 $\pm$ 1.94 <sup>a A</sup> | 63.07 $\pm$ 3.57 <sup>a AB</sup> |
| T2          | 50.43 $\pm$ 1.27 <sup>a B</sup> | 64.16 $\pm$ 3.89 <sup>a AB</sup> | 64.73 $\pm$ 4.51 <sup>a A</sup> | 63.37 $\pm$ 2.85 <sup>a AB</sup> | 65.07 $\pm$ 2.65 <sup>a A</sup> | 62.36 $\pm$ 2.30 <sup>a AB</sup> |
| T3          | 66.03 $\pm$ 0.66 <sup>a A</sup> | 64.77 $\pm$ 3.85 <sup>a A</sup>  | 64.77 $\pm$ 3.85 <sup>a A</sup> | 64.70 $\pm$ 2.26 <sup>a A</sup>  | 64.08 $\pm$ 3.34 <sup>a A</sup> | 61.11 $\pm$ 3.17 <sup>a A</sup>  |
| T4          | 54.55 $\pm$ 2.81 <sup>b A</sup> | 55.56 $\pm$ 7.26 <sup>b A</sup>  | 59.65 $\pm$ 9.86 <sup>b A</sup> | 58.84 $\pm$ 0.43 <sup>b A</sup>  | 58.17 $\pm$ 2.09 <sup>b A</sup> | 59.63 $\pm$ 2.85 <sup>b A</sup>  |

Nota. T1: bebida tipo yogur elaborada con arroz integral sin germinar (CBR); T2: arroz integral remojado 24 h (SBR); T3: arroz integral germinado 48 h (GBR48); T4: arroz integral germinado 96 h (GBR96). Medias con letras minúsculas iguales en una misma columna no son significativamente diferentes entre tratamientos; medias con letras mayúsculas iguales en una misma fila no son significativamente diferentes entre días de almacenamiento.



En la Tabla 11 se observa que el tratamiento T4 (GBR96) fue el que presentó la bebida más oscura durante todo el almacenamiento, ya que mantuvo los valores de  $L^*$  más bajos y se diferenció de los demás tratamientos de forma estadísticamente significativa. En cambio, T1, T2 y T3 conservaron una luminosidad mayor y muy parecida entre sí, por lo que en la mayoría de los días no hubo diferencias significativas entre estos tres. Esto indica que la germinación prolongada (96 h) tiende a oscurecer el producto, mientras que el control, el remojo y la germinación de 48 h mantienen un color más claro.

Respecto al comportamiento en el tiempo, los tratamientos germinados T3 y T4 se mantuvieron estables entre los días 0 y 5, sin cambios significativos. En cambio, T1 y T2 sí mostraron variaciones entre algunos días, especialmente al inicio del almacenamiento, no obstante, la luminosidad se mantiene bastante constante durante la refrigeración, y las diferencias más marcadas se explican principalmente por el tipo de tratamiento aplicado al arroz, destacando el oscurecimiento asociado a GBR96 (Sood et al. 2024).

De esta manera los valores se encuentran dentro del rango reportado para yogures y análogos vegetales, donde  $L^*$  suele situarse alrededor de 60–70 lux en productos con apariencia clara y aceptable para el consumidor (Ramos 2025)..

**Tabla 12.** Valores promedio de Color en el eje a\*  $\pm$  desviación estándar de las bebidas tipo yogur durante los días 0-5.

| Tratamiento | Día                  |                       |                      |                       |                      |                       |
|-------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
|             | 0                    | 1                     | 2                    | 3                     | 4                    | 5                     |
| T1          | $-0.33 \pm 0.37^a B$ | $-0.46 \pm 4.49^a AB$ | $-0.11 \pm 1.80^a A$ | $-0.57 \pm 1.71^a AB$ | $-0.27 \pm 1.94^a A$ | $-0.22 \pm 3.57^a AB$ |
| T2          | $-0.31 \pm 0.27^a B$ | $-0.26 \pm 3.89^a AB$ | $-0.31 \pm 4.51^a A$ | $-0.53 \pm 2.85^a AB$ | $-0.41 \pm 2.65^a A$ | $-0.51 \pm 2.30^a AB$ |
| T3          | $-0.44 \pm 0.03^a A$ | $-0.44 \pm 3.85^a A$  | $-0.74 \pm 3.85^a A$ | $-0.69 \pm 2.26^a A$  | $-0.76 \pm 3.34^a A$ | $-0.49 \pm 3.17^a A$  |
| T4          | $-0.49 \pm 0.51^b A$ | $-0.30 \pm 7.26^b A$  | $-0.42 \pm 9.86^b A$ | $-0.25 \pm 0.43^b A$  | $-0.08 \pm 2.09^b A$ | $-0.14 \pm 2.85^b A$  |

Nota. T1: bebida tipo yogur elaborada con arroz integral sin germinar (CBR); T2: arroz integral remojado 24 h (SBR); T3: arroz integral germinado 48 h (GBR48); T4: arroz integral germinado 96 h (GBR96). Medias con letras minúsculas iguales en una misma columna no son significativamente diferentes entre tratamientos; medias con letras mayúsculas iguales en una misma fila no son significativamente diferentes entre días de almacenamiento.

En la Tabla 12 se presentan los valores de la coordenada  $a^*$  del sistema CIELAB para las bebidas tipo yogur durante el almacenamiento. En conjunto, las medias se ubicaron entre -0.08 y -0.76, lo que muestra valores cercanos a cero y negativos en todos los tratamientos. El valor más negativo correspondió a T3 (GBR48) en el día 4 (-0.76), mientras que el valor más cercano a cero se registró en T4 (GBR96) en el día 4 (-0.08). Esto evidencia diferencias significativas entre tratamientos, donde T3 tiende a mostrar  $a^*$  más negativo y los valores de T1, T2 y T3 valores más neutros; además, el tratamiento T2 (SBR) fue el más estable en el tiempo, mientras que T1 y T3 presentaron oscilaciones puntuales entre días.

Desde el punto de vista del significado del parámetro, en el espacio CIELAB los valores negativos de  $a^*$  indican una ligera tendencia hacia tonalidades verdosas y los valores cercanos a cero se asocian con tonos crema prácticamente neutros; por ello, el rango observado sugiere que todas las bebidas conservaron una apariencia clara con un matiz verdoso muy suave, como se ha descrito en leches y yogures evaluados mediante CIELAB (Milovanovic 2020).

La mayor negatividad de  $a^*$  en GBR48 (T3) puede relacionarse con los cambios que provoca la germinación sobre pigmentos y compuestos fenólicos del arroz integral, los cuales pueden desplazar las coordenadas de color dependiendo del tiempo de germinación y del tratamiento térmico posterior, lo que coincide con la diferencia observada entre T3 y T4 (Mohmed 2021).

De esta manera las variaciones en el tiempo fueron menores a una unidad de  $a^*$ , magnitud comparable con cambios pequeños reportados en yogures y bebidas fermentadas bajo refrigeración, donde el color tiende a mantenerse relativamente estable (Ścibisz y Ziarno 2023). De otra manera se demuestra que el tratamiento del arroz modifica de forma leve la componente rojo-verde sin afectar la apariencia crema homogénea esperada para este tipo de producto (Ramos 2025).

**Tabla 13.** Valores promedio de Color en el eje b\*  $\pm$  desviación estándar de las bebidas tipo yogur durante los días 0-5

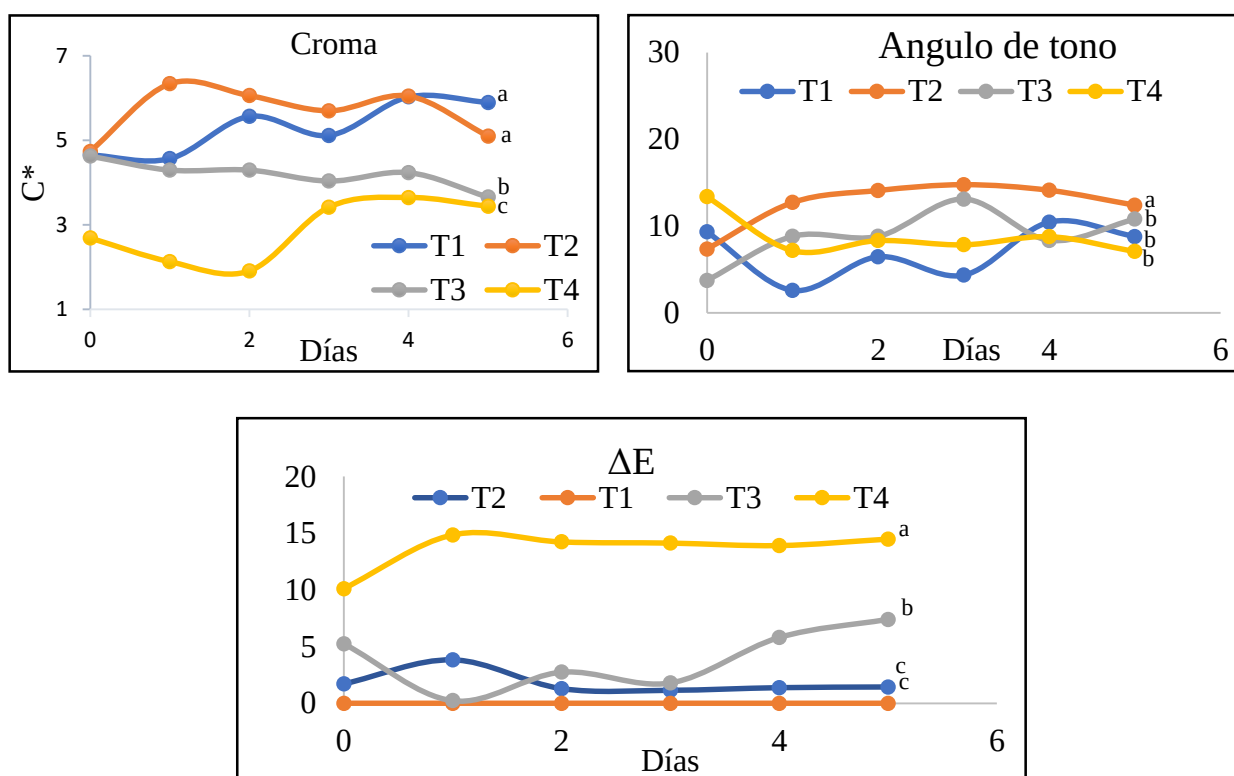
| Tratamiento | Día                            |                                |                                |                                |                                |                                |
|-------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|             | 0                              | 1                              | 2                              | 3                              | 4                              | 5                              |
| T1          | 4.66 $\pm$ 2.29 <sup>a A</sup> | 4.54 $\pm$ 1.02 <sup>a A</sup> | 5.57 $\pm$ 1.72 <sup>a A</sup> | 5.09 $\pm$ 0.59 <sup>a A</sup> | 6.03 $\pm$ 1.88 <sup>a A</sup> | 5.09 $\pm$ 0.69 <sup>a A</sup> |
| T2          | 4.73 $\pm$ 2.15 <sup>A a</sup> | 6.34 $\pm$ 1.40 <sup>a A</sup> | 6.06 $\pm$ 1.51 <sup>a A</sup> | 5.68 $\pm$ 0.52 <sup>a A</sup> | 6.04 $\pm$ 1.65 <sup>a A</sup> | 5.08 $\pm$ 0.99 <sup>a A</sup> |
| T3          | 4.60 $\pm$ 0.54 <sup>b A</sup> | 4.28 $\pm$ 0.86 <sup>b A</sup> | 4.28 $\pm$ 0.86 <sup>b A</sup> | 3.97 $\pm$ 0.44 <sup>b A</sup> | 4.18 $\pm$ 0.81 <sup>a A</sup> | 3.58 $\pm$ 0.44 <sup>b A</sup> |
| T4          | 2.68 $\pm$ 2.17 <sup>b A</sup> | 4.20 $\pm$ 2.98 <sup>b A</sup> | 1.91 $\pm$ 4.12 <sup>b A</sup> | 3.41 $\pm$ 0.59 <sup>b A</sup> | 3.65 $\pm$ 0.19 <sup>b A</sup> | 3.44 $\pm$ 0.49 <sup>b A</sup> |

Nota. T1: bebida tipo yogur elaborada con arroz integral sin germinar (CBR); T2: arroz integral remojado 24 h (SBR); T3: arroz integral germinado 48 h (GBR48); T4: arroz integral germinado 96 h (GBR96). Medias con letras minúsculas iguales en una misma columna no son significativamente diferentes entre tratamientos; medias con letras mayúsculas iguales en una misma fila no son significativamente diferentes entre días de almacenamiento..

En la Tabla 13 se presentan los valores de la coordenada  $b^*$  (eje amarillo-azul) de las bebidas tipo yogur durante el almacenamiento. Los valores se mantuvieron positivos y oscilaron entre  $1.91 \pm 4.12$  (T4, día 2) y  $6.34 \pm 1.40$  (T2, día 1), lo que indica un matiz amarillo suave en todas las formulaciones. Según el tratamiento, T2 (SBR) registró los valores más altos, mientras que los tratamientos con arroz germinado, especialmente T4 (GBR96), presentaron los valores más bajos, lo que confirma que las bebidas elaboradas con arroz sin germinar o remojado tienden a ser más amarillas que las formuladas con arroz germinado. En cuanto al comportamiento en el tiempo, el análisis estadístico muestra que la coordenada  $b^*$  no cambió significativamente entre los días 0 y 5 dentro de cada tratamiento, lo que indica estabilidad del matiz amarillo durante la refrigeración.

Desde el punto de vista del significado del parámetro, en el sistema CIELAB los valores positivos de  $b^*$  se asocian con tonalidades amarillas y los valores cercanos a cero con colores crema pálidos; por ello, el rango observado es consistente con la apariencia típica de yogures y bebidas fermentadas claras, incluidas alternativas vegetales (Milovanovic 2020). La menor amarillez en los tratamientos germinados puede relacionarse con los cambios que provoca la germinación en la composición del grano (pigmentos y compuestos fenólicos), los cuales pueden modificar la intensidad del color dependiendo del tiempo y las condiciones de proceso (Mohmed 2021). Además, la interacción de estos compuestos con la matriz de leche de coco y la fermentación láctica puede atenuar la sensación de amarillez en los tratamientos germinados (Chinma 2023).

.



**Figura 2.** Comparación de valores medios de las variaciones de color ( $\Delta E$ ,  $C^*$ ,  $h^*$ ) en los tratamientos T1, T2, T3, T4 de la bebida tipo yogur de arroz integral germinado y leche de coco.

Nota. T1: bebida tipo yogur elaborada con arroz integral sin germinar (CBR); T2: arroz integral remojado 24 h (SBR); T3: arroz integral germinado 48 h (GBR48); T4: arroz integral germinado 96 h (GBR96). Medias con letras en común no son significativamente diferentes, medias con letras distintas son significativamente diferentes

En la figura 2, en la gráfica de croma al comparar los tratamientos, T1 y T2 mostraron la mayor intensidad de color: T2 alcanzó un pico cercano a 6.3 alrededor del día 1 y T1 superó ligeramente 6.0 hacia el día 4, mientras que en el resto del periodo ambos tratamientos se mantuvieron mayormente por encima de 5 unidades. T4 presentó los menores valores de croma en todo el ensayo, con un mínimo cercano a 2.1 en el día 1 y un máximo alrededor de 3.6 hacia el día 4.

Esta distribución sugiere que las bebidas elaboradas con arroz sin germinar o sólo remojado (T1 y T2) presentan un color ligeramente más “vivo”, mientras que las

formulaciones con arroz germinado sobre todo T4 presentan un color más apagado. Estudios en yogures y bebidas fermentadas enriquecidas con ingredientes vegetales han descrito patrones similares: lotes con mayor contenido de pigmentos o compuestos coloreados exhiben  $C^*$  más elevados, mientras que matrices con menor concentración de pigmentos o con pigmentos parcialmente degradados muestran cromas más bajos (Paredes et al. 2022).

En la figura 2, en la gráfica de ángulo de tono al comparar los tratamientos, la bebida T2 (arroz remojado 24 h) mostró de forma consistente los ángulos de tono más elevados, pasando de valores cercanos a  $8^\circ$  al inicio hasta un máximo alrededor de  $13^\circ$  en el día 3, con una leve reducción posterior. Este comportamiento sugiere un matiz ligeramente más “amarillo cálido” en T2 respecto a los demás tratamientos, lo que coincide con estudios en emulsiones y yogures enriquecidos con ingredientes vegetales, donde formulaciones con mayor componente  $b^*$  y cromaticidad presentan  $h^\circ$  algo más altos dentro de la misma zona de color (Yilmaz-Ersan y Topcuoglu 2022).

Los tratamientos con arroz germinado mostraron patrones diferenciados: T3 tendió a incrementar el ángulo de tono desde valores iniciales bajos hasta un máximo alrededor de  $13^\circ$  en el día 3, mientras que T4 partió de un valor relativamente alto ( $13^\circ$ ) y se estabilizó después a  $7-8^\circ$ . Estas variaciones están en línea con lo descrito para productos lácteos y análogos vegetales donde el uso de materias primas germinadas o subproductos de cereales modifica de forma sutil el matiz, pero sin desplazarlo fuera de la región de colores cálidos (Najman et al. 2024).

En todos los casos, los cambios de  $h^\circ$  fueron moderados y no indican transiciones hacia tonos verdosos o azulados, lo cual es importante para mantener la apariencia típica de una bebida tipo yogur de arroz y coco, tal como se ha señalado para bebidas fermentadas a base de arroz y otros cereales (Khan et al. 2021).

En la figura 2 se observa que el tratamiento T1 se mantiene en  $\Delta E: 0$  en todos los días, ya que actúa como referencia frente a la cual se comparan las demás bebidas. La bebida T2

(arroz remojado 24 h) muestra valores bajos de  $\Delta E$ , con un máximo aproximado de 3-4 unidades alrededor del día 1 y valores cercanos a 1-2 en el resto del periodo. Esto indica que, respecto al control, las diferencias de color de T2 son leves a moderadas y probablemente sólo fácilmente perceptibles en los primeros días, lo que concuerda con los valores similares de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y croma descritos para estos dos tratamientos (Ramos 2025).

Los tratamientos con arroz germinado se separan más claramente del control. T3 (germinado 48 h) parte de una diferencia notable en el día 0 ( $\Delta E$ : 5), disminuye hacia el día 1 y vuelve a incrementarse gradualmente hasta superar 7 unidades en el día 5. T4 (germinado 96 h) presenta las diferencias más marcadas de todo el estudio:  $\Delta E$  se mantiene por encima de 10 unidades en todos los días, en los demás días se presentan niveles superiores a 14 en los días 1-5. Estos valores indican cambios de color fácilmente apreciables por el consumidor en cualquier momento del almacenamiento, lo que es coherente con la menor luminosidad, menor croma e incremento de los valores absolutos de  $a^*$  observados para este tratamiento.

Estudios en yogures coloreados y bebidas fermentadas señalan que la incorporación de ingredientes vegetales con mayor contenido de pigmentos, así como procesos de germinación prolongados o tratamientos térmicos intensos, pueden generar  $\Delta E^*$  superiores a 5 frente a los controles, produciendo colores claramente diferenciables (Lipşa et al. 2025).



## VII CONCLUSIONES

- Entre los cuatro tratamientos, el arroz germinado 48 h (T3) mostró el mejor desempeño integral: pH más bajo, densidad más alta, sinéresis significativamente menor y pico de viscosidad alrededor del día 5, sin modificar el dulzor objetivo ni la fase grasa. En términos sencillos, T3 construyó la red más estable: se sintió con mejor cuerpo, hubo menor separación de fases -y mantuvo su calidad durante los días de vida útil estudiados. Esto valida la germinación 48 h como una estrategia tecnológica eficaz para mejorar la textura y estabilidad de bebidas fermentadas de base vegetal.
- Manteniendo 10 °Brix y la misma fase grasa para todas las formulaciones. El proceso completo (germinación, secado, molienda fina, pasteurización, fermentación con *L. acidophilus* y refrigeración) entregó un producto estable dentro del periodo evaluado.
- Los análisis de color muestran que todas las bebidas mantienen un tono crema-amarillo suave y aceptable. CBR y SBR conservan un color claro y ligeramente más intenso, por lo que se parecen más al color base del producto (T1). GBR48 introduce cambios moderados, pero sigue siendo similar, mientras que GBR96 resulta algo más oscura y distinta, por lo que se percibe con la mayor diferencia de color.

## VI RECOMENDACIONES

- Ajustar el sistema de estabilización incrementando ligeramente la concentración de goma xantana o combinándola con otra (por ejemplo, goma guar o pectina de bajo metoxilo), con el fin de reducir la sinéresis y mejorar el “cuerpo” y la cremosidad de la bebida.
- Optimizar el balance dulzor–acidez en función de pruebas sensoriales preliminares, corrigiendo los °Brix (más o menos azúcar) o el tiempo de fermentación si el producto es percibido como demasiado ácido o poco dulce.
- Realizar una evaluación sensorial estructurada (sabor, olor, textura y color) con consumidores o panel entrenado, para confirmar la aceptabilidad global de la bebida y orientar ajustes finales en la formulación.
- Realizar análisis microbiológicos del producto, para garantizar su inocuidad, vida útil y cumplimiento de criterios de calidad en bebidas fermentadas de origen vegetal.
- Analizar alternativas en el proceso de extracción y preparación de la leche de coco, utilizando ya sea el método de prensado en frío o caliente, centrifugación, decantación, con el fin de optimizar la estabilidad del producto.

## BIBLIOGRAFIA

Adebayo-Tayo, BC; Ogundele, BR; Ajani, OA; Olaniyi, OA. 2024. Characterization of Lactic Acid Bacterium Exopolysaccharide, Biological, and Nutritional Evaluation of Probiotic Formulated Fermented Coconut Beverage. International Journal of Food Science 2024(1):8923217. DOI: <https://doi.org/10.1155/2024/8923217>.

Ahmad. 2022. Fortification of yogurt with bioactive functional foods and ingredients and associated challenges - A review. Trends in Food Science & Technology 129:558-580. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.11.003>.

Allameh, A. 2021. Efecto de las propiedades de germinación de semillas de arroz secadas mediante secadora de recirculación. Idesia (Arica) 39(1):87-92. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-34292021000100087>.

AOAC. 2025. Official Methods of Analysis, 22nd Edition (2023) (en línea, sitio web). Consultado 18 may 2025. Disponible en <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/>.

Arab, M; Yousefi, M; Khanniri, E; Azari, M; Ghasemzadeh-Mohammadi, V; Mollakhalili-Meybodi, N. 2023. A comprehensive review on yogurt syneresis: effect of processing conditions and added additives. Journal of Food Science and Technology 60(6):1656-1665. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05403-6>.

Bagarinao, NC; King, J; Leong, SY; Agyei, D; Sutton, K; Oey, I. 2024. Effect of Germination on Seed Protein Quality and Secondary Metabolites and Potential Modulation by Pulsed Electric Field Treatment. Foods 13(11):1598. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13111598>.

Bailin, L. 2024. La ocurrencia, el papel y las estrategias de gestión del ácido fítico en los alimentos - Li - 2024 - Revisiones Exhaustivas en Ciencia y Seguridad Alimentaria -

Wiley Online Library (en línea, sitio web). Consultado 17 nov. 2025. Disponible en <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1541-4337.13416>

Belewu, M. 2007. Evaluación fisicoquímica comparativa de fuentes de chufa, soja y leche de coco. s.l., s.e .

Bourneow, c; Toontam. 2019. Microbiological quality and some bioactive compounds in relation to sensory profiles during germination of purple-pigmented brown rice. s.l., s.e.

Brüls, M; Foroutanparsa, S; Maljaars, CEP; Olsthoorn, M; Tas, RP; Voets, IK. 2024. Investigating the impact of exopolysaccharides on yogurt network mechanics and syneresis through quantitative microstructural analysis. Food Hydrocolloids 150:109629. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109629>.

Cáceres, PJ; Peñas, E; Martinez-Villaluenga, C; Amigo, L; Frias, J. 2017. Enhancement of biologically active compounds in germinated brown rice and the effect of sun-drying. Journal of Cereal Science 73:1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.11.001>.

Cáceres, PJ; Peñas, E; Martínez-Villaluenga, C; García-Mora, P; Frías, J. 2019. Development of a multifunctional yogurt-like product from germinated brown rice. LWT 99:306-312. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.008>.

Caiwen, C. 2023. Preparation of germinated brown rice with high  $\gamma$ -aminobutyric acid content and short root by magnetic field treatment. Journal of Cereal Science 112:103720. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103720>.

Cardello, A. 2024. Sensory drivers of liking, emotions, conceptual and sustainability concepts in plant-based and dairy yoghurts. Food Quality and Preference 113:105077. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.105077>.

Chavan, M; Gat, Y; Harmalkar, M; Waghmare, R. 2018. Development of non-dairy fermented probiotic drink based on germinated and ungerminated cereals and legume. LWT 91:339-344. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.070>.

Chee, C. Y, Choon, N. 2025. Leche de coco: química y tecnología | Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos | Académico de Oxford (en línea, sitio web).

Consultado 26 may 2025. Disponible en <https://academic.oup.com/ijfst/article/32/3/189/7911183>.

Chen, Y; Zhang, Z; Chen, Y; Li, T; Zhang, W. 2024. The role of fat content in coconut milk: Stability and digestive properties. Food Chemistry 446:138900. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138900>.

Chinma, C. 2023. Impacto de la germinación en las propiedades tecnofuncionales, la composición nutricional y los compuestos beneficiosos para la salud del arroz integral y sus productos: una revisión - Chinma - 2024 - Revista de Ciencias de los Alimentos - Biblioteca en línea Wiley (en línea, sitio web). Consultado 16 mar. 2025. Disponible en <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1750-3841.16832>.

Chudy, S. 2020. (PDF) Color de la leche y productos lácteos en el espacio CIE L\*a\*b\* (en línea, sitio web). Consultado 18 nov. 2025. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/338309273\\_Colour\\_of\\_milk\\_and\\_milk\\_products\\_in\\_CIE\\_Lab\\_space](https://www.researchgate.net/publication/338309273_Colour_of_milk_and_milk_products_in_CIE_Lab_space).

Cornejo, F; Caceres, PJ; Martínez-Villaluenga, C; Rosell, CM; Frias, J. 2015. Effects of germination on the nutritive value and bioactive compounds of brown rice breads. Food Chemistry 173:298-304. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.037>.

D01 Committee. 2020. Test Methods for Rheological Properties of Non-Newtonian Materials by Rotational Viscometer (en línea). s.l., ASTM International DOI: <https://doi.org/10.1520/D2196-20>.

D'Andrea, AE; Kinchla, AJ; Nolden, AA. 2023. A comparison of the nutritional profile and nutrient density of commercially available plant-based and dairy yogurts in the United States. Frontiers in Nutrition 10:1195045. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1195045>.

D'Andrea, AE; Kinchla, AJ; Nolden, AA. 2023. A comparison of the nutritional profile and nutrient density of commercially available plant-based and dairy yogurts in the United States (en línea). Frontiers in Nutrition 10. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1195045>.

Daszkiewicz, T. 2024. A comparison of the quality of plain yogurt and its analog made from coconut flesh extract. *Journal of Dairy Science* 107(6):3389-3399. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24060>.

DebMandal, M; Mandal, S. 2011. Coco (*Cocos nucifera* L.: Arecaceae): En la promoción de la salud y prevención de enfermedades. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine* 4(3):241-247. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1995-7645\(11\)60078-3](https://doi.org/10.1016/S1995-7645(11)60078-3).

Dhakal, D; Younas, T; Bhusal, RP; Devkota, L; Henry, CJ; Dhital, S. 2023. Design rules of plant-based yoghurt-mimic: Formulation, functionality, sensory profile and nutritional value. *Food Hydrocolloids* 142:108786. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108786>.

Diana, M; Quílez, J; Rafecas, M. 2014. Gamma-aminobutyric acid as a bioactive compound in foods: a review. *Journal of Functional Foods* 10:407-420. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.07.004>.

Ding, J; Ulanov, AV; Dong, M; Yang, T; Nemzer, BV; Xiong, S; Zhao, S; Feng, H. 2018. Mejora del ácido gama-aminobutírico (GABA) y otros metabolitos relacionados con la salud en el arroz rojo germinado (*Oryza sativa* L.) mediante ultrasonidos. *Ultrasonics Sonochemistry* 40:791-797. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.08.029>.

FAO; FIDA; WFP; UNICEF. 2022. Panorama regional de seguridad alimentaria y nutricional. .

Fuentes-Berrío, L; Acevedo-Correa, D; Gelvez-Ordóñez, VM. 2015. ALIMENTOS FUNCIONALES: IMPACTO Y RETOS PARA EL DESARROLLO Y BIENESTAR DE LA SOCIEDAD COLOMBIANA. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 13(2):140-149. DOI: [https://doi.org/10.18684/BSAA\(13\)140-149](https://doi.org/10.18684/BSAA(13)140-149).

Fukushima, A; Uchino, G; Akabane, T; Aiseki, A; Perera, I; Hirotsu, N. 2021. Phytic Acid in Brown Rice Can Be Reduced by Increasing Soaking Temperature. *Foods* 10(1):23. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10010023>.

Giacone, L. 2024. Consumers' perceptions of healthiness and environmental friendliness of plant-based and dairy product concepts. *Food and Humanity* 2:100288. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100288>.

Gunathunga. 2024. Germination effects on nutritional quality: A comprehensive review of selected cereals and pulses changes. *Journal of Food Composition and Analysis* 128:106024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106024>.

Guo, Y; Xu, Y; Zhao, S; Qiao, D; Li, B; Zhang, B. 2025. Germination and fermentation synergistically tailor the starch structure within brown rice and the quality features of brown rice tea. *Food Research International* 211:116437. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116437>.

Ilić, N; Belović, M; Memiši, N; Pestorić, M; Škrobot, D; Pezo, L; Jevtić-Mučibabić, R; Sanz, Y; Brouzes, J. 2024. Rheological Properties and Sensory Profile of Yoghurt Produced with Novel Combination of Probiotic Cultures. *Foods* 13(19):3021. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13193021>.

Jabeen, R; Jan, N; Naseer, B; Sarangi, PK; Sridhar, K; Dikkala, PK; Bhaswant, M; Hussain, SZ; Inbaraj, BS. 2024. Development of Germinated-Brown-Rice-Based Novel Functional Beverage Enriched with  $\gamma$ -Aminobutyric Acid: Nutritional and Bio-Functional Characterization. *Foods* 13(8):1282. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13081282>.

Jadhav, HB; Annapure, US. 2023. Triglycerides of medium-chain fatty acids: a concise review. *Journal of Food Science and Technology* 60(8):2143-2152. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05499-w>.

Jaeger, S. 2023. Consumer perception of plant-based yoghurt: Sensory drivers of liking and emotional, holistic and conceptual associations. *Food Research International* 167:112666. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112666>.

Jeske, stephanie. 2018. Past, present and future: The strength of plant-based dairy substitutes based on gluten-free raw materials. *Food Research International* 110:42-51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.03.045>.

Juricic, H; Cuccioloni, M; Bonfili, L; Angeletti, M; Uberti, D; Eleuteri, AM; Abate, G; Cecarini, V. 2025. Biochemical, Biological, and Clinical Properties of  $\gamma$ -Oryzanol. *Antioxidants* 14(9):1099. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox14091099>.

Khan, M; Singh, K; Pandey, S. 2021. Quality Aspects of Rice Based Fermented Beverage (En company: biomedresdistributor: biomedresinstitution: biomedreslabel: biomedrespublisher: biomedical research network+, llc). Biomedical Journal of Scientific & Technical Research 34(5):27096-27104. DOI: <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2021.34.005609>.

Kwak, J-E; Yoon, S-W; Kim, D-J; Yoon, M-R; Lee, J-H; Oh, S-K; Kim, I-H; Lee, J-S; Lee, J-S; Chang, J-K. 2013. Changes in Nutraceutical Lipid Constituents of Pre- and Post-Geminated Brown Rice Oil. The Korean Journal of Food And Nutrition 26(3):591-600. DOI: <https://doi.org/10.9799/ksfan.2013.26.3.591>.

Le Ba, T; Dam, MS; Nguyen, LLP; Baranyai, L; Kaszab, T. 2025. A Review of Processing Techniques and Rheological Properties of Yogurts. Journal of Texture Studies 56(1):e70006. DOI: <https://doi.org/10.1111/jtxs.70006>.

Lele, L. 2025. Estado del procesamiento, propiedades nutricionales y comestibles del arroz después de varios grados de molienda de arroz integral - ScienceDirect (en línea, sitio web). Consultado 24 may 2025. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0733521025000748>.

Lipşa, FD; Raţu, RN; Stoica, F; Motrescu, I; Cara, IG; Cristea, R-M; Ulea, E. 2025. Valorization of Blackcurrant Pomace for the Development of Functional Stirred Yogurt with Enhanced Nutritional and Antioxidant Properties. Foods 14(21):3650. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14213650>.

Ma, Z; Zhai, X; Zhang, N; Tan, B. 2023. Effects of Germination, Fermentation and Extrusion on the Nutritional, Cooking and Sensory Properties of Brown Rice Products: A Comparative Study. Foods 12(7):1542. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12071542>.

Mäkinen, OE; Uniacke-Lowe, T; O'Mahony, JA; Arendt, EK. 2015. Physicochemical and acid gelation properties of commercial UHT-treated plant-based milk substitutes and lactose free bovine milk. Food Chemistry 168:630-638. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.036>.

Mäkinen, OE; Wanhalinna, V; Zannini, E; Arendt, EK. 2016. Foods for Special Dietary Needs: Non-dairy Plant-based Milk Substitutes and Fermented Dairy-type Products.



Critical Reviews in Food Science and Nutrition 56(3):339-349. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.761950>.

Marefat, S; Shayanfar, A; Monajjemzadeh, F. 2025. Developments in image-based colorimetric analysis methods and applications of CIElab color space in pharmaceutical sciences: A narrative review. International Journal of Pharmaceutics: X 10:100434. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpx.2025.100434>.

Marlapati, L; Basha, RFS; Navarre, A; Kinchla, AJ; Nolden, AA. 2024. Comparison of Physical and Compositional Attributes between Commercial Plant-Based and Dairy Yogurts. Foods 13(7):984. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13070984>.

Mathias-Rettig, K; Ah-Hen, K. 2014. El color en los alimentos un criterio de calidad medible. Agro Sur 42(2):57-66. DOI: <https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07>.

Mauro, CSI; Garcia, S. 2019. Coconut milk beverage fermented by Lactobacillus reuteri: optimization process and stability during refrigerated storage. Journal of Food Science and Technology 56(2):854-864. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3545-8>.

Milovanovic, B ojana. 2020. ¿Cuál es el color de la leche y los productos lácteos y cómo se mide? (en línea, sitio web). Consultado 17 nov. 2025. Disponible en <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/11/1629>.

Mohmed, N. 2021. (PDF) Effect of germination on yield, physico-chemical properties, nutritional composition and GABA content in germinated brown rice (en línea). ResearchGate . DOI: <https://doi.org/10.35709/ory.2021.58.4.5>.

Mokrzycki, W. 2011. (PDF) Diferencia de color Delta E - Un levantamiento topográfico (en línea, sitio web). Consultado 18 nov. 2025. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/236023905\\_Color\\_difference\\_Delta\\_E\\_-\\_A\\_survey](https://www.researchgate.net/publication/236023905_Color_difference_Delta_E_-_A_survey).

Monks, JLF; Vanier, NL; Casaril, J; Berto, RM; de Oliveira, M; Gomes, CB; de Carvalho, MP; Dias, ARG; Elias, MC. 2013. Effects of milling on proximate composition, folic acid, fatty acids and technological properties of rice. Journal of Food Composition and Analysis 30(2):73-79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.01.009>.

Naibaho, J; Butula, N; Jonuzi, E; Korzeniowska, M; Chodaczek, G; Yang, B. 2022. The roles of brewers' spent grain derivatives in coconut-based yogurt-alternatives: Microstructural characteristic and the evaluation of physico-chemical properties during the storage. *Current Research in Food Science* 5:1195-1204. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.07.011>.

Najman, K; Ponikowska, P; Sadowska, A; Hallmann, E; Wasiak-Zys, G; Świderski, F; Buczak, K. 2024. Physicochemical Properties and Nutritional Relevance of Rice Beverages Available on the Market. *Applied Sciences* 14(19):9150. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14199150>.

Nonogaki, H; Bassel, GW; Bewley, JD. 2010. Germination—Still a mystery. *Plant Science (Serie Translational Seed Biology: From Model Systems to Crop Improvement)* 179(6):574-581. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.02.010>.

Pachekreapol. 2021. Formulation of yogurt-like product from coconut milk and evaluation of physicochemical, rheological, and sensory properties. *International Journal of Gastronomy and Food Science* 25:100393. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100393>.

Pachekreapol, U; Kokhuenkhan, Y; Ongsawat, J. 2021. Formulation of yogurt-like product from coconut milk and evaluation of physicochemical, rheological, and sensory properties. *International Journal of Gastronomy and Food Science* 25:100393. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100393>.

Paredes, JL; Escudero-Gilete, ML; Vicario, IM. 2022. A new functional kefir fermented beverage obtained from fruit and vegetable juice: Development and characterization. *LWT* 154:112728. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112728>.

Pucciariello, C. 2020. Molecular Mechanisms Supporting Rice Germination and Coleoptile Elongation under Low Oxygen. *Plants* 9(8):1037. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9081037>.

2020. Molecular Mechanisms Supporting Rice Germination and Coleoptile Elongation under Low Oxygen. *Plants* 9(8):1037. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9081037>.

Ramos, I. 2025. Development and Characterization of Pistachio Yogurt Analog: A Healthy, Sustainable, and Innovative Plant-Based Alternative (en línea, sitio web). Consultado 17 nov. 2025. Disponible en <https://www.mdpi.com/2311-5637/11/8/467>.

Ramsing, R; Santo, R; Kim, BF; Altema-Johnson, D; Wooden, A; Chang, KB; Semba, RD; Love, DC. 2023. Dairy and Plant-Based Milks: Implications for Nutrition and Planetary Health. *Current Environmental Health Reports* 10(3):291-302. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40572-023-00400-z>.

Reyes, J; Ludeña, F. 2015. Evaluación de las Características Físico-Químicas, Microbiológicas y Sensoriales de un Yogur Elaborado con Sucralosa y Estevia (en línea). . Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/6887/688773648001.pdf>.

Roberfroid, MB. 2002. Global view on functional foods: European perspectives. *The British Journal of Nutrition* 88 Suppl 2:S133-138. DOI: <https://doi.org/10.1079/BJN2002677>.

Rodrigo, D; Rosell, CM; Martinez, A. 2021. Risk of *Bacillus cereus* in Relation to Rice and Derivatives. *Foods* 10(2):302. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10020302>.

Ruiz Rivera, JA; Ramírez Matheus, AO. 2009. Elaboración de yogurt con probióticos (*Bifidobacterium* spp. y *Lactobacillus acidophilus*) e inulina. *Revista de la Facultad de Agronomía* 26(2):223-242.

Sadighbathi, S; Saris, PEJ; Amiri, S; Yousefvand, A. 2023. Development and properties of functional yoghurt enriched with postbiotic produced by yoghurt cultures using cheese whey and skim milk (en línea). *Frontiers in Microbiology* 14. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1276268>.

Santana, K. 2018. Análise de acidificação, pH e sinérese de bebidas lácteas fermentadas com diferentes concentrações de soro durante a estocagem. .

Ścibisz, I; Ziarno, M. 2023. Effect of Fermented Matrix on the Color and Stability of Strawberry and Blueberry Anthocyanins during the Storage of Fruit Yogurts and Soy-Based and Bean-Based Fruit Yogurt Alternatives. *Molecules* 28(17):6222. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28176222>.

Sethi, S; Tyagi, SK; Anurag, RK. 2016. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *Journal of Food Science and Technology* 53(9):3408-3423. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2328-3>.

Silva, K. 2021. EFEITO DE SUBSTRATOS DE ORIGEM VEGETAL NA ELABORAÇÃO DE BEBIDAS FERMENTADAS...

Sood, M; Bandral, JD; Gupta, N; Nishu; Salgotra, RK. 2024. Effect of germination on functional and nutritional quality characteristics of brown rice. *International Journal of Advanced Biochemistry Research* 8(6S):555-559. DOI: <https://doi.org/10.33545/26174693.2024.v8.i6Sg.1376>.

Suckling, J; Morse, S; Murphy, R; Raats, M; Astley, S; Ciruelos, A; Crespo, A; Halford, JCG; Harrold, JA; Le-Bail, A; Koukouna, E; Musinovic, H; Raben, A; Roe, M; Scholten, J; Scott, C; Westbroek, C. 2025. Environmental life cycle assessment of drink and yoghurt products using non-nutritive sweeteners and sweetness enhancers in place of added sugar: the SWEET project. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 30(2):251-272. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-024-02375-x>.

Thomas, S; Aneena, ER; Pathrose, B; Panjikaran, ST; Sharon, CL; Prameela, P; Ajisha, KH; Athira, KA. 2023. Augmentation of gamma amino butyric acid (GABA), antioxidant potential and nutrient qualities in germinated brown rice. *Food and Humanity* 1:349-357. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.06.010>.

Tobolková, B; Durec, J. 2023. Colour descriptors for plant-based milk alternatives discrimination. *Journal of Food Science and Technology* 60(9):2497-2501. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05773-5>.

Vitheejongjaroen, P. 2024. La capacidad de la cepa *Lactobacillus paracasei* MSMC 36-9 con potencial probiótico para fermentar la leche de coco y producir una bebida tipo yogur (en línea, sitio web). Consultado 14 nov. 2025. Disponible en <https://www.mdpi.com/2306-5710/10/2/30>

Wang, X; Kristo, E; LaPointe, G. 2020. Adding apple pomace as a functional ingredient in stirred-type yogurt and yogurt drinks. *Food Hydrocolloids* 100:105453. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105453>.

Wu, X. 2023. Brown rice: a missing nutrient-rich health food. *Food Science and Human Wellness* 12(5):1458-1470. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2023.02.010>.

Xu, L; Wang, X; Li, Q; Niu, Y; Ding, G; He, J; Chen, W; Tian, D. 2024. *Plants* (Basel, Switzerland) 13(24):3594. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13243594>.

Yang, X; Ma, L; Yu, P; Qiao, Y; Feng, Z; Bai, J; Zhou, R; Wang, C; Cai, J. 2025. The comparative evaluation of the quality of brown rice by plasma treatment and milling treatment: Appearance, cooking characteristics, texture characteristics, and nutrient composition. *Journal of Cereal Science* 122:104127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2025.104127>.

Yilmaz-Ersan, L; Topcuoglu, E. 2022. Evaluation of instrumental and sensory measurements using multivariate analysis in probiotic yogurt enriched with almond milk. *Journal of Food Science and Technology* 59(1):133-143. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-021-04994-w>.

Zahir, A; Naseri, E; Hussain, M. 2024. Development of yogurt fortified with four varieties of common bean (*Phaseolus vulgaris*) whey by using response surface methodology: a preliminary study. *Journal of Food Science and Technology* 61(4):753-769. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05876-z>.

Zhu, L; Xie, Q; Qin, D; He, Y; Yuan, H; Mao, Y; Pan, Z; Li, G; Xia, X. 2025. Germination-Induced Biofortification: Improving Nutritional Efficacy, Physicochemical Properties, and In Vitro Digestibility of Black Rice Flour. *Foods* 14(16):2912. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14162912>.

## ANEXOS

**Figura 3.**Proceso de germinación y deshidratado de los tratamientos.





**Figura 4.** Molienda y empaquetado.



**Figura 5.** Obtención de la leche de coco.



**Figura 6.** Elaboración del yogur.

