

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

**OBTENCIÓN DE UN SUPLEMENTO PROTEICO
ALIMENTICIO A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE LEVADURA
DE CERVEZA DE LA EMPRESA CUSCO BEER COMPANY
S.A.C.**

PRESENTADO POR:

Br. JULIO CESAR CHAMAN ABIEGA

Br. PAOLA KASANDRA PÉREZ PACO

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO QUIMICO**

ASESOR

Dr. BALTAZAR NICOLÁS CÁCERES HUAMBO

CUSCO – PERU

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor Baltazar Nicolás Cáceres Huambo
 quien aplica el software de detección de similitud al
 trabajo de investigación/tesis titulada: Obtención de un suplemento proteico
alimenticio a partir de los residuos de levadura de cerveza de
la Empresa Cusco Beer Company S.A.C.

Presentado por: Julio Cesar CHAMAN ABIEGA DNI N° 74910121 ;
 presentado por: Paola Kasandra PEREZ PACO DNI N°: 71801590
 Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO QUÍMICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 6.00 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 30 de marzo de 2026.....

Firma

Post firma B. Nicolás Cáceres Huambo

Nro. de DNI 23879771

ORCID del Asesor 0009-0005-4702-5605

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:571880234

TESIS Levadura de cerveza.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:571880234

Fecha de entrega

26 mar 2026, 10:21 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

26 mar 2026, 10:28 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS Levadura de cerveza.pdf

Tamaño del archivo

12.6 MB

174 páginas

29.872 palabras

166.570 caracteres




6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

PRESENTACIÓN

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

En cumplimiento a lo dispuesto por el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la Escuela Profesional de Ingeniería Química presentamos a vuestra consideración la tesis intitulada:

Obtención de un suplemento proteico alimenticio a partir de los residuos de levadura de cerveza de la empresa CUSCO BEER COMPANY S.A.C.

Para optar al Título Profesional de Ingeniero Químico.

DEDICATORIA

“Este logro lo dedico a mí: a la mujer que, incluso en sus días más cansados, eligió seguir adelante con constancia, disciplina y fe en sí misma.

A mi familia, especialmente a mi madre y a mi hermana, por su amor firme e incondicional.

A esa luz que me acompaña desde el cielo, cuya ausencia duele, pero cuyo cariño guía silenciosamente.

Y a mi compañero de tesis, por la paciencia, el compromiso y el esfuerzo compartido.”

Paola Kasandra Pérez Paco

“A mi hermana y a mi prima, por su comprensión y paciencia constante; a mi familia, especialmente a mis padres, por su sacrificio y dedicación, que me han permitido llegar hasta aquí.

A mi compañera, por su colaboración y compañerismo durante todo este proceso, y a mí mismo, por la dedicación que puse en cada paso de este trabajo.

A Monkey D. Luffy, cuya valentía y determinación me inspiran a no rendirme nunca y a seguir soñando en grande.

Y, como símbolo de todo lo que hemos superado juntos, *Exfavilla nos resurgemus*.

Julio César Chamán Abiega

AGRADECIMIENTOS

"Queremos expresar nuestro más profundo y sincero agradecimiento a todas las personas que nos han acompañado y apoyado durante todo el desarrollo de esta investigación. A nuestras familias, por su amor incondicional, paciencia infinita y comprensión constante, quienes con su apoyo emocional nos dieron la fortaleza para superar cada desafío y seguir adelante. A nuestro asesor y profesores, por su guía experta, conocimientos compartidos y dedicación, que nos orientaron y motivaron en cada etapa de este proceso académico. Finalmente, extendemos nuestro agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones que, directa o indirectamente, contribuyeron a que este proyecto se hiciera realidad, porque sin su apoyo nada de esto habría sido posible."

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
GLOSARIO	3
CAPÍTULO I	7
GENERALIDADES	7
1.1. Introducción.....	8
1.2. Planteamiento del problema	9
1.3. Formulación del problema.....	11
1.3.1. Problema general.....	11
1.3.2. Problemas específicos	11
1.4. Justificación.....	12
1.5. Objetivos de la investigación.....	13
1.5.1. Objetivo general	13
1.5.2. Objetivos específicos.....	13
1.6. Hipótesis	14
1.6.1. Hipótesis general	14
1.6.2. Hipótesis específica.....	14
CAPÍTULO II.....	15
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	15

2.1.	Antecedentes.....	16
2.1.1.	Marco teórico conceptual	22
2.1.2.	Proceso productivo de cerveza artesanal.....	22
2.1.2.1.	Proceso productivo general para la obtención de cerveza artesanal	22
2.1.2.2.	Proceso productivo general para la obtención de cerveza artesanal en la cervecería Cusco Beer Company S.A.C.	23
2.1.3.	Fermentación.....	27
2.1.3.1.	Fase de adaptación	27
2.1.3.2.	Fase de crecimiento exponencial y fermentación	27
2.1.3.3.	Fase estacionaria	28
2.1.4.	Levadura de cerveza.....	28
2.1.4.1.	Historia de la levadura.....	28
2.1.4.2.	Definición.....	29
2.1.4.3.	Morfología.....	31
2.1.4.4.	Nutrición.....	34
2.1.4.5.	Metabolismo.....	38
2.1.4.6.	Propagación de cultivo de levaduras.....	45
2.1.4.7.	Reproducción de levaduras	46
2.1.4.8.	Secado de levaduras	48
2.1.5.	Levadura nutricional	49

2.1.5.1. Composición.....	51
2.1.5.2. Propiedades	52
2.1.5.3. Aplicaciones	53
2.1.6. Proteína.....	53
2.1.6.1. Estructura	54
2.1.6.2. Clasificación.....	55
2.1.6.3. Funciones	55
2.1.7. Diseño Factorial 2 ³	56
CAPÍTULO III.....	58
MATERIALES Y MÉTODOS	58
3.1. Materia Prima	59
3.2. Materiales, equipos e instrumentos	59
3.3. Identificación de variables.....	61
3.3.1. Variables independientes.....	62
3.3.1.1. Cepa de levadura	63
3.3.1.2. Densidad de reproducción.....	63
3.3.1.3. Temperatura de secado.....	63
3.3.2. Variable de respuesta	63
3.4. Obtención del suplemento proteico	64
3.4.1. Extracción de levadura gastada	66

3.4.2. Reproducción de levadura residual	66
3.4.2.1. Primera alimentación.....	67
3.4.2.2. Segunda alimentación	70
3.4.2.3. Tercera alimentación.....	73
3.4.2.4. Autólisis	75
3.4.2.5. Enfriado.....	76
3.4.3. Secado	76
3.4.4. Hipótesis estadística del diseño factorial	78
3.4.4.1. Factor A (cepa de levadura)	78
3.4.4.2. Factor B (densidad de sustrato).....	78
3.4.4.3. Factor C (temperatura de secado).....	78
3.4.5. Formulación	78
3.5. Balance de materia.....	79
3.5.1. Cepa US-05	79
3.5.1.1. Extracción y lavado de la levadura residual.....	79
3.5.1.2. Primera alimentación.....	81
3.5.1.3. Segunda alimentación	82
3.5.1.4. Tercera alimentación.....	82
3.5.1.5. Autólisis	82
3.5.1.6. Secado	83

3.5.2. Cepa BE-256	84
3.5.2.1. Extracción y lavado de la levadura residual	84
3.5.2.2. Primera alimentación	85
3.5.2.3. Segunda alimentación	85
3.5.2.4. Tercera alimentación	86
3.5.2.5. Autólisis	86
3.5.2.6. Secado	86
CAPÍTULO IV	87
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	87
4.1. Resultados	88
4.1.1. Obtención de levadura viable a partir de la biomasa del fermentador.	88
4.1.2. Reproducción de levadura viable por el método starter.	89
4.1.3. Resultados del efecto de la temperatura de secado sobre la humedad final y el contenido proteico de la levadura nutricional	91
4.1.4. Resultados de la obtención de un suplemento proteico a partir de residuos de levadura de cerveza	94
4.2. Discusión	101
4.2.1. Discusión de la obtención de levadura viable mediante decantación básica	101

4.2.2. Discusión de la reproducción de levadura viable mediante el método starter con retroalimentación constante	103
4.2.3. Discusión de la influencia de la temperatura de secado en la estabilidad del contenido proteico de la levadura nutricional.....	105
4.2.4. Discusión de la obtención de un suplemento alto en proteínas a partir de residuos de levadura de cerveza.....	107
CONCLUSIONES	111
RECOMENDACIONES.....	113
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114
APÉNDICE.....	125
APÉNDICE 1: tablas de los balances de materia para la cepa US-05.....	126
APÉNDICE 2: tablas de los balances de materia para la cepa BE-256.....	136
APÉNDICE 3: Análisis de levadura residual de las unidades formadoras de colonias	146
APÉNDICE 4: Análisis proximal de las muestras iniciales de levadura residual líquida	148
APÉNDICE 5: Análisis proximal de las muestras finales (M1 – M16)	150
APÉNDICE 6: Constancia de autorización	154
APÉNDICE 7: Imágenes de la experimentación	155

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 <i>Diagrama de bloques de la empresa Cusco Beer Company S.A.C.</i>	25
Figura 2 <i>Diagrama de flujo de proceso de la empresa Cusco Beer Company S.A.C.</i>	26
Figura 3 <i>Reproducción de la célula de levadura</i>	31
Figura 4 <i>Estructura de una célula de levadura en sección transversa</i>	32
Figura 5 <i>Función del ATP en el acoplamiento de reacciones anabólicas y catabólicas</i> .	39
Figura 6 <i>La vía glucolítica (Embden-Meyerhof-Parnas) para la utilización del azúcar</i> .	40
Figura 7 <i>Esquema general de la respiración y fermentación</i>	42
Figura 8 <i>Catabolismo de distintas moléculas alimenticias orgánicas</i>	44
Figura 9 <i>Factores que afectan la actividad enzimática</i>	48
Figura 10 <i>Diseño experimental</i>	62
Figura 11 <i>Diagrama de bloques del proceso de experimentación</i>	65
Figura 12 <i>Extracción de biomasa residual del fermentador cónico</i>	80
Figura 13 <i>Primer lavado de la cepa SafAle US-05 luego de la extracción de biomasa residual</i>	80
Figura 14 <i>Segundo lavado de la cepa SafAle US-05</i>	80
Figura 15 <i>Estructura del balance de materia para las alimentaciones</i>	81
Figura 16 <i>Estructura del balance de materia para el secado de levadura proteica</i>	83
Figura 17 <i>Extracción de biomasa residual del fermentador cónico</i>	84

Figura 18 <i>Primer lavado de la cepa SafAle BE-256 luego de la extracción de biomasa residual.</i>	84
Figura 19 <i>Segundo lavado de la cepa SafAle BE-256 residual y parte líquida).</i>	85
Figura 20 <i>Diagrama de Pareto de las tres variables de estudio y sus interacciones realizado en Minitab V20.</i>	95
Figura 21 <i>Diagrama de Pareto elaborado en el programa Minitab v20</i>	98
Figura 22 <i>Gráfica de efectos principales para la proteína.</i>	99
Figura 23 <i>Gráfica de efectos principales para la proteína.</i>	100
Figura 24 <i>Gráfica de contorno</i>	101

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 <i>Taxonomía de la levadura Saccharomyces cerevisiae</i>	30
Tabla 2 <i>Factores de crecimiento (vitaminas) de la levadura de cerveza</i>	36
Tabla 3 <i>Oligoelementos necesarios en la vida de las levaduras</i>	37
Tabla 4 <i>Cantidades promedio de producción de proteínas de varias fuentes de proteínas</i>	51
Tabla 5 <i>Contenido de aminoácidos esenciales en las proteínas de la SCP</i>	53
Tabla 6 <i>Función de las diferentes clases de proteína</i>	56
Tabla 7 <i>Equipos utilizados en el trabajo de investigación</i>	59
Tabla 8 <i>Materiales utilizados en el trabajo de investigación</i>	60
Tabla 9 <i>Instrumentos utilizados en el trabajo de investigación</i>	61
Tabla 10 <i>Niveles de las variables independientes.</i>	64
Tabla 11 <i>Numero de experimentos realizados</i>	67
Tabla 12 <i>Insumos para preparar el sustrato</i>	68
Tabla 13 <i>Mezcla de levadura residual con el sustrato preparado</i>	69
Tabla 14 <i>Condiciones finales</i>	70
Tabla 15 <i>Cantidad de insumos para preparar el sustrato</i>	71
Tabla 16 <i>Adición de sustrato al fermentador tipo cónico</i>	71
Tabla 17 <i>Condiciones finales</i>	72
Tabla 18 <i>Cantidad de insumos para preparar el sustrato</i>	73

Tabla 19 <i>Adición de sustrato al fermentador de tipo cónico</i>	74
Tabla 20 <i>Condiciones finales</i>	75
Tabla 21 <i>Condiciones finales antes de extraer la levadura residual</i>	76
Tabla 22 <i>Cantidad total de levadura residual seca</i>	77
Tabla 23 <i>Cantidad de levadura residual extraída después de los lavados</i>	89
Tabla 24 <i>Resumen de la cantidad de levadura obtenida</i>	90
Tabla 25 <i>Cantidad de levadura seca proteica</i>	92
Tabla 26 <i>Cantidad de proteína seca</i>	93
Tabla 27 <i>Análisis de varianza de las tres variables de estudio y sus interacciones realizado en el programa Minitab v20</i>	96
Tabla 28 <i>Análisis de varianza realizado en el programa Minitab v20</i>	97
Tabla 29 <i>Balance de materia de la extracción, primer lavado y segundo lavado de la cepa US-05</i>	126
Tabla 30 <i>Balance de materia de la primera reproducción de la cepa US-05 a densidad constante de 1.050 g/ml</i>	127
Tabla 31 <i>Balance de materia de la primera reproducción de la cepa US-05 a densidad constante de 1.080 g/ml</i>	128
Tabla 32 <i>Balance de materia de la segunda reproducción de la cepa US-05 a densidad constante de 1.050 g/ml</i>	129

Tabla 33 <i>Balance de materia de la segunda reproducción de la cepa US-05 a densidad constante de 1.080 g/ml</i>	130
Tabla 34 <i>Balance de materia de la tercera reproducción de la cepa US-05 a densidad constante de 1.050 g/ml</i>	131
Tabla 35 <i>Balance de materia de la tercera reproducción de la cepa US-05 a densidad constante de 1.080 g/ml</i>	132
Tabla 36 <i>Balance de materia del proceso de autólisis de la cepa US-05 a densidad constante de 1.050 g/ml</i>	133
Tabla 37 <i>Balance de materia del proceso de autólisis de la cepa US-05 a densidad constante de 1.080 g/ml</i>	134
Tabla 38 <i>Balance de materia para la operación de secado para la cepa SafAle US-05</i>	135
Tabla 39 <i>Balance de materia de la extracción, primer lavado y segundo lavado de la cepa US-05</i>	136
Tabla 40 <i>Balance de materia de la primera reproducción de la cepa BE-256 a densidad constante de 1.050 g/ml</i>	137
Tabla 41 <i>Balance de materia de la primera reproducción de la cepa BE-256 a densidad constante de 1.080 g/ml</i>	138
Tabla 42 <i>Balance de materia de la segunda reproducción de la cepa BE-256 a densidad constante de 1.050 g/ml</i>	139
Tabla 43 <i>Balance de materia de la segunda reproducción de la cepa BE-256 a densidad constante de 1.080 g/ml</i>	140

Tabla 44 <i>Balance de materia de la tercera reproducción de la cepa BE-256 a densidad constante de 1.050 g/ml</i>	141
Tabla 45 <i>Balance de materia de la tercera reproducción de la cepa BE-256 a densidad constante de 1.080 g/ml</i>	142
Tabla 46 <i>Balance de materia del proceso de autólisis de la cepa BE-256 a densidad constante de 1.050 g/ml</i>	143
Tabla 47 <i>Balance de materia del proceso de autólisis de la cepa BE-256 a densidad constante de 1.080 g/ml</i>	144
Tabla 48 <i>Balance de materia para la operación de secado para la cepa SafAle BE-256</i>	145

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo obtener un suplemento proteico para consumo humano a partir de la biomasa residual de levadura generada durante la fermentación de cerveza artesanal. Se trabajó con las cepas SafAle US-05 y SafAle BE-256, las cuales fueron recuperadas mediante decantación básica, reproducidas mediante el método starter con retroalimentación constante y sometidas a secado convectivo a temperaturas de 60 °C y 80 °C. Se evaluó la influencia de la cepa de levadura, la densidad del sustrato (1.050 y 1.080 g/mL) y la temperatura de secado sobre el contenido final de proteína, empleando un diseño experimental factorial 2³ con replicación y análisis estadístico ANOVA.

Los resultados evidenciaron que la cepa de levadura y la densidad del sustrato presentaron un efecto significativo sobre el contenido proteico ($p < 0.05$), mientras que la temperatura de secado no mostró un efecto estadísticamente significativo ($p > 0.05$). El modelo estadístico obtuvo un coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado) de 43.47 %, indicando una adecuada explicación de la variabilidad del contenido de proteína en función de las variables evaluadas. El mayor rendimiento proteico se obtuvo con la cepa SafAle BE-256 a una densidad de 1.050 g/mL y temperatura de secado de 80 °C, alcanzando hasta 36.28 % de proteína. En la cepa SafAle US-05 se obtuvo un máximo de 32.34 % a 60 °C. Se concluye que la valorización de levadura residual constituye una alternativa técnica viable para la obtención de suplementos proteicos sostenibles.

PALABRAS CLAVE: ANOVA, Levadura residual, Secado convectivo, Suplemento proteico.

ABSTRACT

This research aimed to obtain a protein supplement for human consumption from residual yeast biomass generated during the artisanal beer fermentation process. The study used the yeast strains SafAle US-05 and SafAle BE-256, which were recovered through basic decantation, propagated using the starter method with constant feedback, and subjected to convective drying at temperatures of 60 °C and 80 °C. The influence of yeast strain, substrate density (1.050 and 1.080 g/mL), and drying temperature on the final protein content was evaluated using a 2³ factorial experimental design with replication and statistical analysis by ANOVA.

The results showed that yeast strain and substrate density had a significant effect on protein content ($p < 0.05$), while drying temperature did not present a statistically significant effect ($p > 0.05$). The statistical model achieved an adjusted coefficient of determination (adjusted R²) of 43.47%, indicating an adequate explanation of protein content variability based on the evaluated factors. The highest protein yield was obtained with the SafAle BE-256 strain at a substrate density of 1.050 g/mL and a drying temperature of 80 °C, reaching up to 36.28% protein. For the SafAle US-05 strain, the maximum protein content was 32.34% at 60 °C. It is concluded that the valorization of residual yeast represents a technically viable and sustainable alternative for protein supplement production.

Keywords: ANOVA, Residual yeast, Convective drying, Protein supplement.

GLOSARIO

- **Ácidos grasos insaturados:** Moléculas lipídicas que contienen una o más dobles enlaces en su cadena carbonada, lo que les confiere mayor fluidez y menor punto de fusión en comparación con los ácidos grasos saturados.
- **Acetil coenzima A (Acetil-CoA):** Molécula clave en el metabolismo, formada a partir de carbohidratos, grasas y proteínas, que participa en el ciclo de Krebs y en la síntesis de lípidos.
- **ANOVA (Análisis de Varianza):** Técnica estadística que permite comparar medias de diferentes grupos y determinar si existen diferencias significativas entre ellas, evaluando la influencia de uno o más factores sobre una variable de respuesta.
- **Alérgenos:** Sustancias, generalmente proteínas, capaces de provocar reacciones alérgicas en personas sensibles. En la industria alimentaria, su presencia debe ser claramente indicada en las etiquetas de los productos para proteger a los consumidores. Algunos alérgenos comunes incluyen frutos secos, gluten, mariscos y lácteos.
- **ATP (Adenosín trifosfato):** Principal molécula energética de la célula, utilizada para llevar a cabo funciones metabólicas, de transporte y de síntesis.
- **Biomasa:** Materia orgánica producida por organismos vivos, en este caso levaduras, que incluye tanto células viables como no viables y representa la acumulación de material celular durante el cultivo.
- **Decantación:** Método de separación de fases que se basa en la diferencia de densidad, permitiendo que un sólido o líquido más denso se deposite en el fondo y pueda ser separado del sobrenadante.

- **Enzimas:** Proteínas biológicas que actúan como catalizadores, acelerando reacciones químicas específicas sin consumirse en el proceso.
- **Ergosterol:** Esterol característico de las membranas celulares de hongos y levaduras, análogo al colesterol en animales, esencial para la integridad y fluidez de la membrana.
- **Esteroles:** Grupo de lípidos que forman parte de las membranas celulares, regulando su estabilidad y fluidez; incluyen compuestos como colesterol y ergosterol.
- **FADH₂:** Coenzima reducida que transporta electrones hacia la cadena respiratoria, generando ATP durante la fosforilación oxidativa.
- **Flocular:** Propiedad de algunas levaduras de agruparse formando flóculos (aglomerados celulares) que sedimentan fácilmente al final de la fermentación.
- **Glucógeno:** Polisacárido de reserva energética en células animales y fúngicas, formado por cadenas ramificadas de glucosa.
- **Homeostasis celular:** Conjunto de procesos mediante los cuales una célula mantiene estables sus condiciones internas frente a cambios del entorno.
- **Inoculación:** Proceso de introducir microorganismos (como levaduras) en un medio de cultivo o en un sustrato para iniciar su crecimiento o fermentación.
- **Levadura gastada:** llamada también levadura residual, es una biomasa de levadura utilizada en procesos fermentativos previos, que puede ser recuperada y utilizada como fuente de nutrientes o suplemento proteico.
- **Método starter:** Técnica de propagación de levaduras que consiste en preparar un cultivo inicial (starter) en condiciones óptimas para aumentar la cantidad de células viables antes de ser inoculadas en el proceso principal de fermentación.

- **Micronización de pared celular:** Proceso de reducción mecánica del tamaño de partículas de pared celular de levadura, que mejora la disponibilidad de sus componentes bioactivos.
- **NADH:** Coenzima reducida que transporta electrones y protones a la cadena de transporte electrónico, generando energía en forma de ATP.
- **Ósmosis:** Proceso físico en el que el solvente (generalmente agua) se desplaza a través de una membrana semipermeable desde una solución menos concentrada hacia otra más concentrada, con el fin de equilibrar las concentraciones.
- **Quimiosmótico (modelo quimiosmótico):** Teoría que explica la síntesis de ATP en mitocondrias y cloroplastos mediante el flujo de protones a través de una membrana, acoplado a la fosforilación oxidativa.
- **SafAle BE – 256:** Cepa de levadura seca de alta fermentación (Fermentis) diseñada para cervezas de estilo belga de alta graduación. Destaca por su fermentación rápida, alta floculación y un perfil aromático de ésteres frutales (plátano) sin notas fenólicas. Ideal para Dubbels, Tripels y Strong Ales.
- **SafAle US – 05:** La levadura de alta fermentación (Ale) más popular de Fermentis para el estilo americano. Destaca por su perfil neutro y limpio que resalta los sabores del lúpulo y la malta. Posee una atenuación media-alta (aprox. 81%), tolerancia al alcohol hasta 11% ABV y una sedimentación media, siendo el estándar para elaborar American IPAs, Pale Ales y Stouts.
- **Secado por convección:** Método de deshidratación en el que el material (ejemplo: levaduras) se expone a una corriente de aire caliente, transfiriéndose calor por convección para eliminar la humedad.

- **Spring ferm:** Nutriente comercial utilizado en fermentaciones, compuesto principalmente por derivados de levadura y minerales, que aporta nitrógeno, vitaminas y factores de crecimiento necesarios para optimizar la multiplicación de levaduras.
- **Subproducto cervecero:** Material resultante del proceso de elaboración de cerveza que no forma parte del producto final (ejemplo: bagazo, levadura residual, lodos de fermentación), y que puede ser reutilizado o transformado.
- **Suplemento proteico:** Producto elaborado a partir de fuentes biológicas (por ejemplo, levaduras residuales) que presenta un alto contenido de proteínas y puede emplearse para enriquecer la dieta humana o animal.
- **Wort:** Líquido dulce obtenido al hervir granos, como la cebada, con agua en la elaboración de cerveza. Este líquido contiene azúcares que, durante la fermentación, se convierten en alcohol y dióxido de carbono, determinando el sabor y la calidad final de la cerveza.

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

1.1. Introducción

La desnutrición es un problema que se sufre a nivel mundial, especialmente en países que se encuentran en vías de desarrollo. De acuerdo a Food and Agriculture Organization of the United Nations et al. (2025); en el 2024 calificó al Perú a nivel de Latinoamérica dentro de los 5 primeros países con alimentación insuficiente. Asimismo, según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2024) para el año 2023 en el área urbana, el 8.1% de la población peruana presentó una deficiencia en su alimentación y en el área rural, del 20.3%.

La desnutrición crónica se incrementa por diversos factores como epidemias, pandemias, cambio climático, entre otros. De acuerdo a la última encuesta desarrollada por el INEI, esta enfermedad afectó al 12.1% de la población infantil menor a cinco años (INEI, 2025).

Este suplemento proteico es preferido por la población vegana y vegetariana, asimismo, por el alto contenido en proteínas es posible utilizarla como suplemento alimenticio para niños, adolescentes y personas de tercera edad con baja nutrición o que quieran complementar su alimentación (Mayo Clinic, 2023).

La obtención de este suplemento fue por el método reproducción celular, se realizó en un sistema aerobio sobresaturando el sustrato con oxígeno para generar 36 moléculas de ATP permitiendo que la multiplicación sea mucho más rápida; asimismo, con las condiciones adecuadas de pH, temperatura y densidad permiten un crecimiento óptimo de las levaduras (Tortora *et al.*, 2007).

El secado contribuye a la reducción del contenido de ARN de la levadura, disminuyendo el riesgo de formación de ácido úrico asociado a afecciones como la gota; además, favorecen la ruptura parcial de la pared celular, lo que mejora la digestibilidad y absorción de proteínas y

otros macronutrientes (Jaeger *et al.*, 2020). Este producto alimenticio contiene entre el 36% al 60% en proteínas que pueden ser aprovechados por la población que no consume proteína animal y con desnutrición crónica, especialmente en la edad infantil. Además, puede ser utilizada de distintas maneras en la alimentación diaria como masa de pizza, dulces, quesos, entre otros.

El principal objetivo de este proyecto de investigación es obtener un suplemento proteico a partir de la levadura residual, producto de la fermentación. La levadura nutricional es un producto elaborado a partir de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, un hongo unicelular perteneciente a al reino Fungi, considerada un superalimento rico en proteínas de alta calidad y una fuente natural de complejo B, aminoácidos y minerales (Jach & Serefko, 2018). Este producto presenta un sabor más suave en comparación a la levadura de cerveza, debido a que esta última llega a tener un sabor amargo y en ocasiones pegajoso (Foerster, 2018).

1.2. Planteamiento del problema

En el Perú, la desnutrición crónica infantil continúa siendo un problema de salud pública, afectando principalmente a los niños menores de cinco años que viven en zonas rurales y en condiciones de pobreza. De acuerdo con el INEI, en el año 2023 la desnutrición crónica afectó al 11.7% de los niños menores de cinco años a nivel nacional, observándose una marcada desigualdad entre las zonas rurales (23.9%) y urbanas (7.1%) (INEI, 2024). Esta situación evidencia una deficiente ingesta de nutrientes esenciales, especialmente proteínas de alta calidad, vitaminas y minerales, necesarios para el adecuado crecimiento y desarrollo infantil.

Asimismo, en los últimos años se ha registrado un incremento en la adopción de dietas veganas y vegetarianas en el Perú. De acuerdo con una encuesta realizada por Nielsen, aproximadamente el 3% de la población peruana se identificaba como vegana, mientras que un

porcentaje adicional seguía una dieta vegetariana, lo que evidencia una tendencia creciente hacia patrones alimentarios basados en plantas (Nielsen, 2016). Este cambio en los hábitos alimenticios implica, en muchos casos, una menor ingesta de proteínas de origen animal, por lo que resulta necesario identificar y desarrollar fuentes alternativas de proteína que permitan cubrir adecuadamente los requerimientos nutricionales de esta población.

Paralelamente, la industria de la cerveza artesanal en el Perú ha experimentado un crecimiento considerable durante la última década. Dentro de este proceso productivo, la fermentación genera una gran cantidad de biomasa residual, compuesta principalmente por levadura cervecera (*Saccharomyces cerevisiae*) y restos de lúpulo. Esta biomasa es considerada, en la mayoría de los casos, un desecho industrial y es descartada sin un aprovechamiento adecuado, generando pérdidas económicas y problemas ambientales.

Diversos estudios han demostrado que la levadura cervecera residual presenta un alto valor nutricional, destacando su elevado contenido proteico, aminoácidos esenciales, vitaminas del complejo B y minerales como hierro, zinc, calcio, potasio y magnesio, lo que la convierte en un recurso con potencial para su valorización en la alimentación humana (Fermentation, 2023). Asimismo, se ha señalado que los subproductos derivados de la levadura pueden ser utilizados como ingredientes funcionales o suplementos nutricionales, especialmente en poblaciones con dietas restringidas en proteína animal (Kumar et al., 2023).

No obstante, en el rubro cervecero peruano son escasas las iniciativas orientadas a la reutilización de esta biomasa residual, situación evidenciada en la empresa Cusco Beer Company S.A.C., donde la levadura generada durante el proceso de fermentación es descartada como desecho al medio ambiente, contribuyendo a la contaminación y desaprovechando su alto valor

nutricional. En promedio, por cada 250 L por batch de producción se genera aproximadamente 25 kg de biomasa de levadura, lo que incrementa significativamente el volumen de residuo orgánico liberado sin tratamiento. En este contexto, surge la necesidad de desarrollar alternativas tecnológicas que permiten transformar la biomasa generada durante la fermentación cervecera e un subproducto enriquecido en proteínas, apto para el consumo humano, que contribuya tanto a la reducción de la desnutrición como a la diversificación de fuentes proteicas. De esta manera, se promovería además un enfoque de economía circular, agregando valor a un residuo industrial y disminuyendo su impacto ambiental.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es el proceso para obtener un suplemento proteico para consumo humano con alto contenido de proteínas a partir de los residuos de levadura de cerveza mediante métodos de recuperación, reproducción y secado?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el porcentaje de levadura viable extraída del fermentador por el método de decantación básica?
- ¿Cuál es el porcentaje de levadura viable obtenido por el método stater con retroalimentación constante?
- ¿Cómo influye la temperatura de secado en la cantidad de proteína obtenida?

1.4. Justificación

La levadura nutricional es un producto poco difundido como suplemento, a pesar de su valor nutricional. Estudios reportan que presenta un alto contenido de proteínas, que oscila entre 36% y 60% en base seca, además de carbohidratos (18 – 44%), vitaminas del complejo B, minerales, aminoácidos esenciales y ácido fólico (Thompson, 2004). Esta composición permite que sea beneficioso para el sistema inmunológico, digestivo y muscular (Percara, 2013).

En el ámbito local, muchas micro cervecerías del departamento del Cusco no otorgan un valor agregado a la biomasa residual generada durante el proceso de fermentación cervecera, considerándola un desecho. Esta situación representa una oportunidad desaprovechada, ya que dicha biomasa, compuesta principalmente por levadura cervecera, puede ser utilizada como materia prima para la obtención de un suplemento con alto contenido proteico, contribuyendo a satisfacer la creciente demanda de alimentos nutritivos en el mercado.

La levadura cervecera presenta ventajas significativas, como su rápida reproducción y la posibilidad de controlar sus condiciones de crecimiento (pH, temperatura y densidad del sustrato), lo que permite optimizar el proceso productivo sin requerir grandes extensiones de terreno ni inversiones elevadas. Estas características hacen viable su aprovechamiento a escala artesanal o industrial.

El desarrollo de un suplemento proteico a partir de levadura cervecera contribuiría a mejorar la calidad de la alimentación en poblaciones vulnerables, como la población infantil, personas veganas y vegetarianas, así como adultos mayores, quienes presentan mayores requerimientos nutricionales o limitaciones en el consumo de proteínas de origen animal. En este

sentido, el producto propuesto se presenta como una alternativa innovadora y accesible para complementar la dieta diaria.

Asimismo, la levadura nutricional posee diversas aplicaciones en la industria alimentaria debido a sus propiedades funcionales, siendo utilizada como potenciador de sabor, saborizante, extensor de productos cárnicos y agente espesante (Quintero, 1993; Solís, 2004). De igual manera, es empleada directamente en la elaboración de alimentos como quesos veganos, condimentos, batidos y salsas, lo que amplía su potencial de uso y aceptación en el mercado.

Por lo expuesto, la presente investigación se justifica en la necesidad de reutilizar la biomasa residual generada en la fermentación de cerveza artesanal en la empresa Cusco Beer Company S.A.C. para la obtención de un suplemento proteico apto para el consumo humano, promoviendo el aprovechamiento de subproductos, la reducción de desechos y el desarrollo de alternativas alimentarias sostenibles y de alto valor nutricional.

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general

Obtener un suplemento alto en proteínas para consumo humano a partir de los residuos de levadura de cerveza.

1.5.2. Objetivos específicos

- Obtener y cuantificar levadura viable de la biomasa del fermentador por el método de decantación básica.
- Reproducir y evaluar la levadura viable por el método starter con retroalimentación constante.
- Determinar la temperatura adecuada de secado para la obtención de la levadura nutricional.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

Es posible obtener un producto nutritivo apto para el consumo humano a partir de la reutilización de la biomasa residual de la fermentación cervecera.

1.6.2. Hipótesis específica

- Se logrará extraer la cantidad necesaria de levadura viable a partir del residuo del fermentador.
- La levadura viable puede reproducirse de manera significativa mediante el método starter con retroalimentación constante.
- Existen condiciones adecuadas de temperatura para el secado que permiten obtener levadura nutricional con características adecuadas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Antecedentes

Jaeger *et al.*, (2025) evaluaron la valorización de la biomasa de levadura cervecera residual como fuente proteica y de compuestos bioactivos. En su estudio, aplicaron métodos de extracción alcalina y enzimática para aislar proteínas de *Saccharomyces cerevisiae*, seguidos de técnicas de centrifugación y secado por aspersión. Los análisis incluyeron determinación del contenido proteico, perfil de aminoácidos, capacidad antioxidante y evaluación de péptidos bioactivos. Los resultados mostraron un contenido proteico superior al 45% en base seca, con una composición balanceada de aminoácidos esenciales. Asimismo, los extractos presentaron una notable capacidad de eliminación de radicales libres (DPPH y ABTS), lo que evidencia su potencial como ingrediente funcional. Estos hallazgos demuestran que la biomasa de levadura, tratada con tecnologías de extracción adecuadas, puede ser aprovechada como suplemento proteico de alto valor nutricional y funcionalidad biológica, constituyendo un antecedente relevante para el desarrollo de alimentos sostenibles y enriquecidos.

El estudio de Brassesco *et al.*, (2024) utilizaron levadura cervecera residual como materia prima, sometida a un proceso de autólisis controlada a 50 °C durante 24 h para liberar proteínas y péptidos. Posteriormente, se aplicó ultrafiltración con membranas de 10 y 40 kDa. La metodología incluyó análisis proximales (proteínas, lípidos y cenizas), determinación de aminoácidos esenciales y pruebas funcionales. También se evaluó la actividad antioxidante mediante ensayos de radicales libres y la estabilidad térmica de las fracciones. Los resultados mostraron que RUF10 presentó mayor contenido proteico y mejores propiedades funcionales que las demás fracciones. En la etapa aplicada, estas proteínas se incorporaron en la formulación de crackers, evaluando su textura, color y aceptabilidad sensorial. Se observó un aumento del valor

nutricional sin comprometer significativamente las propiedades organolépticas del producto. Los autores concluyeron que la levadura cervecera residual es una fuente viable de ingredientes funcionales. Finalmente, el estudio demuestra su potencial para el aprovechamiento industrial en el desarrollo de alimentos fortificados.

Łukaszewicz *et al.*, (2024) mencionan que la biomasa de levadura cervecera es un subproducto que alcanza 4.3 millones de toneladas anuales. Su composición incluye 41–49% de proteínas en base seca. Para su aprovechamiento se emplea la autólisis, incubando a 50 °C, pH 5, por 24 horas. Este proceso se optimiza con adición de NaCl, etanol o proteasas comerciales. También se aplican técnicas de ruptura mecánica, como sonicación y molienda con perlas. Posteriormente, se realiza fraccionamiento para obtener β -glucanos por extracción alcalina, ácida o con agua caliente. Se aíslan además proteínas y nucleótidos con aplicaciones como saborizantes y suplementos. Los derivados muestran propiedades bioactivas, como efecto antioxidante y antihipertensivo. En alimentación animal, adiciones de 1–5% mejoran la salud intestinal y parámetros productivos. Se concluye que la valorización de levadura residual es una alternativa sostenible para generar productos de alto valor agregado a partir de residuos cerveceros.

Delphine *et al.*, (2023) analizaron la levadura residual de cervecería mediante métodos proximales, cromatografía y espectroscopía para caracterizar su valor nutricional. Se determinó un contenido proteico de 46.77% con alto aporte de aminoácidos esenciales, excepto metionina y cisteína. Los minerales representaron 7.3%, predominando Na, K y Mn. El perfil vitamínico mostró predominio de complejo B, además de trazas de A, C y D. El contenido lipídico fue bajo (<3%), compuesto por ácidos grasos palmítico, oleico y linoleico. También se detectaron

polifenoles con actividad antioxidante significativa. Los resultados evidencian que la biomasa es una fuente alternativa de proteínas, minerales y compuestos bioactivos. Se concluye que su aprovechamiento es viable en alimentación animal como suplemento nutricional.

Oliveira *et al.*, (2022) evaluaron la recuperación de proteínas de la levadura cervecera residual mediante hidrólisis enzimática y separación por membranas. Se aplicó un pretratamiento mecánico seguido de hidrólisis con proteasas bajo condiciones óptimas de pH 7, 50 °C y 4 h de reacción. Los hidrolizados fueron fraccionados mediante ultrafiltración con membranas de 3, 10 y 30 kDa. Se analizaron el contenido de proteínas solubles, perfil de aminoácidos y capacidad antioxidante (DPPH y ABTS). Los resultados mostraron que la hidrólisis enzimática incrementó significativamente la solubilidad proteica. Además, se obtuvieron péptidos de bajo peso molecular con elevada actividad antioxidante. El contenido proteico de los extractos superó el 50% en base seca. Estos hallazgos demuestran la eficacia de la hidrólisis enzimática en la valorización de biomasa de levadura. En consecuencia, el proceso constituye una alternativa viable para obtener suplementos proteicos funcionales y sostenibles.

Sceni (2021) estudió el efecto de la homogeneización a alta presión y el tratamiento térmico para producir una ruptura celular en la levadura *Saccharomyces cerevisiae* y así liberar sus componentes intracelulares y obtener una composición enriquecida en proteína. La levadura fue sometida a diferentes presiones entre 750 bar hasta 1500 bar y un tratamiento térmico a 90 °C, El tratamiento térmico realizado previo a la homogenización aumento la resistencia de las células a romperse; y utilizar presiones mayores a 1000 bar provocó una mayor micronización de la pared celular. Los resultados mostraron un contenido de proteínas solubilizadas entre 1.5 y 2.5 g/L en las dispersiones obtenidas. Se llegó a la conclusión que la combinación de tratamientos

térmicos y de homogeneización a alta presión permite obtener dispersiones enriquecidas en proteínas solubles provenientes de la levadura.

Bertolo *et al.*, (2021) estudiaron la valorización de la levadura cervecera residual de *Saccharomyces pastorianus* para la obtención de proteínas y péptidos bioactivos. El proceso consistió en la autólisis celular combinada con hidrólisis enzimática, evaluando diferentes condiciones de tiempo y temperatura. Posteriormente, los extractos proteicos fueron caracterizados mediante espectroscopía FTIR, SDS-PAGE y análisis de aminoácidos. Se determinó un contenido proteico total de 48.6% en base seca, con una alta proporción de aminoácidos esenciales. Los hidrolizados presentaron péptidos de bajo peso molecular con notable capacidad antioxidante y actividad antimicrobiana frente a bacterias patógenas. La digestibilidad *in vitro* de las proteínas se incrementó significativamente tras la hidrólisis, alcanzando valores cercanos al 90%. Los autores demostraron que la combinación de autólisis y tratamiento enzimático constituye una estrategia eficaz para valorizar este subproducto cervecero. Estos hallazgos refuerzan su potencial como suplemento alimenticio proteico y funcional.

Biz *et al.*, (2020) propusieron evaluar la influencia de la cinética de la ruptura celular sobre la cinética de secado de la biomasa de levadura residual usando dos modelos matemáticos; asimismo, verificar la influencia de la ruptura celular sobre la cantidad de proteína con dos métodos (autólisis y ultrasonido). La biomasa de levadura fue obtenida de una cervecería ubicada en Brasil, la muestra extraída fue centrifugada dos veces para obtener una levadura libre de impurezas, fueron divididas en dos partes. Una parte fue tratada para obtener levadura autolizada químicamente y la otra parte fue tratada por el método físico de ultrasonido. Por último, al obtener los productos se utilizó el método de liofilización para secar la levadura y cuantificar la

cinética de secado. Estos autores llegaron a la conclusión que las diferentes formas de autólisis no afectan significativamente en el proceso de secado y además los modelos matemáticos de Lewis y Page mostraron similitud con los datos obtenidos experimentalmente.

Jacob *et al.*, (2019) propusieron investigar cuatro cepas de levaduras *Saccharomyces (cerevisiae, pastorianus, ludwigii, fibuligera)* y dos cepas comerciales (*Brettanomyces bruxellensis, Torulaspora delbrueckii*) para determinar la composición general de nutrientes proteína total, grasa y ceniza; así como, aminoácidos y vitaminas a partir de un concentrado de mosto de malta esterilizado, lupulado y estandarizado (N53940; Döhler GmbH, Darmstadt, Germany). Primero iniciaron elaborando cerveza a nivel de laboratorio estandarizado para recoger la levadura de la primera fermentación y darle un pretratamiento de lavado para eliminar componentes residuales, seguidamente se utilizaron dos métodos de ruptura celular (sonotrodo ultrasónico y autólisis estándar). Después de los análisis realizados se observó que la cepa *S. fibuligera* mostró alto contenido de proteínas con un valor de 598 mg/g de extracto de levadura, seguida de la *S. ludwigii* con 574 mg/g; mientras que las *S. cerevisiae* y *S. pastorianus* contenían menos de 500 mg/g. Este estudio demostró que la biodiversidad de residuo de levadura obtenida a partir de la producción de cerveza tiene relación directa en la composición del extracto de levadura.

La investigación realizada por Alpízar (2010) tuvo como principal objetivo desarrollar y evaluar dos productos de levadura a partir de los desechos de la producción de etanol, con el propósito de mejorar el valor nutricional sin deteriorar su calidad sensorial. La producción de levadura seca inactiva y el extracto de levadura siguió la metodología de tres decantaciones consecutivas para su extracción, secado con aire caliente acompañado de molienda para romper

la pared celular y de esa forma obtener el producto en polvo. Los resultados obtenidos indicaron que los productos elaborados (pan y galletas) con los derivados de levadura presentaron un mayor contenido proteico y un perfil aminoacídico adecuado para ser utilizados como ingredientes en la industria alimentaria. Además, la levadura seca inactiva contenía un 40.4% de fibra y un 31.8% proteína, mientras que el extracto de levadura contenía un 26.7% de fibra y un 32.3% de proteína.

En el estudio de Lange & Heijnen, (2001) la cepa de *Saccharomyces cerevisiae* fue cultivada en un chemostato bajo limitación de glucosa, operando a temperatura constante (30 °C), pH controlado (pH 5.0) y condiciones aeróbicas con flujo continuo que garantizaba oxigenación suficiente y estado estacionario. Las células se cultivaron en condiciones estables hasta lograr balances precisos de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y otros elementos. Se realizaron análisis elementales por combustión y determinación de cenizas para cuantificar C, H, O, N y minerales, y análisis moleculares para proteínas, carbohidratos, lípidos, ARN y ADN. Estos datos fueron reconciliados mediante estadística de máxima verosimilitud, corrigiendo errores y armonizando ambas fuentes informativas. La inclusión de aproximadamente 4% de agua en la biomasa seca fue determinante para ajustar los resultados. El carbono reconciliado varió apenas un 4% respecto al valor original de los datos moleculares. Este enfoque robusto permitió derivar una fórmula empírica confiable de la biomasa celular, útil en balances de masa y energía en bioprocesos.

Otero *et al.*, (2000); desarrollaron una tecnología para la utilización integral de la levadura de cerveza en la industria alimenticia, obteniendo así cinco productos nutricionales. La levadura fue extraída del proceso de fermentación de la firma Brahma (Brasil), fue desamargada

por lavado con agua para luego pasar por centrifugación o secado por tambor. Terminado el proceso se llevó a un análisis de proteínas, humedad, ácidos nucleicos, carbohidratos y lípidos. Llegaron a la conclusión de que la producción de aditivos alimentarios a partir de levaduras de cerveza es técnica y económicamente viable con un rendimiento del 53%; y se obtienen productos de aplicación en la industria alimenticia con propiedades similares a otros establecidos en el mercado, utilizados como suplementación nutricional y potenciador de sabor.

2.1.1. Marco teórico conceptual

2.1.2. Proceso productivo de cerveza artesanal

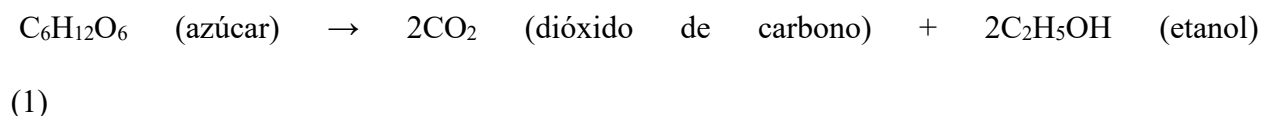
2.1.2.1. Proceso productivo general para la obtención de cerveza artesanal

La cerveza es esencialmente el resultado final de la acción de la levadura sobre el extracto de malta de cebada durante la fermentación. Aunque la malta y la levadura influyen significativamente en el carácter de la cerveza, su identidad y calidad están determinadas en gran medida por el agua y el lúpulo utilizados en la producción (Huxley, 2006).

Existen ocho etapas para la producción estándar de cerveza artesanal estos son: molienda, maceración, separación del mosto, ebullición, enfriamiento, fermentación, acondicionamiento y envasado (Barth, 2013).

El macerado es el tratamiento de la malta ya molida con agua caliente, donde se convierte el almidón en azúcares simples. Durante la cocción el mosto dulce es llevado a ebullición, en esta parte del proceso se agrega el lúpulo y se esteriliza el mosto, se coagula proteínas y se fija el color (Ferreyra, 2020).

En el enfriado el mosto caliente pasa por un intercambiador de calor de placas o tubos, se debe enfriar rápidamente para evitar que se contamine con levaduras silvestres y minimizar los defectos en el sabor. Las proteínas restantes se eliminan en esta etapa y se clarifica el mosto. La fermentación es el proceso más importante, donde el mosto frío es trasvasado a un fermentador añadiendo oxígeno para que la levadura metabolice sistemáticamente los componentes en etanol, dióxido de carbono y otros subproductos para producir cerveza (Stewart, 2016). La reacción química es la siguiente expresada en la Ecuación 1:



En el acondicionamiento la cerveza generalmente tarda dependiendo del estilo y cepa de levadura, luego de este paso la cerveza ya madura se filtra o se centrifuga para remover levaduras y/o partículas en suspensión. En algunas cervecerías se omite el filtrado y pasa directamente al envasado.

Existen dos métodos de carbonatación, la primera es utilizando dextrosa para una carbonatación natural y la segunda es la carbonatación forzada donde se utiliza dióxido de carbono, para añadir la espuma característica a la cerveza.

2.1.2.2. Proceso productivo general para la obtención de cerveza artesanal en la cervecería

Cusco Beer Company S.A.C.

El proceso de producción de cerveza artesanal en la empresa Cusco Beer Company como se observa en la Figura 1 inicia con la ruptura del grano de malta base y maltas especiales dejando al descubierto el endospermo para extraer la mayor cantidad de azúcares. Posteriormente se produce el mosto, éste se obtiene sometiendo la malta a maceración con agua caliente a

temperaturas entre (63 – 70 °C), en este proceso las enzimas convierten el almidón en azúcares fermentables, se filtra para separar la parte sólida de la líquida, obteniendo el bagazo por un lado y el mosto por otro.

Después, el mosto se lleva a ebullición (cocción) a una temperatura de 93 °C por una hora y media, el estar sometido a temperaturas elevadas tiene un efecto esterilizante; durante este tiempo se adiciona el primer agregado de lúpulo que aporta amargor a la cerveza. El segundo agregado de lúpulo se adiciona pasado la primera hora de ebullición con el fin de generar aromas al producto.

A continuación, sigue el enfriado donde la temperatura del mosto se reduce a una temperatura final entre 18°C – 20 °C donde se brinda las condiciones adecuadas a las levaduras seleccionadas durante la etapa de fermentación y coagular las proteínas para obtener un mosto claro.

El proceso de fermentación se lleva a cabo en un fermentador cerrado con base cónica. El tiempo de fermentación depende del estilo de cerveza; en el caso de las cervezas Ale, este suele oscilar entre 7 y 10 días, mientras que para los estilos Lager el periodo de fermentación generalmente se encuentra entre 10 y 14 días. Después del tiempo de fermentación se lleva a madurar a una cámara de frío para sedimentar compuestos en suspensión y atenuar aromas que no son parte del producto. La filtración se realiza con el principal propósito de clarificar la cerveza y evitar que haya presencia de sedimento dentro de las botellas. Además, se previene la producción de sabores no deseados y se eliminan residuos; en este proceso se utiliza un equipo de filtros Jolly. La cerveza ya filtrada es almacenada en barriles de 30 L de capacidad dentro de la cámara de frío a temperaturas bajas de 4.5 °C. En este punto, una parte del producto se deja

almacenado en barriles y lo restante se envasa en botellas. En ambos casos se utiliza el método de carbonatación forzada para carbonatar el producto. De la misma forma en la Figura 1 muestra el diagrama de bloques del proceso realizado en la empresa Cusco Beer Company S.A.C. y la Figura 2 se detalla el diagrama de flujo del proceso de la misma

Figura 1

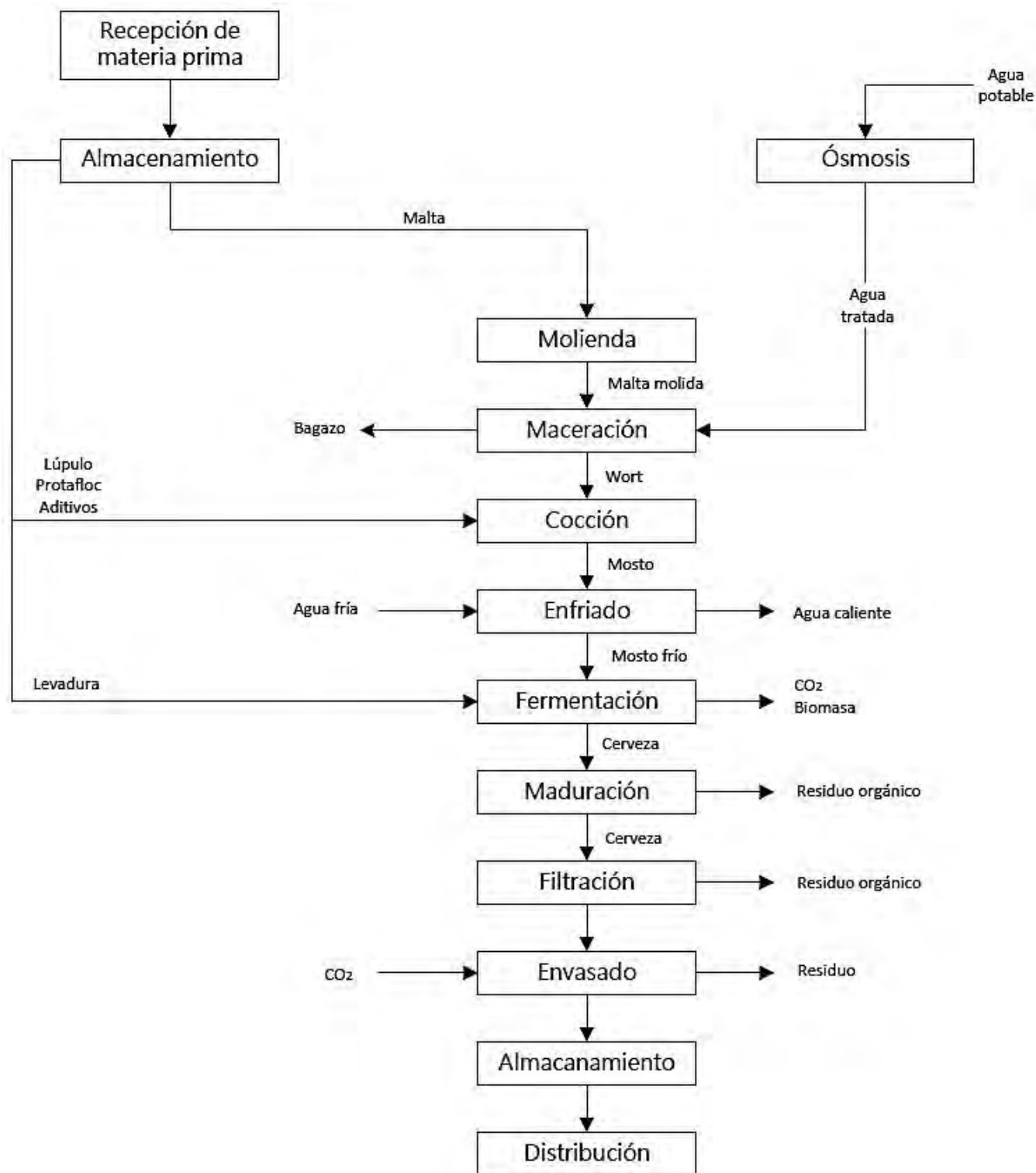
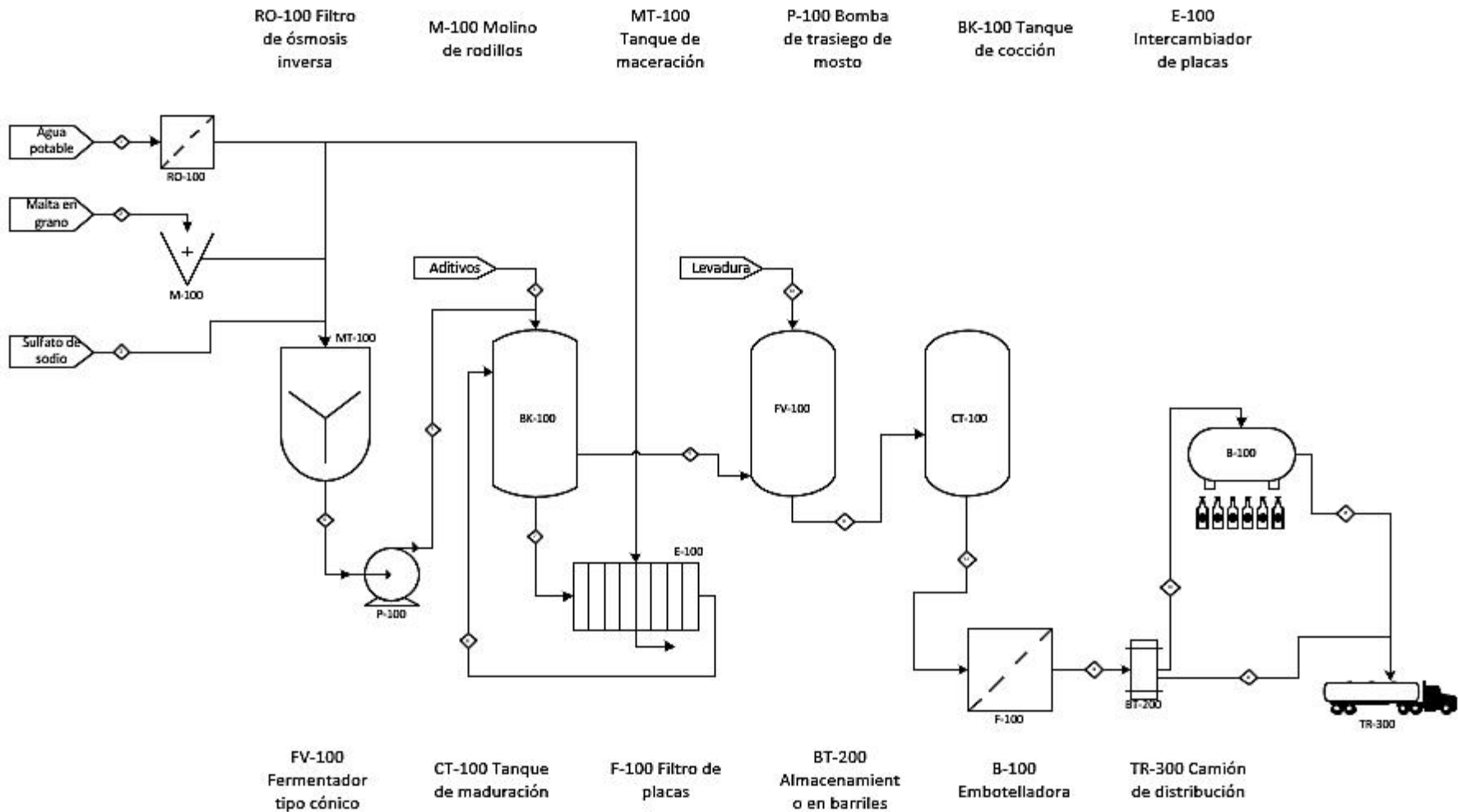


Diagrama de bloques de la empresa Cusco Beer Company S.A.C.

Figura 2

Diagrama de flujo de proceso de la empresa Cusco Beer Company S.A.C.



2.1.3. Fermentación

La fermentación de azúcares de malta en cerveza es un proceso bioquímico complejo donde la levadura se alimenta del azúcar del mosto y así obtener energía para sus procesos vitales, algunos expertos dividen la fermentación en tres o más fases: Lagtime o adaptación, crecimiento y fermentación, y sedimentación o acondicionamiento (Ferreyra, 2020; Palmer, 2017; White y Zainasheff, 2010); sin embargo, decir que la actividad de la levadura está en una fase u otra no es completamente correcta debido a que las células individuales se desarrollarán a través de la fermentación a diferentes ritmos.

2.1.3.1. Fase de adaptación

Esta fase comienza dentro de las primeras horas después de la inoculación. La levadura comienza a ajustarse a las condiciones del mosto absorbiendo oxígeno, minerales y aminoácidos para facilitar sus procesos de crecimiento (White y Zainasheff, 2010); lo que permite que la pared celular sea permeable. En esta etapa la levadura produce una mínima cantidad de etanol, asimismo, requiere un mosto rico en oxígeno para que se adapte en el menor tiempo posible y comience la fase de crecimiento (Huxley, 2006).

2.1.3.2. Fase de crecimiento exponencial y fermentación

Durante esta fase la cantidad de levadura aumenta de forma exponencial hasta terminar de consumir el oxígeno presente. Posteriormente, la fase de fermentación cambia de ruta y metaboliza los azúcares más simples: glucosa, fructosa y sacarosa para generar dióxido de carbono y alcohol (White y Zainasheff, 2010).

2.1.3.3. Fase estacionaria

Esta fase tarda en culminar entre 3 a 10 días (Palmer, 2017). La reproducción de levadura disminuye y entra en fase estacionaria. Además, comienza a flocular y reducir los remanentes fermentables como el diacetilo, acetaldehído, sulfuro de hidrógeno y alcoholes superiores en los últimos días del proceso de fermentación.

2.1.4. Levadura de cerveza

2.1.4.1. Historia de la levadura

La historia de la levadura es sinónimo de la evolución del pan, cerveza y vino como productos alimenticios y bebidas globales que se originaron hace unos 5000 años (Querol y Fleet, 2006). Los primeros estudios comenzaron a mediados del siglo XVII con las primeras observaciones de levadura por Antoine Van Leeuwenhoek, quien tuvo los primeros avances del desarrollo del microscopio (Eßlinger, 2009); asimismo, otro siglo más tarde, Antoine-Laurent Lavoisier describió la naturaleza química de la fermentación como partes de azúcar convirtiéndose en dióxido de carbono y alcohol (etanol).

En 1837, Theodor Schwan gracias a sus experimentos con zumo de uva esterilizado encontró pequeños elementos proliferantes y concluyó que estos elementos eran organismos vivos a los cuales nombró hongos de azúcar; Meyen continuó con los estudios y denominó a estos microorganismos *Saccharomyces* (Eßlinger, 2009).

Los estudios se mantuvieron vigentes hasta que las investigaciones de Pasteur y Hansen durante 1850-1900 protagonizaron los inicios de la microbiología y bioquímica (Querol y Fleet,

2006). Entre 1855 y 1876, Luis Pasteur publicó su teoría de la fermentación y distingue entre la utilización aeróbica y anaeróbica de los azúcares por las levaduras.

Por su parte Hansen en colaboración con la cervecería Carlsberg aislaron la primera cepa de levadura lager adaptando los métodos de Robert Kosh; su trabajo permitió almacenar y trabajar con cultivos puros libres de otros microorganismos (Eßlinger, 2009; White y Zainasheff, 2010).

Desde entonces se ha continuado con diferentes investigaciones relacionadas con la levadura proporcionando importantes avances sobre la genómica y fisiología de la levadura. Además, es el primer organismo celular en ser completamente descodificado. Hoy en día, el impacto de las levaduras en la producción de alimentos y bebidas se extiende más allá de las nociones de las fermentaciones del pan, cerveza y vino; sino también contribuyen a la fermentación de una amplia gama de otros productos, donde varias especies de levadura pueden trabajar en conjunto con bacterias y hongos filamentosos. Muchos ingredientes alimentarios valiosos y coadyuvantes de procesamiento ahora se derivan de levaduras.

2.1.4.2. Definición

La levadura es un microorganismo eucariota unicelular perteneciente al reino fungi y se utiliza en la industria alimentaria para la fermentación de diversos productos, especialmente en la fabricación de pan, cerveza y vino (Kunze, 2006). La tabla 1 muestra la taxonomía de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

Tabla 1***Taxonomía de la levadura *Saccharomyces cerevisiae****

Categoría taxonómica	Clasificación
Dominio	Eukaryota
Reino	Fungi
Filo	Ascomycota
Subfilo	Saccharomycotina
Clase	Saccharomycetes
Orden	Saccharomycetales
Familia	Saccharomycetaceae
Género	<i>Saccharomyces</i>
Especie	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>

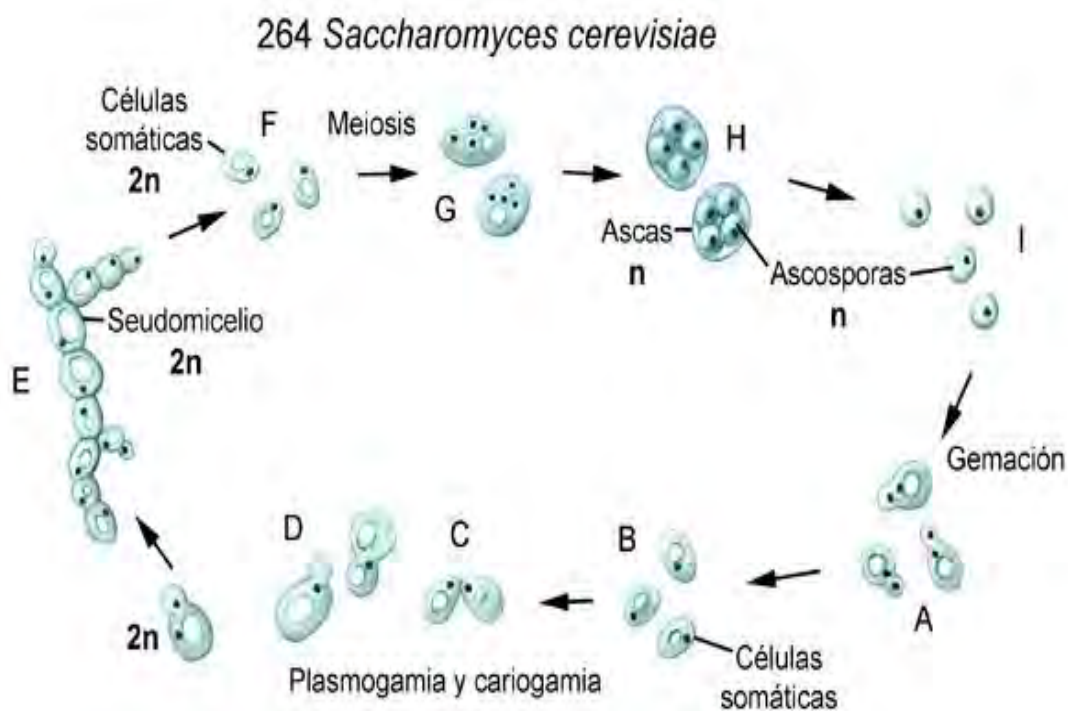
Fuente. Walker y Stewart, (2016); Kumar et al., (2023)

Según Suárez *et al.*, (2016) la palabra *Saccharomyces cerevisiae* proviene del vocablo *Saccharo* (azúcar), *myces* (hongo) y *cerevisiae* (cerveza). En la ciencia de alimentos, la levadura se define como un agente biológico que descompone los azúcares en dióxido de carbono, alcohol y otros compuestos.

Como se muestra en la Figura 3, las levaduras se reproducen de forma asexual por gemación o brotación y sexualmente mediante ascosporas o basidiósporas (Achigar, 2017). Son capaces de crecer como anaerobios facultativos: en presencia de oxígeno realizan la respiración aeróbica produciendo agua y CO₂, pero si carecen de oxígeno se produce la fermentación produciendo etanol y dióxido de carbono (Achigar, 2017; Ferreyra, 2014; Kunze, 2006).

Presentan un rango de tolerancia de pH entre 2 a 8 para crecer y trabajan generalmente a temperaturas de 0 °C a 50 °C; sin embargo, las condiciones óptimas para un mejor crecimiento se encuentran en un rango de temperatura entre 20 °C a 30 °C y un pH 6 (Achigar, 2017).

Figura 3



Reproducción de la célula de levadura

Fuente. Ulloa, (2015).

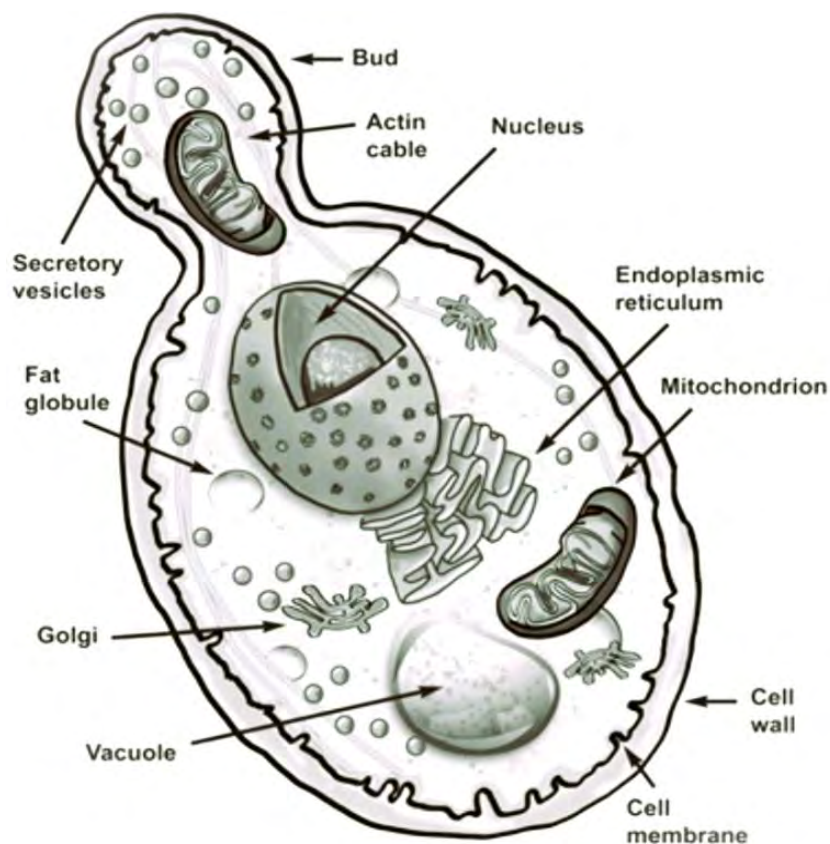
2.1.4.3. Morfología

La levadura *Saccharomyces cerevisiae* es un organismo pequeño y unicelular, generalmente son de forma circular y ovoide, pero también se observan elípticas o cilíndricas.

Tienen un tamaño aproximado de entre 2.5 a 10 micras de diámetro y de 4.5 a 21 micras de longitud y un tamaño de 1 a 5 micras de ancho (García, 2004; Meledina *et al.*, 2021).

Los componentes macroscópicos como se muestra en la Figura 4 constan de mitocondrias, núcleo con nucléolo, retículo endoplasmático, ribosomas, aparato de Golgi, membrana citoplasmática, lisosomas y glicosomas. Los componentes submicroscópicos contienen a las grasas, polifosfatos y glucógeno; estos componentes son sustancias de reserva temporales.

Figura 4



Estructura de una célula de levadura en sección transversa

Fuente. Meledina *et al.*, (2021).

a. Pared celular

La pared celular está compuesta entre un 30 a 60 % de polisacáridos, 15 a 30 % de proteínas, y un 5 a 20 % lípidos.

Es una barrera gruesa de hidratos de carbono responsable de proteger al citoplasma de efectos externos, proporciona la forma a la célula y de igual modo, actúa como una pantalla contra moléculas grandes, dándoles más probabilidades a las levaduras de sobrevivir (Eßlinger, 2009; Meledina *et al.*, 2021; White & Zainasheff, 2010).

b. Membrana celular

Es una bicapa lipídica entre la pared celular y el interior de la célula; participa en el transporte de sustancias y crea una barrera osmótica de lo que entra y sale de la célula. Los lípidos, esteroides y proteínas forman esta membrana y le dan fluidez, flexibilidad y la capacidad de brotar para formar una nueva célula hija (Meledina *et al.*, 2021; White y Zainasheff, 2010).

c. Citoplasma

Es un fluido acuoso donde se encuentran varios orgánulos, proteínas resueltas, glucógeno y partículas lipídicas. Es una mezcla compleja de sustancias disueltas en agua y contiene las enzimas involucradas en la fermentación anaeróbica, así como diversas actividades celulares como la síntesis de proteínas, transporte de sustancias y generación de energía (Stewart, 2016; White y Zainasheff, 2010).

d. Mitocondrias

Ayudan en la síntesis de ácidos grasos, en la síntesis del ergosterol y modifica la superficie celular para que se lleve a cabo la circulación. También debido a sus pliegues internos

permiten una mayor recepción de enzimas respiratorias y en consecuencia una mayor síntesis de ATP (Meledina *et al.*, 2021).

e. Vacuolas

Se forman a partir del retículo endoplasmático, regulan la presión osmótica en células adultas y se expande más por el estrés que sufren las levaduras (Meledina *et al.*, 2021).

f. Aparato de Golgi

Desempeña un papel crucial en la modificación de proteínas; así como, en el transporte y la secreción de moléculas en la célula para contribuir en el funcionamiento y la homeostasis celular (Meledina *et al.*, 2021; White y Zainasheff, 2010).

g. Núcleo

Tiene forma redondeada y desempeña funciones genéticas de información y funciones metabólicas, almacena el ADN, que es el principal componente del núcleo; además, presenta tres tipos de ARN (Meledina *et al.*, 2021).

2.1.4.4. Nutrición

En la producción de cerveza, el mosto representa una fuente rica en nutrientes necesarios para la levadura porque no solo requieren de glucosa como fuente de carbono principal, sino que también precisan de otros micro y macro nutrientes (aminoácidos, vitaminas, minerales) para poder tener una adecuada reproducción de la biomasa (Alpízar, 2010; Huxley, 2006).

Asimismo, los requerimientos nutricionales que la levadura necesita varían según las condiciones del cultivo, la cepa, el metabolismo energético y la materia prima a fermentar.

a. Carbohidratos

Los azúcares son la principal fuente de carbono que las levaduras utilizan para la generación de energía; el mosto generalmente está compuesto por fructosa, glucosa, sacarosa, maltosa, maltotriosa, rafinosa y dextrinas (Thompson, 2004; White y Zainasheff, 2010).

El glucógeno es otro importante carbohidrato que genera la levadura durante las últimas etapas de anaerobiosis con el fin de obtener reservas de energía (Eßlinger, 2009).

b. Nitrógeno

El mosto debe de contener por lo menos 140 mg de fuentes de nitrógeno (proteínas y aminoácidos) por litro para la síntesis de proteínas estructurales, enzimas, ácidos nucleicos y nucleótidos (Thompson, 2004; Meledina *et al.*, 2021). Estos compuestos de nitrógeno deben de ser de bajo peso molecular.

Según Bokulich y Bamforth (2017) los aminoácidos se eliminan del mosto de acuerdo al siguiente orden:

Grupo A: glutamina, glutamato, asparagina, aspartato, serina, treonina, lisina.

Grupo B: valina, metionina, leucina, isoleucina, histidina.

Grupo C: glisina, fenilalanina, tirosina, triptófano, alanina.

Grupo D: prolina.

c. Vitaminas

Las vitaminas se utilizan como componentes de los cofactores, es decir, desempeñan un papel crucial al interactuar con enzimas y facilitar procesos metabólicos esenciales en el

organismo (Eßlinger, 2009; Thompson, 2004). Como se muestra en la Tabla 2, las vitaminas más utilizadas son la biotina, ácido pantoténico, tiamina, inositol.

Tabla 2

Factores de crecimiento (vitaminas) de la levadura de cerveza

Vitamina	Contenido de vitamina, Mg/100 de MS	Papel en la regulación del estado fisiológico de la levadura
Tiamina	8 - 15	Estimula la fermentación alcohólica, participa en la síntesis de biomasa.
Ácido pantoténico	2 - 20	Participa en la síntesis de ácidos grasos insaturados, esteroides.
Biotina	0.1 – 1.0	Regula el metabolismo de carbohidratos, nitrógeno y grasas de la levadura, sin ella son incapaces de crecer y multiplicarse.
Inositol	200 - 500	Regula la síntesis de las membranas lipídicas, el crecimiento y la multiplicación de las células.

Nota. MS (materia seca). *Fuente.* Meledina *et al.*, (2021).

d. Minerales y oligoelementos

Eßlinger (2009) menciona que los minerales y oligoelementos desempeñan un papel importante para la fisiología de las células de levadura, la integridad estructural, la expresión genética, la división celular, la ingesta de nutrientes, la actividad enzimática y otros más.

En la Tabla 3 se presentan algunos de los oligoelementos necesarios.

Tabla 3***Oligoelementos necesarios en la vida de las levaduras***

Microelementos	Rol
Cu	En pequeñas cantidades estimula la gemación celular, necesario para la síntesis de varias enzimas respiratorias, aumenta la actividad de fermentación de la levadura.
K	Es esencial para la osmorregulación y está estrechamente relacionado con la velocidad de fermentación y crecimiento de la levadura.
Mg	Mantiene la viabilidad y vitalidad de las células, y ejerce un efecto protector al estrés del etanol.
Fe	Es altamente tóxico para la levadura, pero en pequeña cantidad (hasta 0,2 mg/l) estimula la gemación celular y es necesario para la síntesis de una serie de enzimas respiratorias.
Mn	Activa numerosas enzimas, como las descarboxilasas, deshidrogenasas, quinasas, oxidasas, peroxidasas, peptidasas, etc.
Zn	Estimula la multiplicación de las células y activa numerosas enzimas de las células de levadura. También facilita la sedimentación de la levadura.

Fuente. Eßlinger, (2009); Meledina *et al.*, (2021).

e. Lípidos y oxígeno

La aireación del medio nutritivo se utiliza al comienzo de la fermentación o mientras se obtiene un cultivo de levadura puro durante la elaboración de la cerveza.

La presencia de oxígeno molecular es necesaria para el crecimiento anaerobio de *Saccharomyces cerevisiae*, que se utiliza para crear esteroides y ácidos grasos insaturados (Meledina *et al.*, 2021).

2.1.4.5. Metabolismo

Las diferentes reacciones químicas que se generan dentro de la célula de levadura son producto del metabolismo, generando y consumiendo energía (Tortora *et al.*, 2007). Tras la inoculación, las células de levadura utilizan sus reservas de glucógeno y oxígeno para metabolizar óptimamente los nutrientes del sustrato (Russell, 2003; White & Zainasheff, 2010).

El flujo de nutrientes a través de las vías metabólicas está influenciado por el genotipo de la levadura (Toribio, 2015).

Las levaduras, principalmente *Saccharomyces cerevisiae*, utilizan como fuente de carbono diversos azúcares presentes en el medio de cultivo, siendo la glucosa (dextrosa) y la sacarosa los más relevantes en procesos fermentativos e industriales. La glucosa es el monosacárido preferido por la levadura debido a su fácil transporte y rápida asimilación a través de transportadores de alta afinidad, lo que la convierte en un sustrato de consumo inmediato. Sin embargo, cuando se encuentra en altas concentraciones puede inducir el denominado efecto Crabtree, fenómeno metabólico en el cual la levadura, aun en presencia de oxígeno, prioriza la fermentación alcohólica sobre la respiración celular, produciendo etanol en lugar de biomasa (Fernández & Barreiro, 2023).

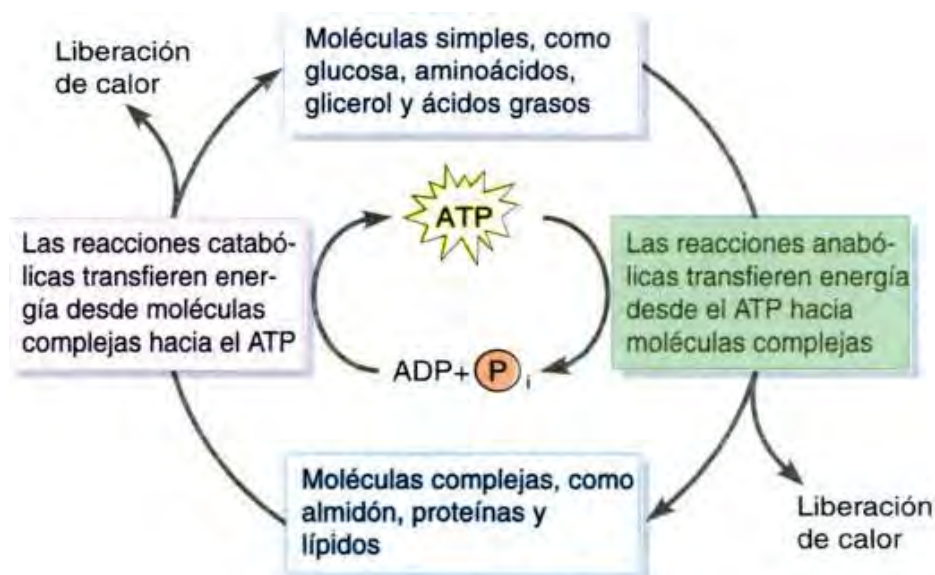
En contraste, la sacarosa, un disacárido compuesto por glucosa y fructosa, requiere de la acción de la enzima invertasa secretada por la levadura para su hidrólisis en monosacáridos

fermentables. Este proceso confiere al sustrato una liberación más gradual de azúcares simples, lo que permite un suministro energético sostenido durante el crecimiento (O'Rourke, 2021).

2.1.4.5.1. Anabolismo y catabolismo

Como se observa en la Figura 5, las reacciones anabólicas están acopladas con la degradación del ATP mientras que las reacciones catabólicas, con la síntesis de ATP. Russell (2003) y Tortora et al., (2007) indican que cuando hablamos de catabolismo, la levadura toma la energía necesaria de los azúcares que proporciona el sustrato para realizar las vías anabólicas.

Figura 5



Función del ATP en el acoplamiento de reacciones anabólicas y catabólicas

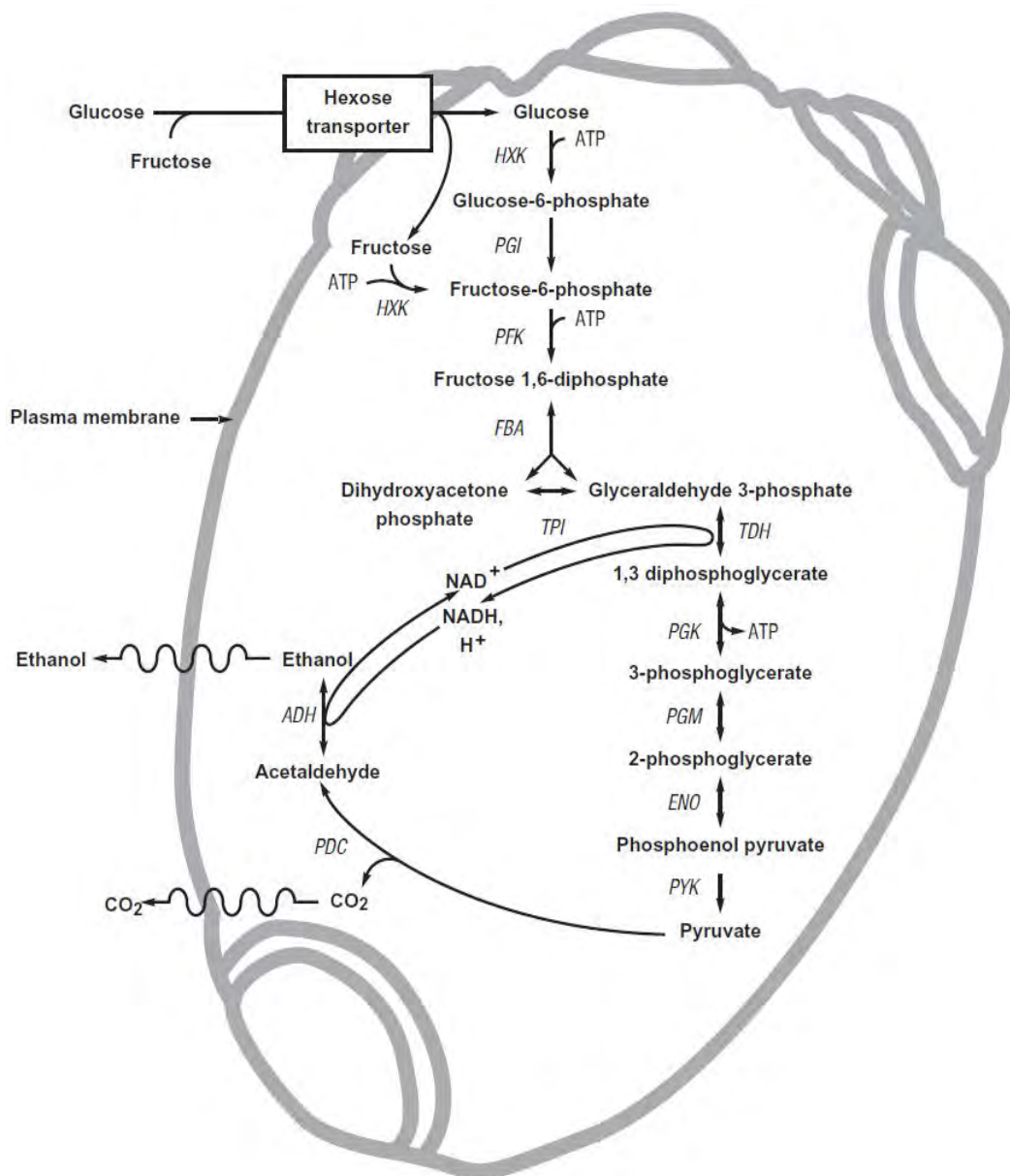
Fuente. Tortora et al., (2007).

2.1.4.5.2. Respiración y fermentación

Aeróbicamente, la levadura es capaz de utilizar azúcares en presencia de oxígeno y anaeróbicamente, cuando el oxígeno está excluido. El catabolismo es la descomposición aeróbica donde se produce más energía y se llama respiración. El catabolismo anaeróbico produce menos energía y se llama fermentación (Russell, 2003; Tortora *et al.*, 2007).

Según la Figura 6, el paso inicial para ambos procesos es la glucólisis, desde este punto las vías metabólicas siguen caminos diferentes. Durante la glucólisis, la glucosa se oxida para formar ácido pirúvico y cierta cantidad de ATP y NADH que contiene energía.

Figura 6



La vía glucolítica (Embden-Meyerhof-Parnas) para la utilización del azúcar

Fuente. Russell, (2003).

Según Alpízar (2010) y Tortora *et al.*, (2007) en la respiración celular se forma el dióxido de carbono mediante la oxidación del acetil coenzima A (acetil CoA) utilizando como ruta metabólica al ciclo de Krebs; asimismo, se produce cierta cantidad de ATP, NADH que contiene

energía; y un transportador de electrones que genera la mayor cantidad de ATP y también es responsable de la oxidación del NADH y FADH₂.

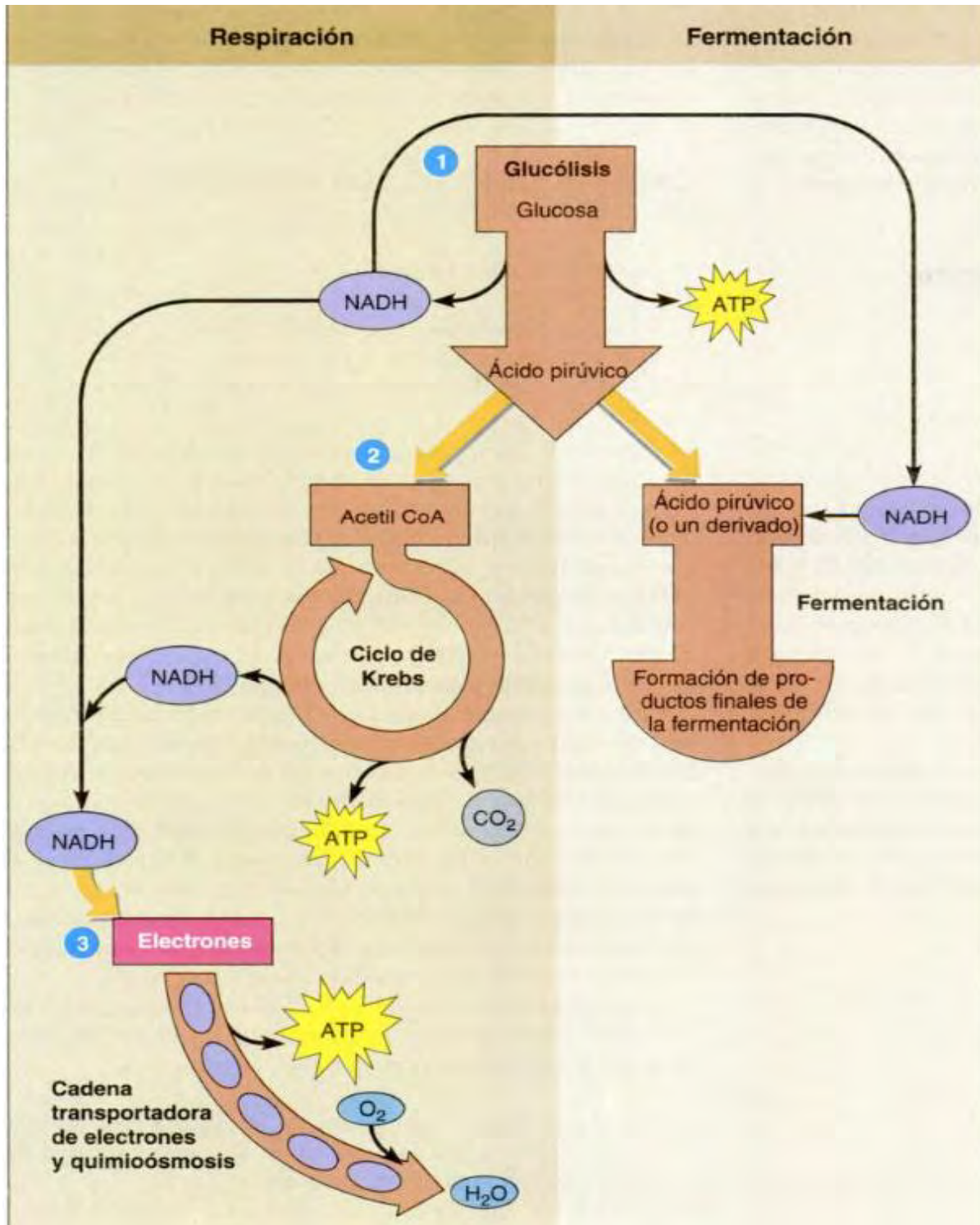
La fermentación es un proceso anaerobio donde la producción neta de ATP se da en la glucólisis es por ello que es menor, el ácido pirúvico producto de esta vía metabólica se convierte en etanol y dióxido de carbono (Alpízar, 2010; Kunze, 2006).

La vía respiratoria es más eficiente que la vía fermentativa por lo que suministrando la cantidad suficiente de oxígeno se logra obtener una suficiente cantidad de biomasa.

a. Glucólisis

La glucólisis es la principal ruta utilizada por las levaduras para el catabolismo de los azúcares, la Figura 7 muestra como una molécula de seis carbonos se divide en dos moléculas de tres carbonos, se libera energía y se produce dos moléculas de ácido pirúvico (Russell, 2003; Thompson, 2004). Estas reacciones de oxidación se realizan en el citoplasma y opera en condiciones aeróbicas y anaeróbicas, y es la vía por la cual el 70% de los hidratos de carbono son asimilados.

Figura 7



Esquema general de la respiración y fermentación

Fuente. Tortora et al., (2007).

b. Ciclo de Krebs

El ciclo de Krebs consiste en una serie de reacciones bioquímicas donde la gran cantidad de energía química potencial almacenado en el acetil CoA se libera en forma gradual (Tortora *et al.*, 2007).

El ácido pirúvico debe de pasar por un proceso de descarboxilación donde pierde una molécula de CO₂ y se convierte en un compuesto de dos carbonos (grupo acetilo) antes de ingresar directamente en el ciclo de Krebs (Eßlinger, 2009; Thompson, 2004; Tortora *et al.*, 2007).

En este ciclo por cada molécula de acetil CoA que ingresa en él, se liberan dos moléculas de CO₂ mediante la descarboxilación. Por medio de reacciones de oxidación y reducción se produce tres moléculas de NADH, una molécula de FADH₂ y se genera una molécula de ATP. Muchos de los productos intermedios del ciclo de Krebs también participan en otras vías metabólicas, sobre todo en la biosíntesis de aminoácidos y para crear biomoléculas importantes (Eßlinger, 2009; Tortora *et al.*, 2007).

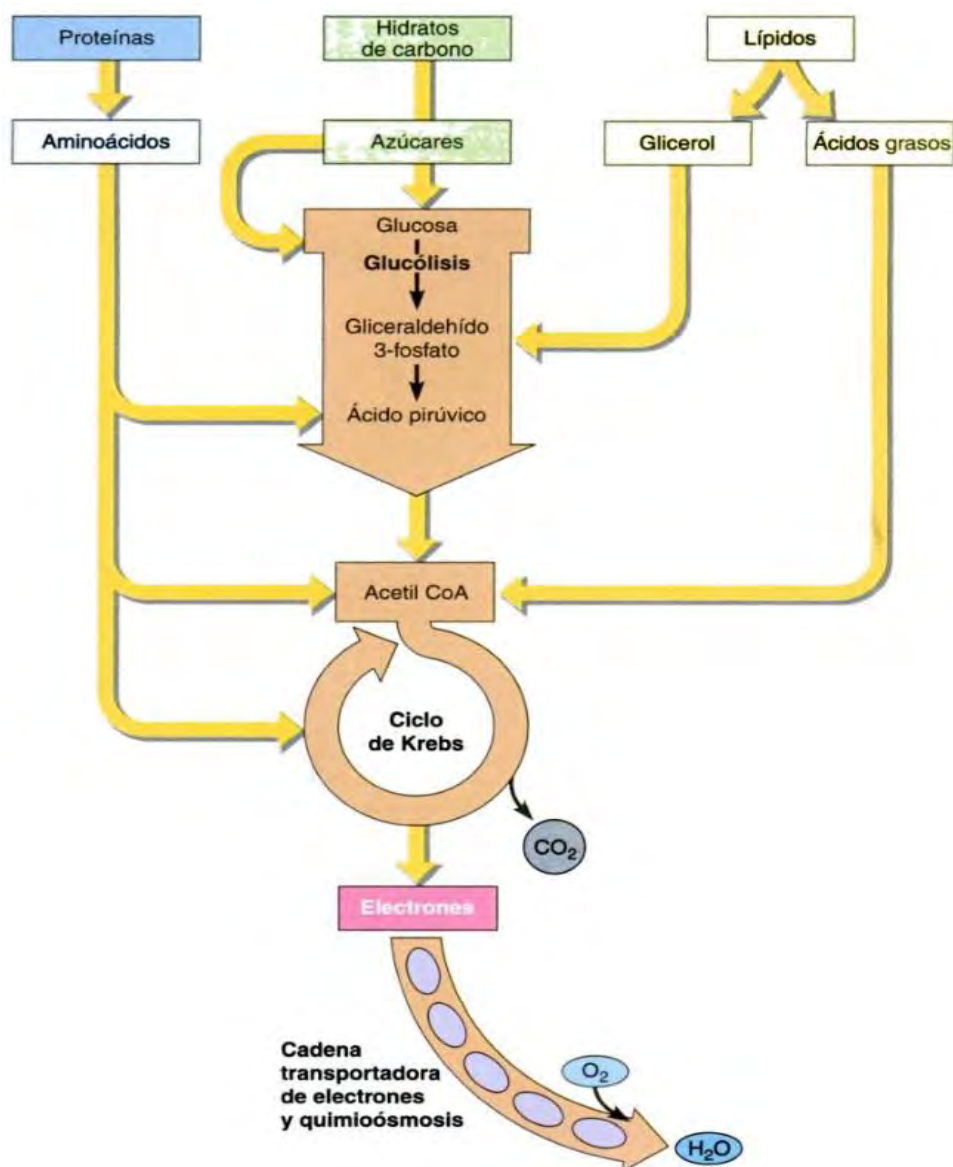
c. Transporte de electrones

La cadena de transporte de electrones es un sistema de proteínas y moléculas orgánicas que se encuentran en la membrana mitocondrial interna, se encarga de transferir electrones desde moléculas orgánicas al oxígeno.

El resultado es la acumulación de protones de un lado de la membrana lo que genera para la generación de ATP mediante el mecanismo quimiosmótico; también es el mecanismo responsable de la mayor generación de ATP (Tortora *et al.*, 2007).

La Figura 8 muestra la relación de los diferentes catabolismos de hidratos de carbono, lípidos y las proteínas que son fuentes de electrones y protones para la respiración ingresando al ciclo de Krebs en distintos sitios.

Figura 8



Catabolismo de distintas moléculas alimenticias orgánicas

Fuente. Tortora *et al.*, (2007).

2.1.4.6. Propagación de cultivo de levaduras

La propagación de la levadura consiste en aislar células apropiadas y fuertes para reproducirlas, bajo condiciones libres de contaminación, durante el tiempo necesario hasta que su cantidad sea suficiente para iniciar la fermentación (Kunze, 2006).

Los principales parámetros durante el proceso de propagación son la temperatura, el pH, el suministro de oxígeno y la composición del mosto. La aireación y la agitación dan como resultado un suministro ideal de oxígeno y nutrición para la levadura, que tienen como consecuencia una excelente calidad de levadura y un rendimiento elevado y reproducible (Eßlinger, 2009; Toribio, 2015).

2.1.4.6.1. Abastecimiento de oxígeno

Durante la propagación, la levadura puede mantenerse en la fase logarítmica mediante el suministro de oxígeno (Eßlinger, 2009), es importante debido a que la levadura es capaz de activar su metabolismo y formar nuevas sustancias celulares. El oxígeno también es requerido para la síntesis de esterinas y glucógeno que está ligada al crecimiento de levadura (Kunze, 2006).

2.1.4.6.2. Abastecimiento de aminoácidos y oligoelementos

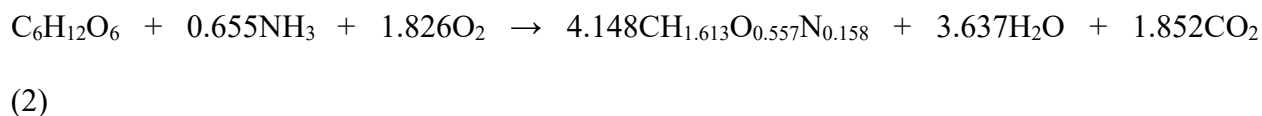
Las células necesitan mucho más aminoácidos y minerales. La cantidad de aminoácidos presente en el mosto es el limitante para tener una reproducción eficiente. El nitrógeno es un componente importante de los aminoácidos y nucleótidos, y para la producción de levadura (Häggström, 2008).

2.1.4.7. Reproducción de levaduras

La mayor parte de las fermentaciones industriales son procesos donde se utiliza cultivos de microorganismos específicos llamados cultivos iniciadores o “Starters”, la palabra anglosajona “starters” puede traducir como inóculo y está definido como preparaciones microbianas constituidas por un elevado número de células de un microorganismo en específico y que se añaden a sustrato para acelerar el proceso (Leroy & De Vuyst, 2004).

Los parámetros de mayor importancia para el proceso de reproducción celular por el método starter son: la temperatura del sustrato, nivel de aireación (oxígeno), pH del sustrato y composición del mosto (Albarracín, 2020; White & Zainasheff, 2010).

Battley (1999) presenta la Ecuación 2 del proceso de crecimiento aeróbico de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* representando todo en función a la fórmula del carbono unitario.



2.1.4.7.1. Aspectos prácticos

La propagación de levadura en un medio aerobio promueve el crecimiento de levadura y permite obtener mejores rendimientos. Las células de levadura se propagan sucesivamente en recipientes de diferentes tamaños hasta alcanzar el volumen y densidad celular adecuados para reproducirlos a nivel industrial (Albarracín, 2020; Kunze, 2006).

El contenido de azúcares del sustrato puede inhibir el crecimiento celular y activar la fermentación alcohólica, para evitar este proceso es importante airear las células y favorecer así la respiración y generación de biomasa.

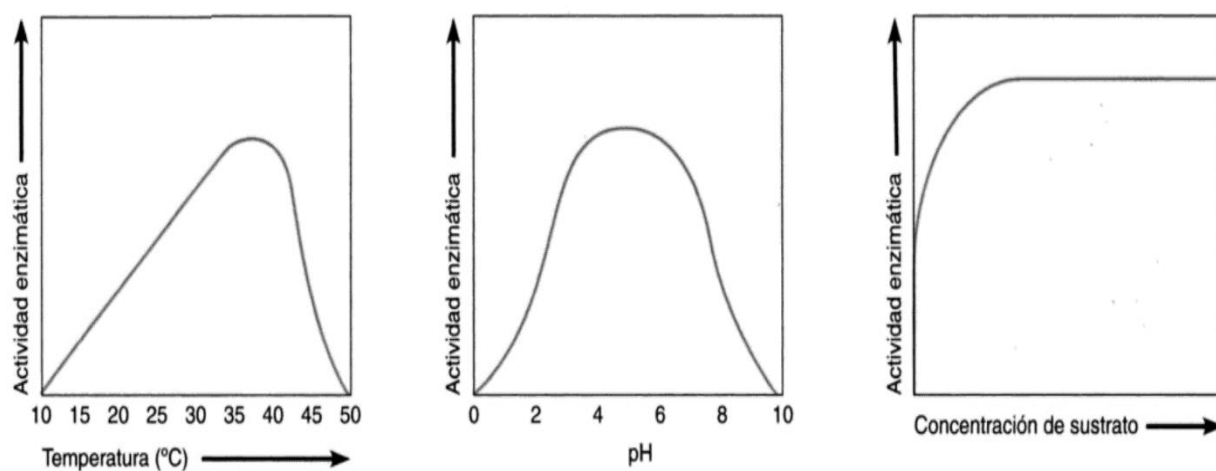
Se utiliza un mosto de densidad entre 1.040 a 1.090 y un crecimiento de 24 horas en presencia de oxígeno. Un mosto de muy baja densidad daría lugar a un crecimiento muy bajo, mientras que un mosto de alta densidad ofrecería un ambiente hostil a las levaduras lo que generaría un estrés osmótico en ellas (White & Zainasheff, 2010).

Existen diferentes maneras de añadir oxígeno, con agitador magnético, oxígeno puro, bomba de aire con filtro estéril y agitación intermitente. Este último es una técnica que consiste en suministrar oxígeno al medio de cultivo mediante ciclos controlados de agitación, este método ayuda a mantener los niveles adecuados de oxígeno disuelto sin generar estrés oxidativo, favoreciendo la viabilidad celular que ayuda a optimizar el crecimiento de los microorganismos y la síntesis de compuestos esenciales como lípidos durante la fase de crecimiento de la levadura (Stika, 2009).

Las curvas presentadas en la Figura 9 evidencian que la actividad enzimática de la levadura responde de manera gradual a las variaciones de pH y temperatura, mostrando claramente zonas de baja actividad, actividad óptima y disminución progresiva de la actividad cuando las condiciones se alejan del rango favorable. Estas variables resultan fundamentales durante la etapa de propagación del starter, en la cual se busca maximizar la reproducción celular manteniendo la viabilidad fisiológica y la estabilidad estructural de la levadura Tortora *et al.*, (2007).

Los starters de temperaturas más altas (hasta 37 °C) favorecen el crecimiento de levadura, pero el uso de esta temperatura afecta negativamente la viabilidad y estabilidad de la levadura resultante y por consecuencia el crecimiento muy rápido puede dar como resultado membranas celulares más débiles (Zainasheff & Dicósino, 2007).

Figura 9



(a) Temperatura. La actividad enzimática (velocidad de la reacción catalizada por la enzima) aumenta a medida que aumenta la temperatura hasta que la enzima (una proteína) es desnaturalizada e inactivada por el calor. A partir de ese momento la velocidad de la reacción disminuye en forma marcada.

(b) pH. La enzima ilustrada en este ejemplo posee máxima actividad en presencia de un pH de alrededor de 5.

(c) Concentración de sustrato. A medida que aumenta la concentración de moléculas de sustrato aumenta la velocidad de la reacción hasta que se ocupen todos los sitios activos de las enzimas; en ese momento se considera que la reacción alcanzó su velocidad máxima.

Factores que afectan la actividad enzimática

Nota. Tortora *et al.*, (2007).

2.1.4.8. Secado de levaduras

Las células de levadura son capaces de sobrevivir a periodos prolongados de secado casi completos, tanto el agua libre como el agua ligada se evaporan. Se ha observado que las células que se encuentran en fase estacionaria son más tolerantes al secado que las que están aún en fase logarítmica o exponencial (Liepiņš, 2015).

Un alimento seco tiene diferentes ventajas y presenta una gran estabilidad a largos periodos de tiempo y temperatura, no se estropean y son fáciles de transportar. El secado en lecho, secado por pulverización, secado con aire, secado al vacío y la liofilización son las tecnologías de secado más utilizadas en la industria de alimentos (Castillo *et al.*, 2014; Liepiņš, 2015).

2.1.4.8.1. Secado por convección

Es un método no mecánico físico donde el aire caliente es impulsado a través del secador y remueve el agua en estado libre de la superficie del producto. Se produce por secado convectivo del aire caliente, es el más utilizado para la deshidratación en la industria química y de alimentos debido a su simplicidad, alta productividad y bajo coste (Maupoey *et al.*, 2001; Ochoa *et al.*, 2012).

Se debe tener en cuenta las temperaturas elevadas de secado porque pueden acelerar el proceso y se perdería la calidad del producto. La cinética del proceso de secado utilizando aire caliente depende tanto de la geometría, espesor del producto y de las propiedades del aire de secado, como son la humedad relativa ambiental, temperatura y velocidad del flujo de aire, por lo que para la deshidratación por este método se recomienda utilizar temperaturas entre (40 – 80 °C) con velocidades de aire de 2.0 ± 0.2 m/s (García *et al.*, 2013; Landwehr, 1999).

Yusta *et al.*, (2017) indica que el secado de aire convectivo a 60 °C permite mantener los niveles de proteína sin alteraciones, lo que constituye una temperatura óptima para equilibrar eficiencia de secado y preservación nutricional, representando una alternativa económica frente a otras tecnologías.

2.1.5. Levadura nutricional

En el siglo XIX, un científico alemán llamado Justus Von Liebig descubrió que el subproducto de la elaboración de cerveza conocido como “levadura de cerveza” se podía cosechar y comprimir en un concentrado de sabor parecido a la carne, pero era completamente vegetariana (Denenberg, 2023).

En 1916, el químico Atherton Seidell publicó un artículo sobre el potencial de utilizar la levadura de cerveza como suministro accesible de nutrientes. Consideró que la levadura era un tratamiento potencial asequible para las enfermedades por deficiencia nutricional (Denenberg, 2023).

La levadura de cerveza presentaba un ingrediente clave con un sabor fuerte y amargo, así que los productores buscaron la forma de cultivar una variedad más agradable de levadura seca específicamente como un suplemento.

Según Ma *et al.*, (2023) para producir proteína unicelular la levadura se inocula en un fermentador con nutrientes ricos (melaza, etc.) y se cultiva mediante fermentación. La precipitación generada que contiene la mayoría de las proteínas, se utiliza para producir proteína de levadura. El contenido de SCP es superior al 70 % y contiene todos los aminoácidos esenciales requeridos por el cuerpo humano.

En la Tabla 4 se muestra el porcentaje de proteína respecto al peso seco y se observa que en la biomasa de levadura suele ser similar o mayor en comparación con las otras proteínas (Jach *et al.*, 2022).

Tabla 4*Cantidades promedio de producción de proteínas de varias fuentes de proteínas*

Organismo	Cantidad de proteína por cada 100 g de materia seca (% de peso seco)
Bacterias (<i>Bacillus spp.</i>)	50 - 65
Levadura	20 – 65
Algas (<i>Chlorella vulgaris</i>)	40 – 60
Hongos (<i>Fusarium venenatum</i>)	30 – 45
Carne magra	45
Harina de soja	35
Leche en polvo entera	25

Fuente. Jach *et al.*, (2022).**2.1.5.1. Composición**

La SCP contiene polisacáridos y carbohidratos, se detectaron altos niveles de concentración de carbohidratos entre el 31-51 % de la biomasa seca. El contenido total de lípidos es entre 4-7 % de la biomasa seca de levadura y está representado principalmente por ácidos grasos saturados con un contenido entre 28-43.5 % del total de lípidos. El contenido de ceniza obtenida de la levadura de *S. cerevisiae* es del 5 al 10 %, dependiendo del sustrato utilizado. La

levadura residual también contiene oligoelementos, como calcio, cobre, hierro, fósforo, potasio, magnesio, manganeso, selenio, sodio y zinc (Jach *et al.*, 2022).

El SCP es rico en ciertos aminoácidos esenciales, como la lisina y la metionina, que son limitados en la mayoría de las fuentes vegetales y animales. Además, posee alto contenido de vitamina B, proteínas, péptidos y minerales (Querol & Fleet, 2006; Raita *et al.*, 2022).

2.1.5.2. Propiedades

La proteína es importante en la nutrición debido a que provee nitrógeno y ciertos tipos de aminoácidos al cuerpo, estos son necesarios para el crecimiento y las funciones metabólicas.

La levadura residual produce una proteína de alta calidad con un perfil de aminoácidos equilibrado, el valor nutricional de la proteína microbiana está dictado por la composición de aminoácidos, que incluyen los 8 aminoácidos esenciales exógenos (isoleucina, leucina, lisina, fenilalanina, metionina y treonina, triptófano y valina) que los humanos no pueden producir. Como resultado, estos aminoácidos deben obtenerse a través de los alimentos.

La Tabla 5 muestra la levadura SCP como una fuente de proteína de alta calidad y con gran biodisponibilidad para los seres humanos, dado que contiene todos los aminoácidos esenciales y superiores a los requeridos por la FAO (Organización para la Agricultura y la alimentación) (Brown, 2022; Jach *et al.*, 2022).

Tabla 5**Contenido de aminoácidos esenciales en las proteínas de la SCP**

Aminoácido	Arg	His	Ile	Leu	Lys	Cys	Met	SAA	Phe	Tyr	AAA	Thr	Val
<i>S. cerevisiae</i>	46.5	23.5	37	63	65	9	14	23	33	26	68	48	53
Necesidades por la FAO	-	15	30	59	45	-	-	22	-	-	38	23	39

Nota. Arg: Arginina; His: Histidina; Ile: Isoleucina; Leu: Leucina; Lys: Lisina; Cys: Cisteína; Met: Metionina; SAA: Aminoácidos azufrados; Phe: Fenilalanina; Tyr: Tirosina; AAA: Aminoácidos aromáticos; Thr: Treonina; Val: Valina. FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. **Fuente.** Jach et al., (2022).

2.1.5.3. Aplicaciones

La levadura nutricional es una fuente de proteína para el consumo humano. Muchos productos son derivados de la levadura, alrededor del 15-20 % de la producción global de levadura es usada con ese motivo; para la producción de antioxidantes, aromas, sabores, colores y vitaminas Querol y Fleet, 2006; Yamada & Sgarbieri, 2005). Generalmente se encuentran en forma de polvo, escamas, cápsulas o en forma líquida (Jach & Serefko, 2018).

La levadura nutricional por las propiedades que presenta, su sabor y su textura se considera una buena alternativa para sustituir ciertos alimentos (Benavides, 2021). Los diversos usos son los siguientes: queso vegano, mayonesa vegetal, condimento, entre otros.

2.1.6. Proteína

Las proteínas son macromoléculas formadas por cadenas de unidades estructurales propias (aminoácidos). Estos se encuentran unidos por medio de enlaces peptídicos entre los

grupos carboxilo y amino mediante puentes de hidrógeno con pérdida de agua (González *et al.*, 2007; Martínez & Martínez, 2006).

Son nutrientes de mayor complejidad, están compuestas por carbono, nitrógeno, oxígeno y casi todos, azufre; en algunos casos se han observado átomos de cobre, fósforo, zinc y hierro. El nitrógeno representa entre el 12 al 19 % del peso de la molécula, constituyendo la principal característica de las proteínas (Pennacchiotti, 1998).

Existe una cantidad infinita de proteínas con funciones específicas formadas por las diferentes combinaciones de los 20 aminoácidos existentes. Según Martínez & Martínez (2006) mencionan que estos macronutrientes aportan aminoácidos encargados del mantenimiento de la proteína corporal y al incremento de esta durante el crecimiento.

2.1.6.1. Estructura

Las proteínas son moléculas de gran complejidad y presentan una estructura lógica y funcional específica, describen cuatro niveles importantes.

- **Estructura primaria:** es determinada por la secuencia de aminoácidos de la cadena polipeptídica teniendo en cuenta el número, tipo y orden de los aminoácidos que lo componen (Chel *et al.*, 2003).

- **Estructura secundaria:** consiste en la relación espacial de un aminoácido con otro debido a la formación de puentes de hidrógeno que hay entre los átomos (Chel *et al.*, 2003; Moreno, 2016).

- **Estructura terciaria:** es específica para cada proteína y ocurre de la interacción de moléculas de estructura secundaria, se distinguen dos tipos (globular y fibroso) (Consejo de educación Técnico profesional, 2020; Moreno, 2016).

- **Estructura cuaternaria:** se refiere al arreglo espacial de una proteína, contiene varias cadenas polipeptídicas formando dímeros, trímeros, tetrameros, etc. Esto con el fin de generar proteínas biológicamente activas (Consejo de educación Técnico profesional, 2020).

2.1.6.2. Clasificación

La complejidad y diversidad son características de las proteínas por lo que resulta difícil clasificarlas; sin embargo, diversos métodos hacen posible que se puedan diferenciar según su composición, estructura, sensibilidad, solubilidad y funcionalidad. Según su composición se clasifican en:

- **Proteínas simples:** conocidas también como holoproteínas, están formadas únicamente por aminoácidos. Se dividen en globulares (prolaminas, gluteninas, albúminas, hormonas y enzimas) y fibrosas (colágenos, queratinas, elastinas y fibroínas) (Luque, 2011; Pennacchiotti, 1998).

- **Proteínas conjugadas:** Están compuestas por una parte proteica y una fracción denominada grupo protético. Dependiendo de este último se pueden dividir en glucoproteínas, lipoproteínas, nucleoproteínas y cromoproteínas (Luque, 2011).

2.1.6.3. Funciones

Las proteínas como muestra la Tabla 6 tienen diferentes e importantes funciones que van desde su rol catalítico (enzimas) hasta su función en la motilidad corporal (actina, miosina), mecánico (elastina, colágeno), de transporte y almacén (hemoglobina, mioglobina, citocromos), protección (anticuerpos), reguladora (hormonas), etc (Martínez & Martínez, 2006).

Tabla 6

Función de las diferentes clases de proteína

Clase de proteína	Función	Ejemplos
Estructural	Proporciona componentes estructurales	El <i>colágeno</i> forma tendones y cartílago. La <i>queratina</i> conforma el pelo, piel, uñas, etc.
Contráctil	Permite el movimiento de los músculos	La <i>miosina</i> y la <i>actina</i> contraen las fibras musculares
De transporte	Transporta sustancias esenciales por el organismo	La <i>hemoglobina</i> transporta oxígeno. Las <i>lipoproteínas</i> transportan lípidos.
De almacenamiento	Almacenan nutrientes	La <i>caseína</i> almacena proteína en la leche. La <i>ferritina</i> contiene hierro y se almacena en el bazo y el hígado.
Hormonal	Regula el metabolismo corporal y el sistema nervioso	La <i>insulina</i> regula el nivel de glucosa en la sangre. La <i>hormona del crecimiento</i> regula el crecimiento corporal.
Enzima	Cataliza reacciones bioquímicas en las células	La <i>sacarasa</i> cataliza la hidrólisis de la sacarosa. La <i>tripsina</i> cataliza la hidrólisis de proteínas.
De protección	Reconoce y destruye sustancias extrañas	Las <i>inmunoglobulinas</i> estimulan las respuestas inmunitarias

Fuente. Consejo de educación Técnico profesional, (2020).

2.1.7. Diseño Factorial 2³

El diseño factorial es una técnica experimental utilizada para analizar simultáneamente el efecto de dos o más variables independientes sobre una variable dependiente. Kirk (2013) sostiene que los diseños factoriales permiten identificar condiciones bajo las cuales los efectos de un factor dependen del nivel de otro, lo que enriquece la interpretación de los resultados.

Según Montgomery (2017), el diseño factorial 2³ es uno de los más empleados en investigación aplicada, ya que facilita identificar condiciones óptimas de operación y comprender cómo los factores influyen de manera conjunta, además permite evaluar con pocos ensayos los efectos principales y las interacciones de primer y segundo orden entre los factores.

El análisis estadístico se realiza mediante ANOVA, donde se calcula la significancia de los efectos, el valor de α (alfa), que representa el nivel de significancia o la probabilidad de cometer un error tipo I, es decir, rechazar la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

En este sentido, el diseño factorial 2³ se convierte en una herramienta fundamental para el estudio sistemático de procesos experimentales con tres variables de interés, permitiendo conclusiones confiables por su capacidad para reducir recursos, tiempo y costos sin sacrificar calidad en los hallazgos.

CAPÍTULO III
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materia Prima

La materia prima utilizada consistió en dos cepas de levadura gastada (*Saccharomyces cerevisiae*), SafAle US-05 y SafAle BE-256 recuperadas del fermentador cónico después de haber finalizado el proceso de fermentación principal, provenientes de la empresa Cusco Beer Company S.A.C.

El desarrollo experimental se realizó en las instalaciones de la cervecería Cusco Beer Company S.A.C. y la operación de secado en el Laboratorio Tecnología de la Facultad de Ingeniería de Procesos, Escuela profesional de Ingeniería Química.

3.2. Materiales, equipos e instrumentos

Para el desarrollo del trabajo experimental se utilizó la Estufa Kyntel, modelo: K-V45F N° serie 1823 de aire por convección, empleada para el secado de las muestras, tal como se indica en la Tabla 7.

Tabla 7***Equipos utilizados en el trabajo de investigación***

Equipo	Función
Estufa de aire por convención	Deshidrata la biomasa celular eliminando la humedad perseverando el contenido proteico.

En la tabla 8 se describen los materiales empleados en el desarrollo del trabajo de investigación

Tabla 8***Materiales utilizados en el trabajo de investigación***

Materiales	Marca	Insumo/Reactivo	Función
Levadura residual (<i>S. cerevisiae</i>)	Fermentis	Insumo	Biomasa de partida, contiene las células vivas para multiplicar y reproducirlas.
Agua de ósmosis	Proporcionado por la empresa	Insumo	Disolvente puro y libre de contaminantes para preparar el sustrato y lavar la levadura residual.
Nutriente	SpringFerm™	Insumo	Nutriente comercial que aporta aminoácidos, vitaminas y minerales para el crecimiento celular.
Oxígeno grado industrial	Proporcionado por la empresa	Insumo	Favorece la respiración aeróbica celular en la fase de propagación.
Dextrosa	Proporcionado por la empresa	Reactivo	Sustrato primario para iniciar fácilmente el metabolismo de las levaduras.

Sacarosa	Cartavio S.A.	Reactivo	Sustrato secundario que también ayuda en el aumento de biomasa celular.
Sulfato de zinc	IQSA peruana SAC	Reactivo	Mejora la viabilidad y estabilidad celular.
Fosfato de amonio	Molinos & Cia	Reactivo	Ayuda en la síntesis de proteínas y el ATP.
Sulfato de magnesio	J.T. Baker	Reactivo	Participa en la síntesis de ADN, ARN y proteínas.
Bicarbonato de sodio	Portugal	Reactivo	Regulador de pH manteniendo las condiciones estables para el crecimiento.
Ácido cítrico	RZBC	Reactivo	Regulador de pH y sirve de intermediario en el ciclo de Krebs.

Los instrumentos utilizados durante el desarrollo experimental se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9

Instrumentos utilizados en el trabajo de investigación

Instrumentos	Función
Medidor de pH	Se utiliza para controlar y ajustar la acidez del medio de cultivo para asegurar el crecimiento óptimo de levaduras.
Termómetro	Permite monitorear la temperatura del sustrato en la reproducción celular y el secado.
Densímetro	medir la densidad o gravedad específica de un líquido, es decir, cuánta masa tiene un líquido por unidad de volumen, comparándola generalmente con la del agua.
Balanza analítica	Sirve para pesar con precisión los reactivos, sales y azúcares para garantizar el medio de cultivo.
Mortero	Para triturar y homogenizar la levadura proteica seca.
Vasos de precipitado	Recipientes utilizados para contener la levadura seca ya triturada.
Recipiente de	Se utiliza para almacenar temporalmente la levadura residual húmeda y evita

plástico

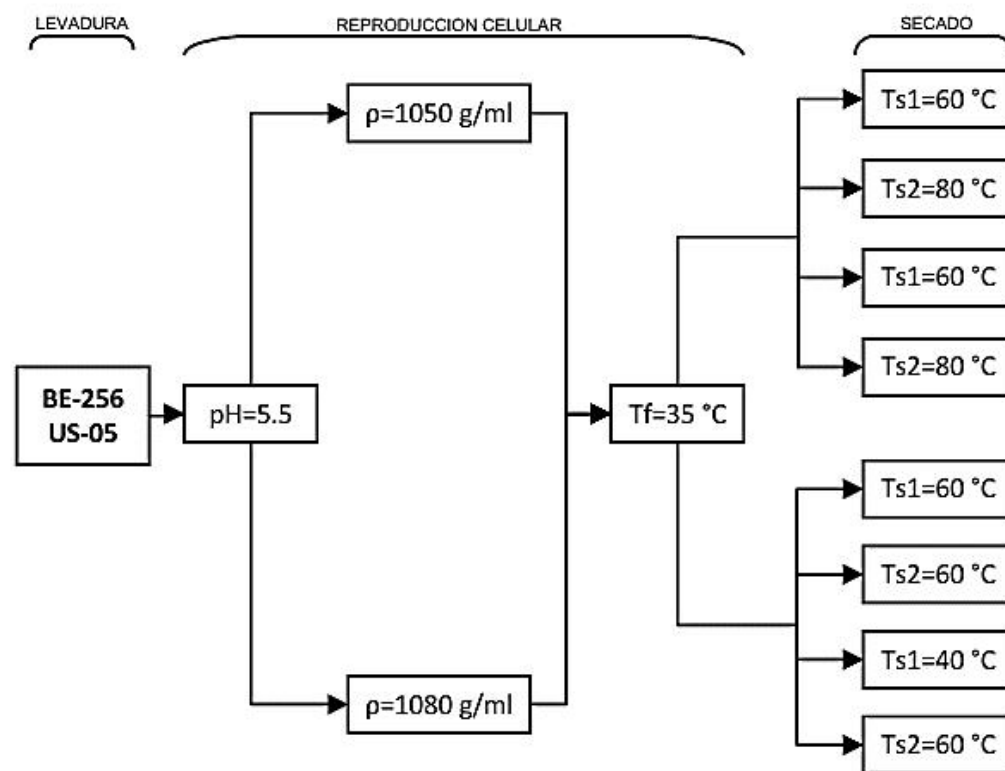
la contaminación.

3.3. Identificación de variables

La Figura 10 presenta el modelo de diseño experimental utilizado como referencia visual en esta investigación, se detallan los parámetros de la experimentación para garantizar la homogeneidad en las pruebas del estudio.

Figura 10

Diseño experimental



Nota. Donde T_f es temperatura de fermentación, T_s es temperatura de secado.

3.3.1. Variables independientes

Esta identificación se realizó en base a la información descrita por Tortora *et al.*, (2007) donde se observa los rangos de temperatura, pH y densidad del sustrato para un mejor rendimiento en el suplemento proteico. La Tabla 10 indica los niveles de cada variable independiente.

3.3.1.1. Cepa de levadura

Se considera una variable independiente porque permite determinar cuál de las dos produce mayor cantidad de proteína. Se utilizó dos cepas distintas, SafAle US-05 (cepa americana) y SafAle BE-256 (cepa belga).

3.3.1.2. Densidad de reproducción

Se considera variable independiente a la densidad de reproducción porque influye en la capacidad para generar biomasa de la levadura. Se consideraron dos densidades diferentes (1.050 g/ml y 1.080 g/ml) para determinar con cual se puede generar un mayor crecimiento.

3.3.1.3. Temperatura de secado

Es considerada como otra variable independiente, debido a que afectan a la estabilidad y la calidad de las proteínas. Se secó a dos temperaturas de 60 y 80 °C. se utilizó estos valores debido a que Yusta *et al.*, (2017) emplearon un secado de tipo convectivo a 60 °C y este no presentó alteraciones en la composición de su muestra, mientras que la temperatura de 80 °C se utilizó para comprobar si la proteína de levadura se desnaturaliza.

3.3.2. Variable de respuesta

La variable dependiente es la cantidad de proteína expresada en porcentaje, es importante porque es el ingrediente principal del producto final y por consecuencia es considerada el principal objeto de estudio. Además, se observa cómo cada variable independiente puede afectar el resultado. El contenido proteico fue analizado por el método proximal.

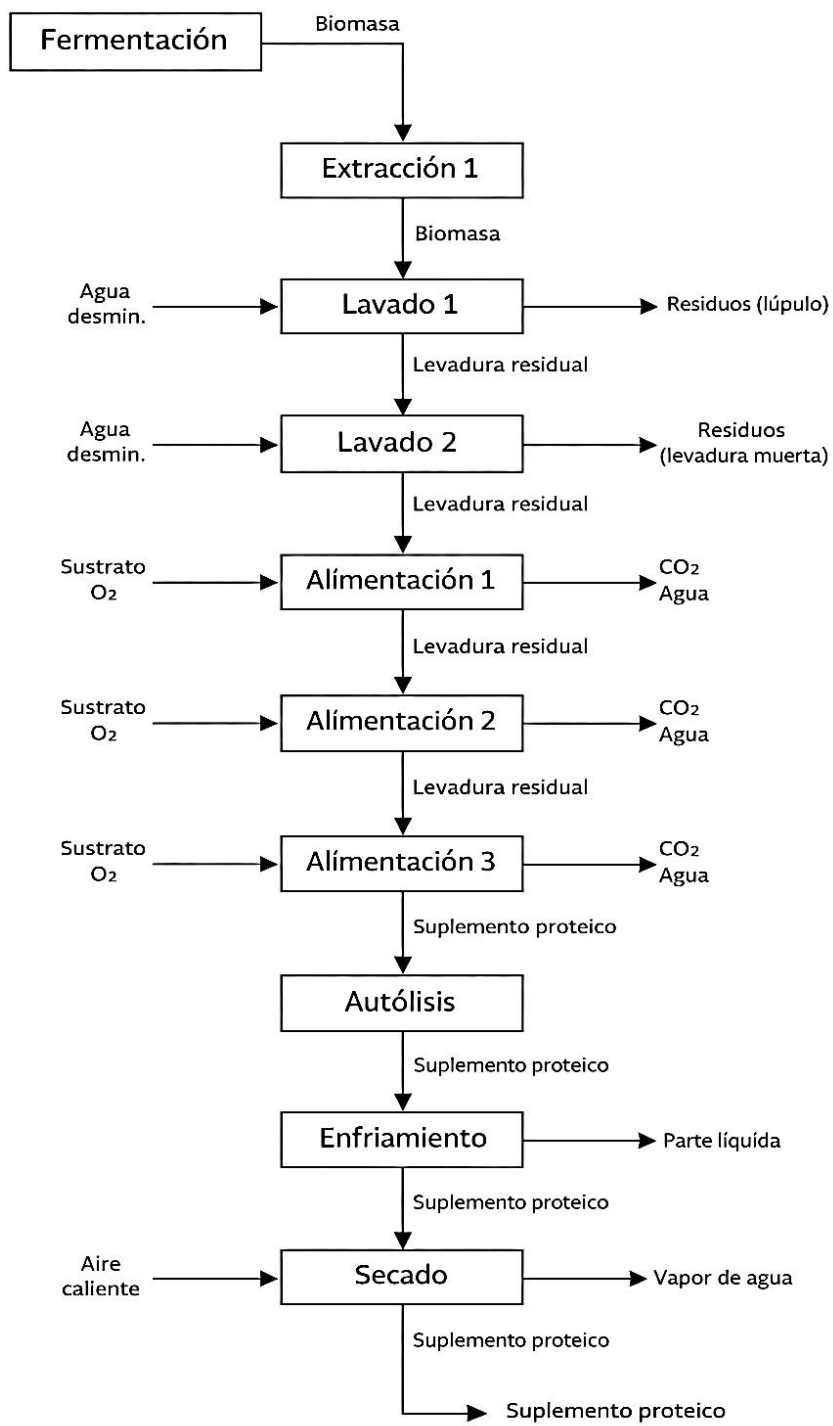
Tabla 10*Niveles de las variables independientes.*

Variables independientes	Unidad de medida	Niveles	
		(-)	(+)
Cepa de levadura	-	US-05	BE-256
Densidad de reproducción	g/ml	1.050	1.080
Temperatura de secado	°C	60	80

3.4.Obtención del suplemento proteico

El proceso de experimentación se representa de forma general en la Figura 11 mediante el diagrama de bloques, la descripción detallada se desarrolla en los apartados 3.4.1. al 3.4.3.

Figura 11

Diagrama de bloques del proceso de experimentación

3.4.1. Extracción de levadura gastada

Una vez culminado el proceso de fermentación, la cerveza fue trasvasada a un madurador y el residuo remanente es la biomasa que está compuesta por levadura residual, lúpulo y resto de cerveza; a partir de esta biomasa se extrajo la levadura gastada.

Por diferencia de densidades el lúpulo decanta hacia la base del fermentador tipo cónico, lo que ayuda a descartarla primero. Después sale la levadura gastada, esta se separa a un recipiente de 20 L donde se le agregó agua de osmosis para continuar separando las fases en una cámara de frío que está a temperaturas entre 4 y 7 °C por 48 horas.

Pasado este tiempo se vuelve a separar las fases (agua, lúpulo remanente y levadura residual) con el fin de obtener un producto no tan amargo. Se extrajo el agua y lúpulo; y se volvió a realizar el método anterior para extraer la mayor cantidad de lúpulo restante.

Finalmente, se extrajo un total de 6 kg por cepa de levadura. Adicional a ello, se tomó dos muestras de 120 g cada una para analizar las unidades formadoras de colonia por gramo existentes.

3.4.2. Reproducción de levadura residual

Tras finalizar la etapa de extracción se comenzó con la reproducción de levadura residual. En la Tabla 11 se muestra la cantidad de experimentos y las condiciones a las que se realizaron. Se hicieron dos réplicas de cada ensayo para aumentar la confiabilidad de la investigación.

Las densidades similares a 1.050 g/ml favorecen el crecimiento celular equilibrado, mientras que densidades mayores, comparables a 1.080 g/ml, permiten evaluar el límite superior de disponibilidad de sustrato y su impacto en la acumulación de biomasa y viabilidad celular.

La utilización de dos cepas de *Saccharomyces cerevisiae* (BE-256 y US-05) permitió evaluar el efecto de la variabilidad genética sobre la producción de biomasa, considerando diferencias en composición celular y actividad enzimática endógena. Asimismo, la selección de temperaturas de secado de 60 y 80 °C respondió a la necesidad de analizar el impacto del tratamiento térmico sobre el contenido proteico del producto final.

Tabla 11

Numero de experimentos realizados

Ensayo N°	Cepa de levadura	Densidad del sustrato (g/ml)	Temperatura de secado (°C)	Cantidad de proteína (%)
1 y 9	US-05	1.050	60	
2 y 10	BE-256	1.050	60	
3 y 11	US-05	1.080	60	
4 y 12	BE-256	1.080	60	
5 y 13	US-05	1.050	80	
6 y 14	BE-256	1.050	80	
7 y 15	US-05	1.080	80	
8 y 16	BE-256	1.080	80	

3.4.2.1. Primera alimentación

3.4.2.1.1. Preparación del sustrato

Este proceso inició con la preparación del sustrato, como se muestra en la Tabla 12 fue preparada con una proporción 70 % de sacarosa y 30 % de dextrosa, la cual ambas cepas de levadura pueden fermentar ambos azúcares de manera eficiente. La dextrosa (glucosa) es asimilada de forma inmediata, favoreciendo el inicio de la fermentación, mientras que la

sacarosa es hidrolizada progresivamente por la enzima invertasa en glucosa y fructosa, permitiendo un suministro sostenido de sustrato. El uso de mezclas de monosacáridos y disacáridos ha sido reportado como una estrategia válida para lograr fermentaciones estables y controladas, lo que justifica el empleo de proporciones combinadas como la utilizada en este estudio (D'Amore et al., 1989; Walker & Stewart, 2016).

La adición de nutrientes minerales y vitamínicos al medio de cultivo se fundamenta en que la suplementación con fuentes de nitrógeno, sales minerales y vitaminas mejora significativamente el crecimiento, viabilidad y rendimiento de biomasa de *Saccharomyces cerevisiae*, al favorecer la actividad enzimática y el metabolismo celular (Pereira et al., 2020). Se realiza una mezcla homogénea hasta llegar a las densidades, pH y temperatura adecuada para darle las condiciones adecuadas para introducir la levadura extraída.

Tabla 12

Insumos para preparar el sustrato

Tipo	Ensayo N°	Densidad inicial	Vol. agua	Dextrosa	Sacarosa	Nutrientes
US-05	1-2-9-10	1.050 g/ml	2 L	375 g	875 g	1 g
	3-4-11-12	1.080 g/ml		450 g	1050 g	
BE-256	5-6-13-14	1.080 g/ml		450 g	1050 g	
	7-8-15-16	1.050 g/ml		375 g	875 g	

3.4.2.1.2. Mezcla del sustrato con la levadura residual

La Tabla 13 detalla cómo se dividió los 6 kg de levadura residual extraída en 8 muestras por replica de 750 g cada una, que se mezcló junto con 500 ml de sustrato en un fermentador de 4 litros. Asimismo, se indica las condiciones iniciales para comenzar el proceso de crecimiento exponencial de la levadura.

Tabla 13

Mezcla de levadura residual con el sustrato preparado

Tipo	Ensayo N°	V sustrato	P muestra	pH	T	Densidad del proceso	O ₂	Peso
US-05	1	500 ml	750 g	6.07	32.5 °C	1.050 g/ml	3 L/min	1290.0 g
	2			5.95	33.3 °C	1.051 g/ml		1290.0 g
	9			6.04	32.5 °C	1.049 g/ml		1290.0 g
	10			5.91	33.8 °C	1.049 g/ml		1290.0 g
	3	500 ml	750 g	6.18	33.4 °C	1.079 g/ml	3 L/min	1310.0 g
	4			5.96	32.9 °C	1.081 g/ml		1310.0 g
	11			6	33.5 °C	1.080 g/ml		1310.0 g
	12			6.01	33.8 °C	1.080 g/ml		1310.0 g
BE-256	5	500 ml	750 g	6	32.6 °C	1.080 g/ml	3 L/min	1310.0 g
	6			5.99	33.8 °C	1.079 g/ml		1310.0 g
	13			6.01	32.2 °C	1.082 g/ml		1310.0 g
	14			5.96	32.6 °C	1.081 g/ml		1310.0 g
	7	500 ml	750 g	6	32.2 °C	1.050 g/ml	3 L/min	1290.0 g
	8			6.02	32.6 °C	1.050 g/ml		1290.0 g
	15			5.9	32.2 °C	1.049 g/ml		1290.0 g
	16			5.95	32.7 °C	1.051 g/ml		1290.0 g

3.4.2.1.3. Medición de condiciones finales

Pasado 24 h de la primera alimentación la Tabla 14 indica las condiciones a las que terminó el proceso de crecimiento (pH, temperatura, densidad y la cantidad de muestra obtenida) antes de comenzar con la segunda alimentación.

Tabla 14

Condiciones finales

Tipo	Ensayo N°	Densidad del proceso	pH	T	Peso
US-05	1	1.012 g/ml	4.63	33.2 °C	1262.7 g
	2	1.014 g/ml	4.73	33.5 °C	1264.2 g
	9	1.016 g/ml	4.93	33.0 °C	1268.7 g
	10	1.020 g/ml	5.05	33.0 °C	1270.2 g
	3	1.038 g/ml	4.7	33.0 °C	1288.6 g
	4	1.042 g/ml	4.48	33.2 °C	1292.9 g
	11	1.049 g/ml	5.25	33.4 °C	1299.1 g
	12	1.040 g/ml	5.5	33.1 °C	1291.5 g
	5	1.040 g/ml	5.6	32.9 °C	1291.3 g
	6	1.040 g/ml	5.3	33.0 °C	1290.9 g
	13	1.055 g/ml	5.1	33.5 °C	1298.5 g
	14	1.045 g/ml	5.5	32.5 °C	1294.9 g
BE-256	7	1.014 g/ml	5.4	32.5 °C	1264.7 g
	8	1.018 g/ml	5.35	33.2 °C	1269.4 g
	15	1.025 g/ml	5.26	32.9 °C	1275.7 g
	16	1.010 g/ml	5.36	33.5 °C	1260.6 g

3.4.2.2. Segunda alimentación

3.4.2.2.1. Preparación del sustrato

La preparación del sustrato se utilizó el mismo procedimiento empleado en la primera alimentación para así obtener a una mezcla homogénea hasta llegar a las densidades, pH y temperatura adecuada para agregar al fermentador como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15

Cantidad de insumos para preparar el sustrato

Tipo	Muestra	Densidad*	Vol agua	Dextrosa	Sacarosa	Nutrientes
US-05	1-2-9-10	1.050 g/ml	2 L	405 g	945 g	1 g
	3-4-11-12	1.080 g/ml		480 g	1120 g	
BE-256	5-6-13-14	1.050 g/ml		405 g	945 g	
	7-8-15-16	1.080 g/ml		480 g	1120 g	

3.4.2.2.2. Adición del sustrato

La Tabla 16 resume la segunda adición de 500 ml de sustrato al fermentador de 4 litros. Asimismo, indica las condiciones iniciales para comenzar el proceso de crecimiento exponencial de la levadura y la nueva masa obtenida.

Tabla 16

Adición de sustrato al fermentador tipo cónico

Tipo	Ensayo N°	V sustrato	Densidad del proceso	pH	T	O ₂	Peso
US-05	1	500 ml	1.047 g/ml	6.01	30.8 °C	3 L/min	1807.7 g
	2		1.049 g/ml	5.96	32.1 °C		1809.2 g
	9		1.051 g/ml	5.90	31.1 °C		1813.7 g
	10		1.052 g/ml	6.02	32.7 °C		1815.2 g
US-05	3	500 ml	1.079 g/ml	5.97	32.9 °C	3 L/min	1853.6 g
	4		1.080 g/ml	5.98	30.2 °C		1857.9 g
	11		1.082 g/ml	6.04	32.9 °C		1864.1 g
	12		1.088 g/ml	5.91	30.1 °C		1856.5 g
BE-256	5	500 ml	1.079 g/ml	6.05	31.6 °C	3 L/min	1856.3 g
	6		1.080 g/ml	5.99	31.5 °C		1855.9 g
	13		1.081 g/ml	6.00	31.3 °C		1863.5 g
	14		1.080 g/ml	6.05	31.5 °C		1859.9 g
BE-256	7	500 ml	1.049 g/ml	5.92	32.2 °C	3 L/min	1809.7 g
	8		1.051 g/ml	5.94	32.9 °C		1814.4 g
	15		1.052 g/ml	6.02	32.4 °C		1820.7 g
	6		1.048 g/ml	5.96	31.6 °C		1805.6 g

3.4.2.2.3. Medición de condiciones finales

Una vez concluido el segundo periodo de 24 h se tiene las condiciones a las que terminó el proceso de crecimiento (pH, temperatura, densidad y la cantidad de muestra obtenida) antes de comenzar con la tercera alimentación, como se detalla en la Tabla 17.

Tabla 17

Condiciones finales

Tipo	Ensayo N°	Densidad del proceso	pH	T	Peso
US-05	1	1.015 g/ml	6.05	32.7 °C	1780.1 g
	2	1.008 g/ml	5.95	33.0 °C	1775.5 g
	9	1.010 g/ml	5.60	32.5 °C	1776.9 g
	10	1.012 g/ml	5.77	32.6 °C	1778.8 g
	3	1.043 g/ml	5.52	33.0 °C	1827.2 g
	4	1.049 g/ml	5.58	32.7 °C	1832.5 g
	11	1.038 g/ml	5.60	32.7 °C	1826.5 g
	12	1.050 g/ml	6.08	32.8 °C	1836.2 g
	5	1.051 g/ml	5.70	33.0 °C	1829.2 g
	6	1.040 g/ml	5.71	32.8 °C	1827.2 g
	13	1.054 g/ml	5.25	32.5 °C	1837.5 g
	14	1.042 g/ml	5.74	32.9 °C	1829.2 g
BE-256	7	1.016 g/ml	5.37	32.5 °C	1781.6 g
	8	1.010 g/ml	5.55	32.9 °C	1776.1 g
	15	1.002 g/ml	5.52	32.5 °C	1771.8 g
	16	1.004 g/ml	5.57	33.0 °C	1774.5 g

3.4.2.3. Tercera alimentación

3.4.2.3.1. Preparación del sustrato

La preparación del sustrato se utilizó el mismo procedimiento empleado en la primera alimentación para así llegar a una mezcla homogénea y poder obtener condiciones deseadas descritas en la Tabla 18.

Tabla 18

Cantidad de insumos para preparar el sustrato

Tipo	Muestra	Densidad*	Vol agua	Dextrosa	Sacarosa	Nutrientes
US-05	1-2-9-10	1.050 g/ml	2 L	510 g	1190 g	1 g
	3-4-11-12	1.080 g/ml		549 g	1281 g	
BE-256	5-6-13-14	1.050 g/ml		510 g	1190 g	
	7-8-15-16	1.080 g/ml		549 g	1281 g	

3.4.2.3.2. Adición del sustrato

Se adicionó 500 ml de sustrato al fermentador. A su vez, en la Tabla 19 se indican las condiciones iniciales para comenzar nuevamente el proceso de crecimiento exponencial de la levadura y la Tabla 20 indica las condiciones finales, una vez terminada la tercera alimentación.

Tabla 19

Adición de sustrato al fermentador de tipo cónico

Tipo	Ensayo N°	V sustrato	Densidad del proceso	pH	T	O ₂	Peso
US-05	1	500 ml	1.051 g/ml	5.95	32.6 °C	3 L/min	2330.1 g
	2		1.050 g/ml	6.02	32.1 °C		2325.5 g
	9		1.052 g/ml	5.94	32.5 °C		2326.9 g
	10		1.050 g/ml	6.03	32.9 °C		2328.5 g
	3	500 ml	1.079 g/ml	5.90	32.7 °C		2397.2 g
	4		1.080 g/ml	6.02	33.0 °C		2402.5 g
	11		1.079 g/ml	6.08	32.5 °C		2396.5 g
	12		1.081 g/ml	5.90	32.6 °C		2406.2 g
BE-256	5	500 ml	1.080 g/ml	6.03	32.7 °C	3 L/min	2399.2 g
	6		1.079 g/ml	5.98	32.1 °C		2397.2 g
	13		1.082 g/ml	5.94	32.7 °C		2407.5 g
	14		1.080 g/ml	5.98	32.0 °C		2399.2 g
	7	500 ml	1.052 g/ml	6.08	32.0 °C		2331.6 g
	8		1.050 g/ml	6.10	33.0 °C		2326.1 g
	15		1.048 g/ml	6.01	32.8 °C		2321.8 g
	16		1.049 g/ml	6.09	33.0 °C		2324.5 g

Tabla 20

Condiciones finales.

Tipo	Ensayo N°	Densidad del proceso	pH	T	Peso
US-05	1	1.020 g/ml	5.84	48.1 °C	2291.5 g
	2	1.016 g/ml	5.77	47.5 °C	2288.8 g
	9	1.028 g/ml	5.56	48.0 °C	2305.3 g
	10	1.022 g/ml	5.68	47.9 °C	2299.7 g
	3	1.042 g/ml	5.47	47.7 °C	2358.9 g
	4	1.046 g/ml	5.47	48.5 °C	2368.5 g
	11	1.054 g/ml	5.43	48.0 °C	2370.5 g
	12	1.040 g/ml	5.81	48.1 °C	2364.4 g
	5	1.046 g/ml	6.25	48.2 °C	2363.9 g
	6	1.050 g/ml	6.28	48.0 °C	2366.5 g
	13	1.042 g/ml	6.07	48.2 °C	2366.9 g
	14	1.044 g/ml	6.10	48.2 °C	2367.1 g
BE-256	7	1.016 g/ml	6.16	48.3 °C	2296.4 g
	8	1.022 g/ml	6.11	47.8 °C	2303.5 g
	15	1.020 g/ml	6.13	47.9 °C	2299.9 g
	16	1.026 g/ml	6.09	47.8 °C	2304.7 g

3.4.2.4. Autólisis

Concluido este último periodo de crecimiento, se calentó en baño maría los fermentadores hasta llegar a una temperatura promedio de 48 °C, se midieron las condiciones a las que se empezó este proceso y se dejó a una temperatura constante por 24 horas, la Tabla 21 muestra las condiciones finales

3.4.2.5. Enfriado

El enfriado comenzó una vez finalizado el proceso de autólisis, esta etapa duró 72 h a una temperatura promedio de 4.5 °C, en este tiempo las fases de la mezcla se separaron y de esa forma facilitó la extracción de la levadura residual.

La Tabla 21 indica las condiciones de cada fermentador (1 – 16) antes de separar la levadura residual de la parte líquida.

Tabla 21

Condiciones finales antes de extraer la levadura residual

Tipo	Ensayo N°	Densidad del proceso	pH	T	Peso
US-05	1	1.015 g/ml	5.95	5 °C	2283.4 g
	2	1.011 g/ml	5.96	5 °C	2281.7 g
	9	1.020 g/ml	5.77	5 °C	2290.4 g
	10	1.015 g/ml	5.87	5 °C	2291.8 g
	3	1.037 g/ml	5.63	5 °C	2353.2 g
	4	1.038 g/ml	5.64	4 °C	2360.5 g
	11	1.040 g/ml	5.72	4 °C	2357.9 g
	12	1.034 g/ml	6.05	5 °C	2356.9 g
BE-256	5	1.038 g/ml	6.41	5 °C	2355.4 g
	6	1.039 g/ml	6.39	5 °C	2355.0 g
	13	1.036 g/ml	6.21	4 °C	2358.8 g
	14	1.037 g/ml	6.25	5 °C	2358.8 g
	7	1.010 g/ml	6.09	4 °C	2283.0 g
	8	1.014 g/ml	6.14	5 °C	2287.4 g
	15	1.014 g/ml	6.05	4 °C	2285.9 g
	16	1.017 g/ml	6.17	4 °C	2289.9 g

3.4.3. Secado

En esta etapa se eliminó la parte líquida restante de la mezcla de levadura residual en una estufa de aire convectivo a temperaturas de 60 °C y 80 °C para llegar a una humedad promedio

del 6.5 % (Colina, 2010). Previamente, el equipo fue sometido a un procedimiento de limpieza y desinfección, elevando la temperatura a 85 °C durante 5 minutos y aplicando alcohol etílico al 70 % para garantizar condiciones higiénicas antes del secado. La Tabla 22 indica la cantidad obtenida por cada muestra puesta a secar.

Tabla 22

Cantidad total de levadura residual seca

Tipo	Ensayo N°	T	PL total*	PL usado*	Peso Seco
US-05	1	60 °C	1803.4 g	137 g	37 g
	2	80 °C	1716.7 g	118 g	32 g
	9	60 °C	1810.4 g	141 g	38 g
	10	80 °C	1705.8 g	122 g	33 g
	3	60 °C	1821.2 g	115 g	31 g
	4	80 °C	1780.5 g	126 g	34 g
	11	60 °C	1847.9 g	141 g	38 g
	12	80 °C	1780.9 g	144 g	39 g
BE-256	5	60 °C	1819.4 g	133 g	36 g
	6	80 °C	1757.0 g	11 g	30 g
	13	60 °C	1852.8 g	148 g	40 g
	14	80 °C	1790.8 g	137 g	37 g
	7	60 °C	1773.0 g	148 g	40 g
	8	80 °C	1834.4 g	137 g	37 g
	15	60 °C	1765.9 g	115 g	31 g
	16	80 °C	1792.9 g	141 g	38 g

Nota. PL total*: Peso de levadura nutricional total; PL usado*: Peso de levadura utilizada para secar.

3.4.4. Hipótesis estadística del diseño factorial

3.4.4.1. Factor A (cepa de levadura)

- H_0 (Hipótesis Nula): La cepa de levadura no influye significativamente en el contenido de proteína.
- H_1 (Hipótesis Alternativa): La cepa de levadura influye significativamente en el contenido de proteína.

3.4.4.2. Factor B (densidad de sustrato)

- H_0 (Hipótesis Nula): La densidad del sustrato no influye significativamente en el contenido de proteína.
- H_1 (Hipótesis Alternativa): La densidad del sustrato influye significativamente en el contenido de proteína.

3.4.4.3. Factor C (temperatura de secado)

- H_0 (Hipótesis Nula): La temperatura de secado no influye significativamente en el contenido de proteína.
- H_1 (Hipótesis Alternativa): La temperatura de secado influye significativamente en el contenido de proteína.

3.4.5. Formulación

En un diseño factorial 2^3 , se estudian 3 factores: donde A (Cepa de levadura), B (Densidad del sustrato) y C (Temperatura de secado), cada uno con 2 niveles (bajo y alto) donde su interacción da como producto un modelo matemático con 8 combinaciones cada una de las

réplicas. En la Ecuación 3 muestra el modelo estadístico del análisis factorial de dos niveles con tres factores en unidades no codificadas:

$$Y_{(\text{proteína})} = X_0 + X_1A + X_2B + X_3C + X_4AB + X_5AC + X_6BC + X_7ABC \quad (3)$$

Donde:

Y: variable dependiente (variable de respuesta)

X_i : media global o promedio general

A: variable independiente (cepa de levadura)

B: variable independiente (densidad de reproducción)

C: variable independiente (temperatura de secado)

3.5. Balance de materia

El balance de materia se realiza para evaluar todo el proceso realizado para obtener la proteína unicelular, tomando en cuenta los datos desde la extracción de la biomasa del fermentador hasta el secado de la levadura gastada.

3.5.1. Cepa US-05

3.5.1.1. Extracción y lavado de la levadura residual

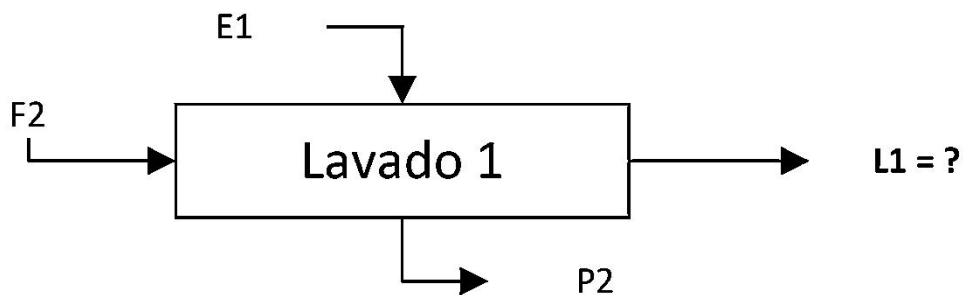
La Figura 12 indica la estructura del balance de materia de la extracción de la biomasa residual del fermentador cónico, la Figura 13 y Figura 14 muestran los datos de la Tabla 9 donde indican los resultados de los lavados de la cepa US-05. Los resultados se pueden observar en la Tabla 29 del APÉNDICE 1.

Figura 12



Extracción de biomasa residual del fermentador cónico

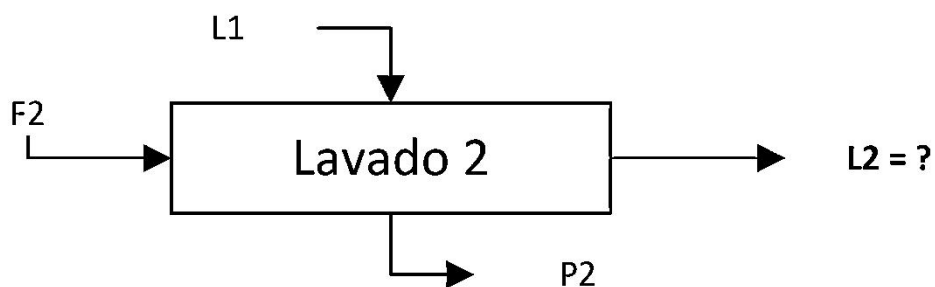
Figura 13



Primer lavado de la cepa SafAle US-05 luego de la extracción de biomasa residual

Figura 14

Segundo lavado de la cepa SafAle US-05



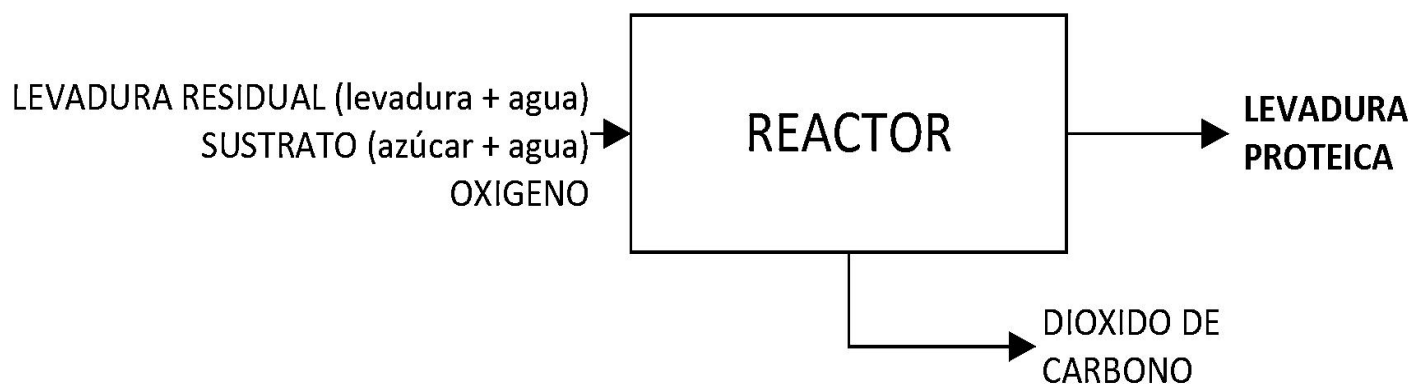
3.5.1.2. Primera alimentación

Tomando en cuenta los datos de las Tablas 12, 13 y 14; además de la ecuación 1 y el comportamiento de la biomasa, que se encuentra en una concentración de 79×10^6 (SafAle US-05) como se observa en el APÉNDICE 3; podemos realizar un balance de materia para la primera alimentación al reactor una densidad de 1.050 g/ml que se observa en las Tablas 30 y para una densidad de 1.080 g/ml en las Tablas 31 descrita en el APÉNDICE 1.

La Figura 15 indica la estructura del balance de materia las adiciones de sustrato para que la biomasa siga creciendo.

Figura 15

Estructura del balance de materia para las alimentaciones.



3.5.1.3. Segunda alimentación

Para la segunda alimentación se tomaron los datos obtenidos de las Tablas 15, 16 y 17; así como la estructura mostrada en la Figura 15 y la Ecuación 1. Se obtuvieron los siguientes resultados en el balance de materia observados en las Tablas 32 y 33 para la cepa de levadura US-05 cuyos resultados están en el APÉNDICE 1.

3.5.1.4. Tercera alimentación

Para la segunda alimentación se tomaron los datos obtenidos de las Tablas 18, 19 y 20; así como la estructura mostrada en la Figura 15 y la Ecuación 1. Los resultados del balance de materia se encuentran en el APÉNDICE 1 y se muestran en las Tablas 34 y 35 para la cepa de levadura US-05.

3.5.1.5. Autólisis

La autólisis de la levadura se realizó con la finalidad de provocar la ruptura de las estructuras celulares y la liberación de los componentes intracelulares, principalmente proteínas, mediante la acción de enzimas endógenas presentes en la biomasa. Para ello, la levadura previamente obtenida fue sometida a condiciones controladas de temperatura y tiempo, favoreciendo la hidrólisis de macromoléculas celulares como proteínas, polisacáridos y ácidos nucleicos. De manera general, el proceso de autólisis puede representarse mediante la siguiente ecuación global:

Biomasa de levadura + H₂O → Fracción soluble (aminoácidos, péptidos, azúcares, nucleótidos y minerales) + Fracción insoluble (pared celular residual)

Debido a que la autólisis corresponde a un conjunto de reacciones enzimáticas complejas y no a una reacción química única, la ecuación se presenta de forma general y no estequiométrica. El balance de materia del proceso se efectuó con base en los pesos iniciales y finales obtenidos experimentalmente en cada etapa, aplicando el principio de conservación de la masa.

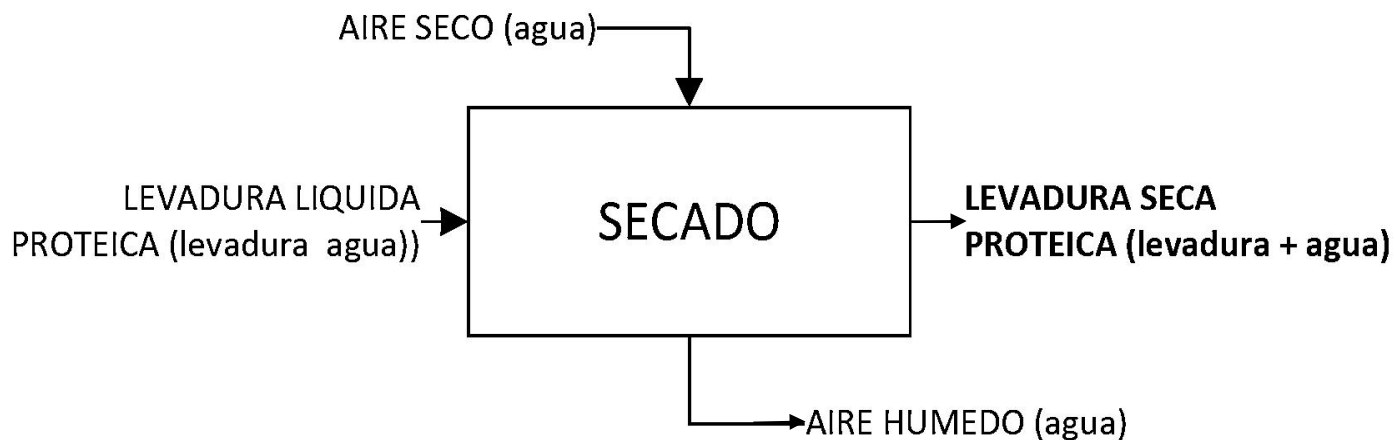
Para el proceso de autólisis se tomaron en cuenta los datos obtenidos de las Tablas 21 y 22. Se obtuvieron los siguientes resultados en el balance de materia observados en las Tablas 36 y 37 para la US-05 expuestas en el APÉNDICE 1.

3.5.1.6. Secado

De acuerdo a los datos presentados en el análisis proximal (APÉNDICE 5) se realizó el balance de materia para la operación unitaria de la estufa por aire convectivo. La Figura 16 indica la estructura tomada para el balance y la Tabla 38 indica la cantidad de agua evaporada para cada experimento, los resultados se muestran en el APÉNDICE 1.

Figura 16

Estructura del balance de materia para el secado de levadura proteica



3.5.2. Cepa BE-256

3.5.2.1. Extracción y lavado de la levadura residual

La Figura 17 indica el balance de materia de la extracción de la biomasa residual del fermentador cónico. La Figura 18 y Figura 19 muestran los datos de la Tabla 9 donde indican los resultados de los lavados de la cepa US-05 cuyos resultados se muestran en el APÉNDICE 2 en la Tabla 39.

Figura 17



Extracción de biomasa residual del fermentador cónico.

Figura 18

Primer lavado de la cepa SafAle BE-256 luego de la extracción de biomasa residual.

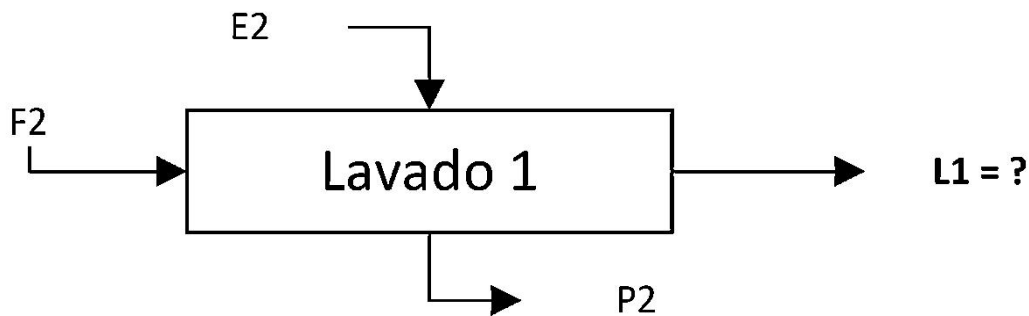
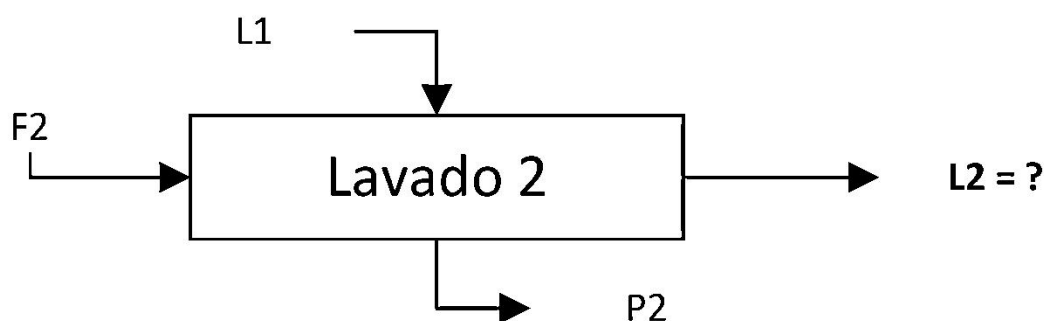


Figura 19



Segundo lavado de la cepa SafAle BE-256 residual y parte líquida).

3.5.2.2. Primera alimentación

Tomando en cuenta los datos de las Tablas 12, 13 y 14; además de la ecuación 1 y el comportamiento de la biomasa, que se encuentra en una concentración de 46×10^6 (SafAle BE-256) como se observa en el APÉNDICE 3; podemos realizar un balance de materia para la primera alimentación al reactor, en las Tabla 40 se muestra a una densidad de 1.050 g/ml y para una densidad de 1.080 g/ml en las Tabla 41 cuyos resultados se muestran en el APÉNDICE 2.

La Figura 15 indica la estructura del balance de materia las adiciones de sustrato para que la biomasa siga creciendo

3.5.2.3. Segunda alimentación

Se tomaron los datos obtenidos de las Tablas 15, 16 y 17; así como la estructura mostrada en la Figura 15 y la Ecuación 1. Se obtuvieron los resultados en el balance de materia

presentados en las Tablas 42 y 43 para la cepa de levadura BE-256 a las diferentes densidades, los resultados se muestran en el APÉNDICE 2.

3.5.2.4. Tercera alimentación

Para la segunda alimentación se tomaron los datos obtenidos de las Tablas 18, 19 y 20; así como la estructura mostrada en la Figura 15 y la Ecuación 1. Los resultados del balance de materia se muestran en las Tablas 44 y 45 para la cepa de levadura BE-256. Los resultados obtenidos se muestran en el APÉNDICE 2.

3.5.2.5. Autólisis

Para el proceso de autólisis se tomaron en cuenta los datos obtenidos de las Tablas 21 y 22. Se obtuvieron los siguientes resultados en el balance de materia observados en las Tablas 46 y 47 para la BE-256. Los resultados se muestran en el APÉNDICE 2.

3.5.2.6. Secado

De acuerdo a los datos presentados en el análisis proximal (APÉNDICE 5) se realizó el balance de materia para la operación unitaria de la estufa por aire convectivo. La Figura 16 indica la estructura tomada para el balance y la Tabla 48 indica la cantidad de agua evaporada para cada experimento y los datos se presentan en el APÉNDICE 2.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Obtención de levadura viable a partir de la biomasa del fermentador.

Los suplementos proteicos aportan proteínas esenciales que pueden ser limitadas en dietas basadas solo en vegetales. Este suplemento tiene diversos beneficios para el desarrollo muscular; asimismo, es de fácil digestión y absorción ya que se formula sin alérgenos comunes. Por estas razones y teniendo en cuenta las bondades ampliamente descritas en el capítulo II, este suplemento es una alternativa de proteína vegetal.

Tras la extracción de la biomasa del fermentador, se obtuvo un sedimento denso de color marrón claro, con olor característico a fermento y aspecto pastoso homogéneo con poca presencia de lúpulo, el cual fue recolectado para su posterior tratamiento.

Con la finalidad de evaluar la viabilidad de la levadura a partir de la biomasa recuperada del fermentador, se realizó un análisis de viabilidad en laboratorio Louis Pasteur, determinándose el conteo de Unidades Formadoras de Colonia por gramo (UFC/g) en las muestras analizadas. Los resultados del análisis microbiológico (APENDICE 3) mostraron que la levadura es viable ya que su conteo fue de 97×10^6 para la cepa SafAle US-05 y de 46×10^6 para la cepa BE-256 por lo tanto denota una buena calidad y estado para reproducir nuevas colonias, es decir, que las cepas de levadura están vivas y metabólicamente activas. lo que confirma que el proceso de recuperación permitió conservar la viabilidad y la capacidad de crecimiento celular de la levadura.

Adicionalmente, se cuantifico la cantidad de levadura residual obtenida luego de los lavados aplicados a la biomasa decantada. La Tabla 23 describe las cantidades de biomasa extraída después de los lavados, la cual representa una opción más sostenible y rentable para la recuperación de levadura residual con fines proteicos, conservando la integridad del producto final y reduciendo la presencia de impurezas y sabores no característicos.

Tabla 23

Cantidad de levadura residual extraída después de los lavados

	SafAle US-05		SafAle BE-256	
	1° enjuague	2° enjuague	1° enjuague	2° enjuague
Biomasa* retirada	3.75 kg	4.79 kg	4.19 kg	5.98 kg
Levadura residual extraída	13.36 kg	11.57 kg	17.65 kg	14.67 kg
Agua de osmosis agregado	3 kg	3 kg	3 kg	3 kg

Nota. *Incluye levadura residual, lúpulo residual y parte líquida.

4.1.2. Reproducción de levadura viable por el método starter.

Con el fin de evaluar la capacidad de reproducción y recuperación de biomasa proteica de las cepas de levadura SafAle US-05 y SafAle BE-256, inicialmente se realizó el análisis del contenido proteico sin reproducción previa, a partir de una base de 100 g de muestra, en el Laboratorio de Análisis Químico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (APENDICE 4). Los resultados iniciales indicaron un contenido de proteína de 36.26 g para la cepa US-05 y 43.60 g para la cepa BE-256, expresados en base seca.

Posteriormente, ambas cepas fueron sometidas a un proceso de reproducción empleando el método starter, bajo condiciones controladas de operación. El cultivo se desarrolló a una temperatura promedio de 32.5 °C, pH promedio de 6 y una oxigenación del sustrato de 3 L/min,

aplicada en intervalos de 2 horas previas a cada adición de sustrato al fermentador (Sonnleitner & Käppeli, 1986). El sistema fue alimentado en tres ocasiones, con intervalos de 24 horas entre cada alimentación, para de favorecer el crecimiento celular y la acumulación de biomasa.

Tabla 24

Resumen de la cantidad de levadura obtenida

Replica	Muestra	Cepa de levadura	Densidad del sustrato	Cantidad de levadura
1	1	US-05	1.050 g/ml	588.298 g
	2	BE-256	1.050 g/ml	637.807 g
	3	US-05	1.080 g/ml	538.322 g
	4	BE-256	1.080 g/ml	574.566 g
	5	US-05	1.050 g/ml	596.956 g
	6	BE-256	1.050 g/ml	615.372 g
	7	US-05	1.080 g/ml	500.678 g
	8	BE-256	1.080 g/ml	576.606 g
2	9	US-05	1.050 g/ml	552.580 g
	10	BE-256	1.050 g/ml	623.016 g
	11	US-05	1.080 g/ml	512.985 g
	12	BE-256	1.080 g/ml	557.283 g
	13	US-05	1.050 g/ml	545.451 g
	14	BE-256	1.050 g/ml	604.899 g
	15	US-05	1.080 g/ml	518.477 g
	16	BE-256	1.080 g/ml	557.354 g

Finalizado el proceso de reproducción, se pesó la levadura proteica obtenida, expresada en gramos, considerando dos niveles de densidad del sustrato (1.050 y 1.080 g/ml) y dos réplicas experimentales por tratamiento. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 24. Para la cepa US-05, la biomasa final osciló entre 500.678 g y 596.956 g, mientras que para la cepa BE-256 los valores registrados se encontraron en el rango de 557.283 g a 637.807 g, dependiendo de la densidad del sustrato y la réplica evaluada.

Posteriormente, la biomasa obtenida fue sometida a un proceso de enfriamiento en cámara de frío a una temperatura aproximada de 4 °C durante 24 horas (Somani et al., 2019), con la finalidad de favorecer la decantación celular. Este tratamiento permitió la separación del sobrenadante, posibilitando la recuperación de la biomasa concentrada para su posterior evaluación.

4.1.3. Resultados del efecto de la temperatura de secado sobre la humedad final y el contenido proteico de la levadura nutricional

La levadura residual obtenida tras el proceso de reproducción fue sometida a secado por convección en una estufa de aire forzado, empleando temperaturas de 60 °C y 80 °C, con la finalidad de evaluar su efecto sobre la humedad final y la retención del contenido proteico de la levadura nutricional obtenida. La Tabla 25 muestra la cantidad de levadura proteica seca obtenida.

Los resultados mostraron que ambas temperaturas permitieron alcanzar valores de humedad compatibles con productos deshidratados, observándose una menor humedad final en las muestras secadas a 80 °C en comparación con aquellas secadas a 60 °C. Sin embargo, al

analizar el contenido proteico en base seca, se evidenciaron diferencias atribuibles a la temperatura aplicada durante el secado.

A una temperatura 60 °C, la cantidad de levadura proteica seca obtenida varió entre 31 g y 40 g, observándose valores mayores en algunas combinaciones de cepa y densidad, especialmente para la cepa BE-256 a una densidad de 1,080 g/ml. En general, esta temperatura permitió obtener cantidades elevadas de producto seco, evidenciando un secado eficiente sin pérdidas aparentes de material proteico.

Tabla 25

Cantidad de levadura seca proteica

Replica	Muestra	Cepa de levadura	Densidad del sustrato	Cantidad de levadura proteica
1	1	US-05	1.050 g/ml	37.00 g
	2	BE-256	1.050 g/ml	36.00 g
	3	US-05	1.080 g/ml	31.00 g
	4	BE-256	1.080 g/ml	40.00 g
	5	US-05	1.050 g/ml	32.00 g
	6	BE-256	1.050 g/ml	30.00 g
	7	US-05	1.080 g/ml	34.00 g
	8	BE-256	1.080 g/ml	37.00 g
2	9	US-05	1.050 g/ml	38.00 g
	10	BE-256	1.050 g/ml	40.00 g
	11	US-05	1.080 g/ml	38.00 g
	12	BE-256	1.080 g/ml	31.00 g
	13	US-05	1.050 g/ml	33.00 g
	14	BE-256	1.050 g/ml	37.00 g
	15	US-05	1.080 g/ml	39.00 g

16	BE-256	1.080 g/ml	38.00 g
----	--------	------------	---------

Por otro lado, a 80 °C, los valores de levadura proteica seca oscilaron entre 30 g y 39 g. Si bien se obtuvieron cantidades comparables a las registradas a 60 °C, no se evidenció un incremento consistente en la cantidad de proteína seca asociada al aumento de la temperatura de secado.

Las muestras secadas a 60 °C presentaron una mayor retención del contenido proteico, en comparación con las muestras sometidas a 80 °C, lo cual sugiere que temperaturas más moderadas favorecen la conservación del contenido proteico de la levadura nutricional. Estos resultados indican que la temperatura de secado influye tanto en la eliminación de humedad como en la cantidad de proteína retenida en el producto final.

La Tabla 26 indica la cantidad el porcentaje de proteína en base seca (sin presencia de humedad) que está presente en el suplemento proteico después del proceso de secado de acuerdo al método AOAC utilizado para el análisis fisicoquímico de las muestras de levadura seca realizados en el laboratorio de análisis químico.

Tabla 26

Cantidad de proteína seca

Muestra	Cepa de levadura	Densidad del sustrato (g/ml)	Temperatura de secado (°C)	Porcentaje de proteína		Desviación estándar (%)
				Réplica 1 (%)	Réplica 2 (%)	
1	US-05	1.050	60	29.77	32.34	1.82
2	BE-256	1.050	60	28.91	32.53	2.56
3	US-05	1.080	60	21.76	25.01	2.30

4	BE-256	1.080	60	27.94	27.87	0.05
5	US-05	1.050	80	23.45	30.39	4.91
6	BE-256	1.050	80	30.78	36.28	3.89
7	US-05	1.080	80	21.42	28.82	5.23
8	BE-256	1.080	80	30.40	30.41	0.01

4.1.4. Resultados de la obtención de un suplemento proteico a partir de residuos de levadura de cerveza

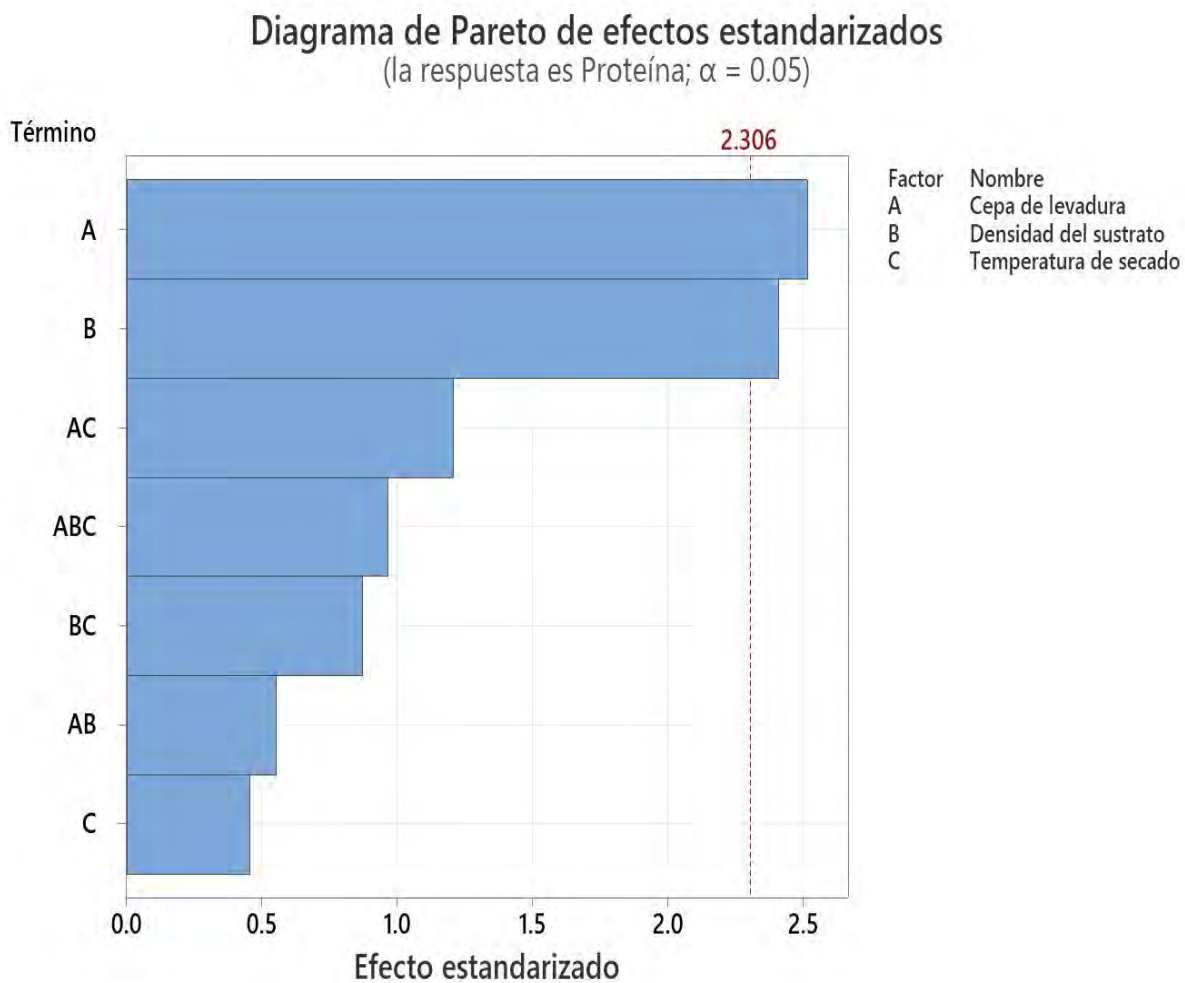
Se realizó un análisis factorial de tipo 2^3 , considerando tres factores: cepa de levadura, densidad del sustrato y temperatura de secado, cada uno evaluado a dos niveles, como se muestra en la Tabla 44. La variable de respuesta analizada fue el porcentaje promedio de proteína obtenido para cada combinación experimental.

En la Figura 20 se presenta el diagrama de Pareto de los efectos estandarizados correspondientes a las variables evaluadas y sus interacciones. Se observa que la variable C (temperatura de secado) no supera el valor crítico de significancia ($\alpha = 0.05$), al igual que las interacciones que la involucran, lo que indica que estos efectos no resultaron estadísticamente significativos para la variable de respuesta analizada.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para los tres factores evaluados indicó que la cepa de levadura (A) y la densidad del sustrato (B) presentaron un efecto significativo sobre el porcentaje de proteína, con valores de p iguales a 0,04 en ambos casos (Tabla 27/28). En contraste, la temperatura de secado (C) y las interacciones dobles y triples no mostraron efectos estadísticamente significativos ($p > 0.05$). El modelo lineal presentó un valor F de 4.12 con un nivel de significancia cercano al límite establecido ($p = 0.05$).

Figura 20

Diagrama de Pareto de las tres variables de estudio y sus interacciones realizado en Minitab



V20

Tabla 27

Análisis de varianza de las tres variables de estudio y sus interacciones realizado en el programa Minitab v20

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	161.38	23.054	2.26	0.14
Lineal	3	126.13	42.042	4.12	0.05
Cepa de levadura (A)	1	64.64	64.642	6.33	0.04
Densidad del sustrato (B)	1	59.37	59.367	5.81	0.04
Temperatura de secado (C)	1	2.12	2.117	0.21	0.66
Interacciones de 2 términos	3	25.71	8.568	0.84	0.51
A * B	1	3.12	3.115	0.30	0.60
A * C	1	14.86	14.861	1.45	0.26
B * C	1	7.73	7.728	0.76	0.41
Interacciones de 3 términos	1	9.55	9.548	0.93	0.36
A * B * C	1	9.55	9.548	0.93	0.36
Error	8	81.73	10.216		
Total	15	243.10			

La Tabla 28 presenta el análisis de varianza correspondiente al modelo reducido, obtenido tras descartar los efectos no significativos, manteniéndose únicamente los factores que influyen sobre la variable de respuesta, con el fin de simplificar el modelo estadístico. En este análisis, la cepa de levadura y la densidad del sustrato permanecen como factores significativos, mientras que la temperatura de secado no muestra un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de proteína.

Tabla 28

Análisis de varianza realizado en el programa Minitab v20

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	2	124.01	62.004	6.77	0.010
Lineal	2	124.01	62.004	6.77	0.010
Cepa de levadura (A)	1	64.64	64.642	7.06	0.020
Densidad del sustrato (B)	1	59.37	59.367	6.48	0.024
Error	13	119.09	9.161		
Falta de ajuste	5	37.37	7.474	0.73	0.620
Error puro	8	81.73	10.216		
Total	15	243.10			

De manera concordante, la Figura 21 muestra el diagrama de Pareto de los efectos estandarizados, donde se observa que los factores cepa de levadura y densidad del sustrato superan el valor crítico de significancia, confirmando su influencia sobre la variable de respuesta analizada.

Figura 21

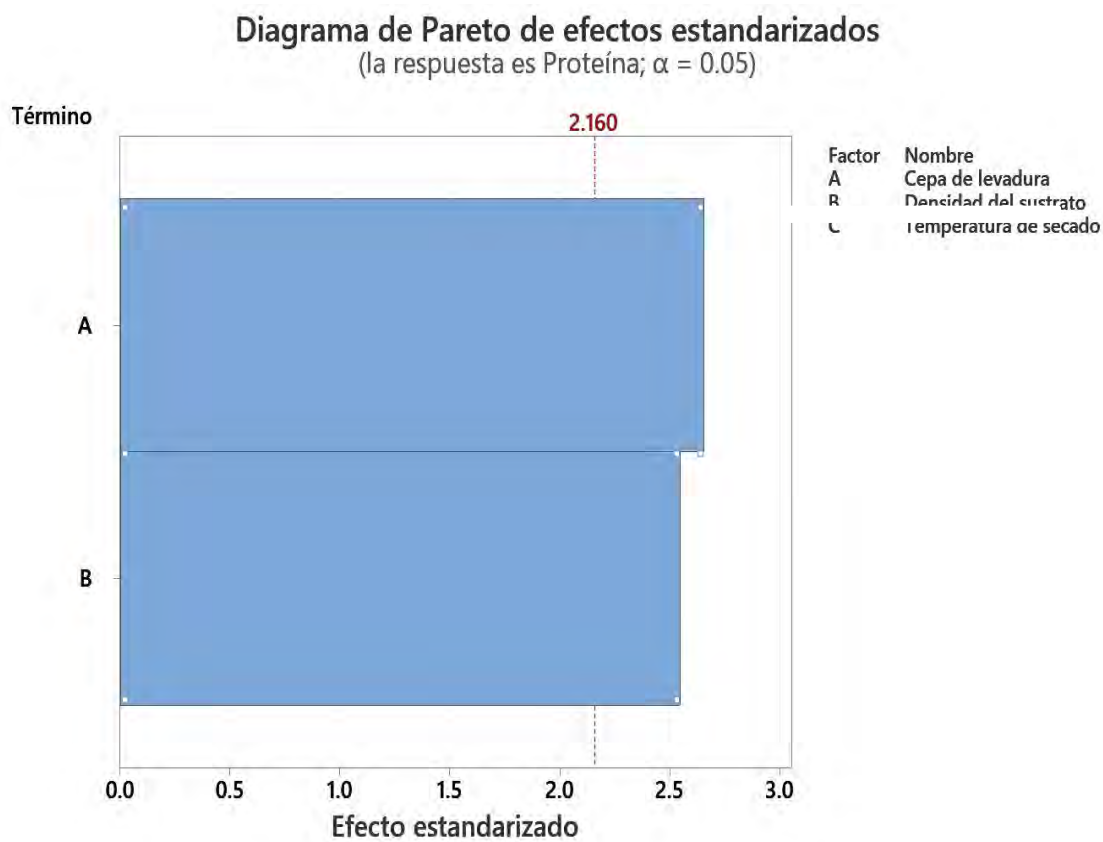


Diagrama de Pareto elaborado en el programa Minitab v20

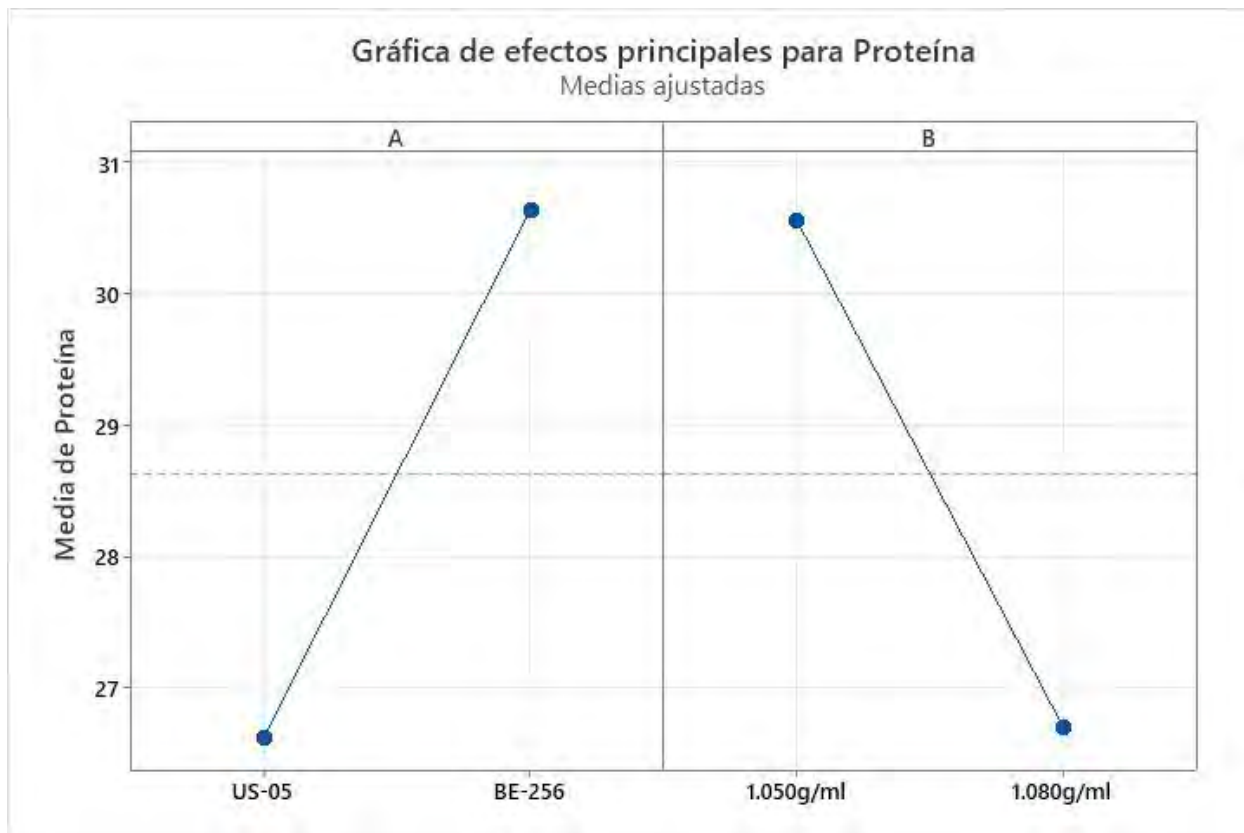
La Figura 22 Muestra la gráfica de efectos muestra que tanto la cepa utilizada como la densidad del sustrato presentan pendientes pronunciadas, lo que indica que ambos factores influyen significativamente en el contenido de proteína. La diferencia entre los niveles es considerable, confirmando los resultados del ANOVA donde ambos factores resultaron estadísticamente significativos.

Se observa que cuando se cambia la cepa de levadura, la pendiente es positiva y pronunciada y la cantidad de proteína aumenta de 26.62 % a 30.64 % lo que indica que la cepa de levadura tiene un efecto significativo.

Por el contrario, la densidad del sustrato, presenta una línea con pendiente negativa lo que indica que al aumentar la densidad de 1.050 g/ml a 1.080 g/ml disminuye la cantidad de proteína final de 30.56 % a 26.7 %.

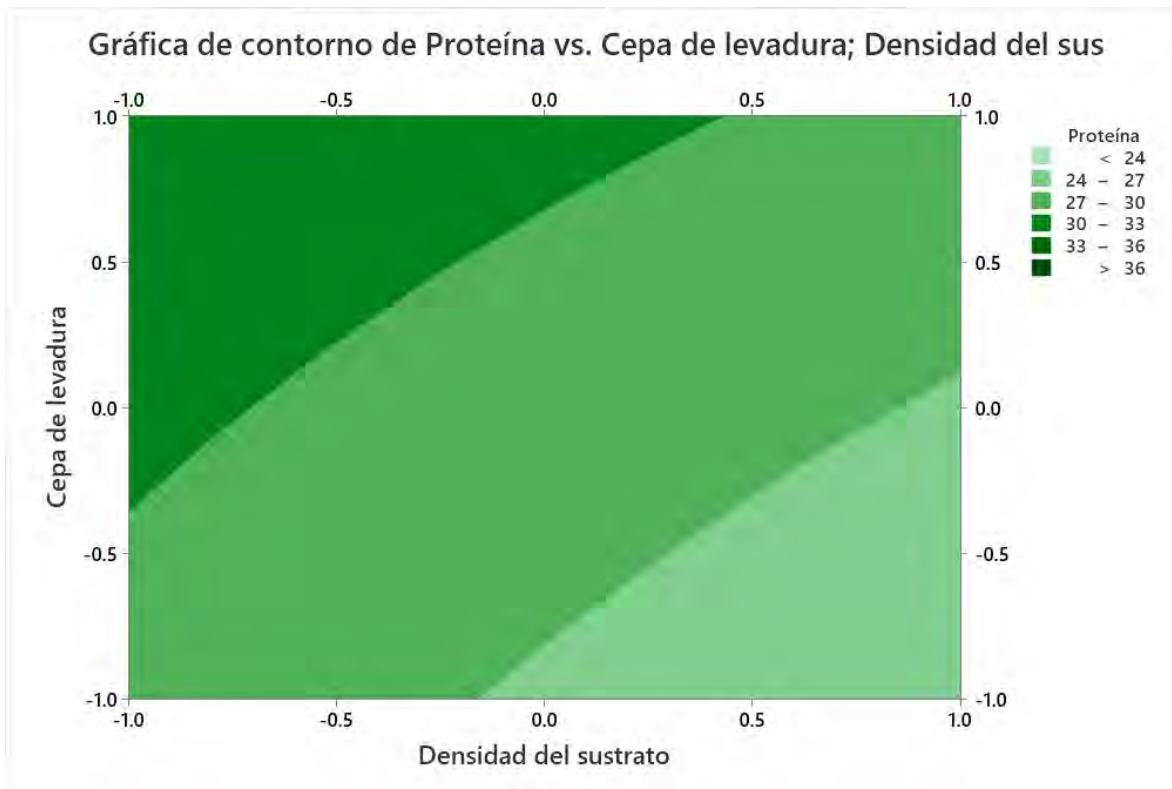
Figura 22

Gráfica de efectos principales para la proteína.



La gráfica de contorno muestra la interacción entre la cepa de levadura y la densidad del sustrato sobre el contenido de proteína. En la Figura 23 se observa que las zonas de mayor intensidad de color (verde oscuro) corresponden a mayores concentraciones proteicas que rondan entre el 30% y 33% y la disposición diagonal de las bandas indica una posible interacción entre ambos factores, donde la cepa y la densidad resultaron estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

Figura 23

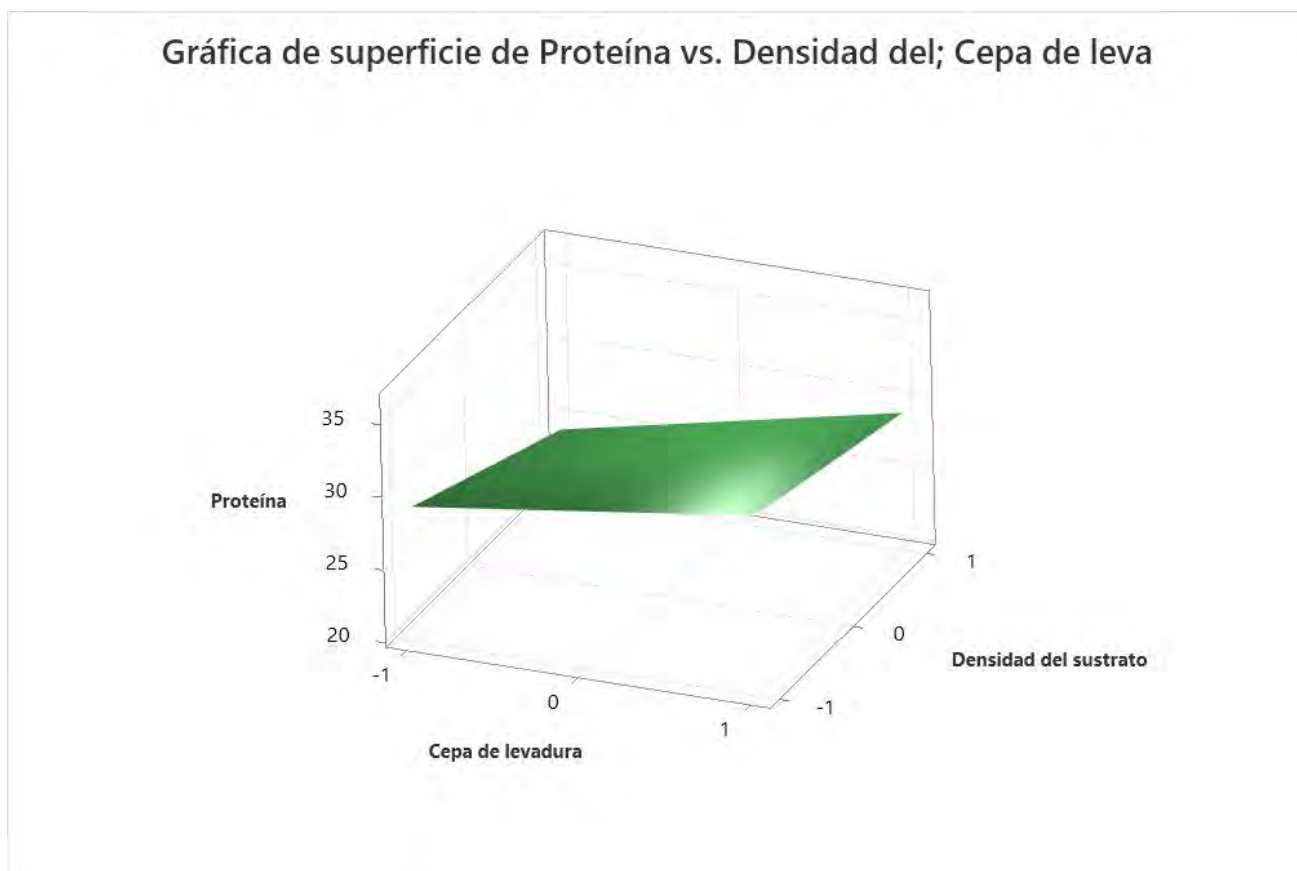


Gráfica de contorno.

La gráfica de superficie evidencia una tendencia creciente del contenido proteico en función de la cepa y la densidad del sustrato. Se observa una tendencia ascendente lo que confirma la influencia significativa de ambos factores, mientras que la ausencia de curvaturas pronunciadas sugiere un comportamiento predominantemente lineal dentro del rango evaluado. En la Figura 24 se observa que al aumentar la densidad del sustrato hacia el nivel de 1.050 g/ml, la proteína incrementa, de igual manera la inclinación también muestra que la cepa SafAle BE-256 genera mayor contenido proteico.

Figura 24

Gráfica de superficie.



4.2. Discusión

4.2.1. Discusión de la obtención de levadura viable mediante decantación básica

La obtención de levadura viable mediante decantación básica permitió recuperar una biomasa limpia y funcional, adecuada para su posterior reproducción y secado, manteniendo la integridad celular y la composición proteica de la levadura residual de cerveza. Este enfoque se diferencia de métodos industriales reportados en la literatura, los cuales priorizan la ruptura

celular y la maximización del rendimiento extractivo, generalmente asociados a mayores requerimientos técnicos y energéticos.

En estudios como los de Biz et al. (2020) y Otero et al. (2000), la levadura residual es sometida a procesos de centrifugación intensiva, tratamientos térmicos o disrupción celular mediante autólisis, con el fin de obtener extractos y derivados alimentarios. Si bien estos métodos permiten recuperar compuestos solubles de interés, implican la pérdida de viabilidad celular, lo cual limita su aplicación cuando se requiere una biomasa activa para procesos posteriores de propagación.

En comparación, el método de decantación básica aplicado en la presente investigación permitió separar eficientemente la levadura del sobrenadante sin recurrir al uso de calor ni a fuerzas mecánicas intensas. La ausencia de tratamientos térmicos reduce el riesgo de desnaturalización de proteínas, aspecto relevante considerando que el contenido proteico constituye el principal parámetro de evaluación del suplemento desarrollado. Esta observación es consistente con lo reportado por Delphine et al. (2023) y Łukaszewicz et al. (2024), quienes resaltan la importancia de preservar la composición original de la biomasa para mantener su valor nutricional.

Asimismo, a diferencia de los procedimientos descritos por Sceni (2021), donde la aplicación de tratamientos térmicos previos incrementó la resistencia de la pared celular a la ruptura, o de los métodos evaluados por Jacob et al. (2019), que emplearon autólisis y ultrasonido para liberar componentes intracelulares, el presente estudio priorizó la obtención de una biomasa íntegra y metabólicamente funcional. Esta estrategia permitió conservar la

capacidad reproductiva de la levadura, condición necesaria para evaluar posteriormente el efecto de la cepa y de la densidad del sustrato sobre la producción de biomasa y el contenido proteico.

Desde un enfoque biotecnológico, la preservación del estado fisiológico de la levadura resulta coherente con lo señalado por Lange y Heijnen (2001), quienes demostraron que la composición de la biomasa microbiana depende directamente de las condiciones de crecimiento y del equilibrio metabólico de las células. Al evitar tratamientos agresivos durante la etapa de recuperación, se favoreció la obtención de una levadura con características adecuadas para su aprovechamiento en procesos de valorización nutricional.

De este modo, la etapa de recuperación mediante decantación básica se integra como un procedimiento que prioriza la calidad del material biológico obtenido, en concordancia con el enfoque del estudio, orientado al desarrollo de un suplemento proteico a partir de residuos de levadura de cerveza.

4.2.2. Discusión de la reproducción de levadura viable mediante el método starter con retroalimentación constante

La reproducción de la levadura viable mediante el método starter con retroalimentación constante permitió incrementar significativamente la biomasa a partir de la levadura recuperada, manteniendo su viabilidad y funcionalidad para aplicaciones alimentarias. El control continuo de variables críticas como pH, temperatura y oxigenación favoreció un entorno metabólicamente estable, condición determinante para la multiplicación celular y la síntesis de componentes estructurales, entre ellos las proteínas.

En el presente estudio, la biomasa logró multiplicarse hasta cinco veces en un periodo aproximado de 72 horas, lo que evidencia la eficiencia del método starter como estrategia de

propagación controlada. Este resultado adquiere relevancia al compararse con estudios como los de Otero et al. (2000) y Biz et al. (2020), en los cuales la valorización de la levadura residual se centra principalmente en procesos de interrupción celular y secado, sin detallar etapas previas de reproducción celular orientadas a maximizar la biomasa viable. En dichos trabajos, la levadura es tratada directamente como un subproducto a estabilizar, más que como un material biológico activo susceptible de crecimiento.

De manera similar, Sceni (2021) reconoce el valor funcional de la levadura cervecera residual; sin embargo, su enfoque se orienta a la liberación de proteínas mediante tratamientos térmicos y homogeneización a alta presión, sin profundizar en estrategias de crecimiento previo que permitan incrementar la biomasa antes de la ruptura celular. En contraste, el método starter aplicado en esta investigación permitió escalar la biomasa conservando su integridad celular, lo que resulta particularmente relevante cuando el objetivo es la obtención de un suplemento proteico y no únicamente extractos solubles.

El uso de retroalimentación constante durante el proceso de reproducción favoreció una cinética de crecimiento más eficiente, reduciendo posibles desviaciones metabólicas asociadas a limitaciones de oxígeno o variaciones bruscas de pH. Este enfoque se alinea con lo reportado por Lange y Heijnen (2001), quienes demostraron que el estado fisiológico de la levadura y su composición bioquímica están estrechamente ligados a las condiciones de cultivo y al equilibrio de nutrientes durante el crecimiento celular.

Adicionalmente, el empleo del enfriamiento como pretratamiento previo a etapas posteriores representó una estrategia eficiente y de bajo costo para estabilizar la biomasa reproducida sin comprometer su integridad estructural ni su valor nutricional. A diferencia de lo

reportado por Biz et al. (2020) y Otero et al. (2000), quienes optaron por secado directo o disrupción celular como métodos de estabilización, el uso del frío permitió preservar la viabilidad de la levadura, aspecto clave para garantizar la consistencia del material biológico empleado en las etapas experimentales siguientes.

Desde esta perspectiva, la reproducción de la levadura mediante el método starter no solo permitió incrementar la cantidad de biomasa disponible, sino que también contribuyó a mantener características fisiológicas adecuadas para evaluar, en las fases posteriores, el efecto de variables como la cepa, la densidad del sustrato y la temperatura de secado sobre el contenido proteico del producto final.

4.2.3. Discusión de la influencia de la temperatura de secado en la estabilidad del contenido proteico de la levadura nutricional

La temperatura de secado constituye una variable crítica en la obtención de levadura nutricional, ya que influye directamente tanto en la eliminación de humedad como en la estabilidad del contenido proteico del producto final. En la presente investigación, el secado por convección utilizando una estufa de aire forzado permitió evaluar el comportamiento de la biomasa a temperaturas de 60 °C y 80 °C, evidenciando diferencias en la concentración de proteína obtenida según la cepa de levadura empleada.

Los resultados mostraron que el secado convectivo a 80 °C favoreció una mayor concentración de proteína en la biomasa, alcanzándose valores de hasta 36.28 % en la cepa SafAle BE-256. Este comportamiento sugiere que, bajo determinadas condiciones, una mayor temperatura de secado puede contribuir a una reducción más eficiente del contenido de humedad, concentrando la fracción proteica en el producto final. No obstante, este efecto no fue uniforme

para todas las cepas evaluadas, lo que indica que la respuesta al secado térmico depende de características intrínsecas de cada cepa, como la composición de la pared celular y su resistencia al estrés térmico.

En comparación con métodos más intensivos, como el secado por atomización reportado por Otero et al. (2000) o los modelos cinéticos de secado aplicados por Biz et al. (2020), el secado convectivo empleado en este estudio representa una alternativa tecnológica más simple y de menor costo. Mientras que dichos autores se enfocan en la optimización del proceso de secado desde una perspectiva industrial y matemática, el presente trabajo pone énfasis en el efecto directo de la temperatura sobre la estabilidad del contenido proteico, considerando la levadura como un ingrediente nutricional y no únicamente como un material a estabilizar.

Si bien temperaturas elevadas pueden asociarse con riesgos de desnaturalización proteica, los resultados obtenidos sugieren que, en cepas como SafAle BE-256, el secado a 80 °C no comprometió de manera significativa la estabilidad del contenido proteico. Este comportamiento coincide parcialmente con lo reportado por Sceni (2021), quien señala que la respuesta de la levadura a tratamientos térmicos depende del estado fisiológico previo y de la resistencia estructural de la célula. De manera similar, Jacob et al. (2019) destacan que la variabilidad entre cepas de *Saccharomyces* influye de forma determinante en la conservación de macromoléculas durante procesos de secado y tratamiento térmico.

Asimismo, los resultados obtenidos a 60 °C mostraron una mayor retención relativa del contenido proteico en algunas condiciones experimentales, lo que sugiere que temperaturas moderadas pueden favorecer la preservación de las proteínas al minimizar procesos de desnaturalización. Sin embargo, la menor eficiencia en la eliminación de humedad a esta

temperatura limita la concentración final de proteína, evidenciando un compromiso entre estabilidad proteica y eficiencia del secado.

Desde este enfoque, la evaluación de la temperatura de secado permitió identificar diferencias relevantes en la respuesta de la biomasa, aportando información clave para el diseño de procesos orientados a la obtención de levadura nutricional. La influencia observada de la temperatura, en interacción con la cepa utilizada, refuerza la necesidad de considerar las características biológicas del material al definir las condiciones de secado, en concordancia con lo planteado por Yusta et al. (2017) y Achigar (2017), quienes destacan la importancia de ajustar selectivamente los factores críticos del proceso en función del objetivo nutricional del producto.

4.2.4. Discusión de la obtención de un suplemento alto en proteínas a partir de residuos de levadura de cerveza

La obtención de un suplemento alto en proteínas a partir de residuos de levadura de cerveza fue abordada mediante un diseño factorial que permitió evaluar de manera simultánea la influencia de la cepa de levadura, la densidad del sustrato y la temperatura de secado sobre el porcentaje de proteína del producto final. Este enfoque experimental facilitó la identificación de los factores que contribuyen de forma más relevante al rendimiento proteico, así como la evaluación de posibles interacciones entre las variables del proceso.

El análisis factorial aplicado evidenció diferencias en el porcentaje de proteína obtenido bajo distintas condiciones de reproducción celular y secado, permitiendo analizar tanto los efectos individuales de cada factor como las interacciones dobles y triples. Sin embargo, de acuerdo con el análisis de varianza presentado en la Tabla 24, únicamente la cepa de levadura y la densidad del sustrato mostraron un efecto estadísticamente significativo sobre la variable de

respuesta, mientras que la temperatura de secado y las interacciones asociadas a este factor no presentaron significancia estadística. Estos resultados indican que la variabilidad del contenido proteico del suplemento está principalmente asociada a las condiciones de propagación celular más que a la etapa térmica de estabilización.

El modelo factorial inicial presentó un coeficiente de determinación R^2 de 66.38 % y un R^2 ajustado de 36.97 %, lo que sugiere la presencia de sobreajuste debido a la inclusión de términos no significativos. En este contexto, la simplificación del modelo estadístico, excluyendo la temperatura de secado y las interacciones dobles y triples conforme al principio de jerarquía, permitió una interpretación más clara de los efectos relevantes, reduciendo la complejidad del modelo sin perder capacidad explicativa.

Los resultados del modelo reducido confirman que la cepa de levadura y la densidad del sustrato son los factores que influyen significativamente en el contenido proteico del suplemento obtenido. La mayor respuesta observada al emplear una densidad de sustrato de 1.050 g/mL sugiere condiciones más favorables para la reproducción celular y la síntesis de biomasa, lo cual concuerda con lo señalado por Lange y Heijnen (2001), quienes destacan que la disponibilidad de nutrientes y el balance metabólico influyen directamente en la composición de la biomasa microbiana. Asimismo, la cepa SafAle BE-256 mostró un mayor potencial para la generación de proteína, lo que refuerza la importancia de la selección de la cepa como variable crítica en procesos de valorización de levaduras residuales, tal como lo reportan Jacob et al. (2019) y Bertolo et al. (2021).

Si bien la temperatura de secado no resultó estadísticamente significativa según el análisis de varianza, se observaron diferencias descriptivas en los valores de concentración de

proteína entre las temperaturas evaluadas. En particular, el secado a 80 °C mostró valores puntuales de mayor concentración proteica en determinadas combinaciones experimentales, lo que puede atribuirse a una mayor eficiencia en la eliminación de humedad y a un efecto de concentración del componente proteico. No obstante, estas variaciones no fueron suficientes para atribuir un efecto significativo a este factor dentro del modelo estadístico, lo que sugiere que su influencia es secundaria frente a las variables asociadas a la reproducción celular.

El modelo reducido presentó un coeficiente de determinación R^2 de 51.01 % y un R^2 ajustado de 43.47 %, indicando que la variabilidad observada en el contenido de proteína es explicada principalmente por los factores cepa de levadura (A) y densidad del sustrato (B). Estos valores son considerados aceptables en experimentos de naturaleza biológica, donde intervienen múltiples fuentes de variación, tales como diferencias metabólicas entre células, condiciones microambientales y posibles pérdidas durante el proceso de secado, tal como lo señala Montgomery (2017).

La ecuación reducida obtenida (Ecuación 3), de comportamiento lineal, describe la relación entre los factores significativos y la variable de respuesta mediante la ecuación:

$$Y_{(\text{proteína})} = 28.630 + 2.010A - 1.926B \quad (3)$$

El coeficiente positivo asociado a la cepa de levadura indica que el incremento del nivel de este factor favorece la producción de proteína, mientras que el coeficiente negativo correspondiente a la densidad del sustrato sugiere un efecto inverso sobre la variable de respuesta dentro del rango evaluado. Esta relación concuerda con lo reportado por Yusta et al. (2017) y Albarracín (2020), quienes señalan que determinadas condiciones de propagación influyen directamente en la concentración y preservación del contenido proteico de la biomasa de

levadura, y que ajustes finos en las variables de cultivo pueden resultar más determinantes que modificaciones en etapas posteriores del proceso.

En este contexto, el análisis integrado de los resultados experimentales y del modelo estadístico permite comprender el comportamiento del sistema estudiado y aporta información relevante para el diseño de procesos más eficientes de propagación y secado de levaduras. Este enfoque se alinea con lo propuesto por Achigar (2017) y Yusta et al. (2017), quienes recomiendan el ajuste selectivo de los factores críticos del proceso, priorizando aquellos con mayor impacto sobre la variable de interés, en lugar del control simultáneo de todas las variables del sistema.

CONCLUSIONES

1. Se obtuvo un suplemento proteico a partir de residuos de levadura de cerveza artesanal con un contenido de proteína en base seca comprendido entre 30.78% y 36.28%, empleando procesos de decantación, reproducción celular y secado convectivo. Estos valores confirman que la biomasa residual cervecera puede ser valorizada como materia prima para suplementos nutricionales con alto contenido proteico.
2. El método de decantación básica permitió recuperar levadura viable con conteos microbiológicos de 97×10^6 UFC/g para la cepa SafAle US-05 y 46×10^6 UFC/g para la cepa SafAle BE-256, demostrando una eficiencia de recuperación adecuada y la conservación del estado fisiológico de la levadura para su posterior propagación.
3. La reproducción de la levadura mediante el método starter con retroalimentación constante, operando a 32.5 °C, pH 6 y oxigenación de 3 L/min, permitió incrementar la biomasa hasta un rango de 500.678 g a 637.807 g en un periodo de 72 horas, siendo la cepa SafAle BE-256 la que presentó mayor producción de biomasa a una densidad de sustrato de 1.050 g/mL.
4. El análisis factorial y el ANOVA indicaron que la cepa de levadura ($p = 0.020$) y la densidad del sustrato ($p = 0.024$) influyeron significativamente en el porcentaje de proteína obtenido, mientras que la temperatura de secado (60 °C y 80 °C) no presentó un efecto estadísticamente significativo ($p = 0.66$), evidenciándose que la temperatura de 60 °C tampoco generó diferencias significativas en comparación con 80 °C sobre el

contenido proteico. El modelo estadístico reducido presentó un R^2 ajustado de 43.47%, lo que indica que la variabilidad del contenido proteico está principalmente asociada a las condiciones de propagación celular. No obstante, la combinación BE-256 – 1.050 g/mL – 80 °C presentó los mayores rendimientos proteicos observados, con valores de 30.78% y 36.28%.

RECOMENDACIONES

1. Promover la implementación del proceso desarrollado a nivel piloto o semiindustrial en cervecerías artesanales, con el fin de valorizar la biomasa residual generada durante la fermentación y producir suplementos proteicos para consumo humano, fortaleciendo el aprovechamiento integral de los subproductos de la industria cervecera.
2. Evaluar y establecer condiciones de cultivo controladas durante la etapa de reproducción de la levadura, considerando variables como pH, temperatura, oxigenación, densidad del sustrato, fuentes de carbono y estrategias de alimentación dentro del método starter, con la finalidad de incrementar la producción de biomasa y el contenido proteico del suplemento, especialmente en cepas con alto potencial como SafAle BE-256.
3. Ampliar el rango de temperaturas, así como evaluar métodos de secado de mayor eficiencia como la liofilización, secado por atomización y secado al vacío, con la finalidad de optimizar la remoción de humedad, mejorar la retención del contenido proteico y preservar las propiedades nutricionales de la levadura nutricional obtenida.
4. Ampliar el rango de temperaturas, así como evaluar métodos de secado de mayor eficiencia como la liofilización, secado por atomización y secado al vacío, con la finalidad de optimizar la remoción de humedad, mejorar la retención del contenido proteico y preservar las propiedades nutricionales de la levadura nutricional obtenida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Achigar, R. (2017). *Aislamiento, selección e identificación de levaduras nativas con propiedades enológicas en uvas Tannat* [Tesis de grado, Universidad ORT Uruguay]. Repositorio RAD. rad.ort.edu.uy

Albarracín Torres, K. G. (2020). *Estudio de parámetros para la propagación de las cepas de levadura cervecera *Saccharomyces cerevisiae* y *Saccharomyces calshbergensis* para la fabricación de cerveza artesana* [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid].

Alpizar Rodríguez, D. (2010). *Evaluación de diferentes productos alimenticios elaborados con dos derivados de levadura para aumentar su valor nutricional y funcional sin detrimento de su calidad sensorial* [Tesis de grado, Universidad de Costa Rica].

Bamforth, C. W. (2006). *Brewing: New Technologies* (edición ilustrada). Woodhead Publishing; CRC Press. ISBN 978-0849391590 Google BooksElsevier Shop

Barth, R. (2013). *The chemistry of beer*. En ACS Symposium Series (Vol. 1130). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1021/bk-2013-1130.ch004>

Battley, E. H. (1999). *An empirical method for estimating the entropy of formation and the absolute entropy of dried microbial biomass for use in studies on the thermodynamics of microbial growth*. *Thermochimica Acta*, 326(1–2), 7–15. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(98\)00584-X](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(98)00584-X)

Benavides, N. (2021). *Levadura nutricional: sabe igual que el parmesano, pero no engorda nada*. Clara Newsletters. Recuperado de https://www.clara.es/bienestar/alimentacion/levadura-nutricional-propiedades-recetas_13132

Biz, A. P., Rigo, E., Bertolo, A. P., & Cavalheiro, D. (2020). *Cellular disruption and its influence over the drying kinetics of brewer's spent yeast biomass*. *Acta Scientiarum: Technology*, 42(1), 1–8. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v42i1.48792>

Bokulich, N. A., & Bamforth, C. W. (2017). *Brewing Microbiology*. Caister Academic Press. <https://doi.org/10.1007/978-1-4684-0038-0>

Brown, N. (2022). *Yeast protein as a quickly consumable food*. 18(01).

Castillo Martínez, W. E., Manayay Sánchez, D., Domínguez Castañeda, J. M., Palacios Ambrocio, A. L., Quezada Berru, S. M., & Gonzales Capcha, J. K. (2014). *Evaluación del proceso de secado por aire caliente de manzana (Pyrus malus)*. *Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 1(2), 17–28.

Chel Guerrero, L. A., Corzo Ríos, L., & Betancur Ancona, D. A. (2003). *Estructura y propiedades funcionales de proteínas de leguminosas*. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*, 227, 34–43.

Colina, J. (2010). *Determinación de humedad óptima para productos secos* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana

Consejo de Educación Técnico Profesional. (2020). *Estructura y funciones de las proteínas*.

Denenberg, Z. (2023). *What's so "nutritional" about nutritional yeast?* Epicurious. Recuperado de <https://www.epicurious.com/ingredients/what-is-nutritional-yeast>

D'Amore, T., Russell, I., & Stewart, G. G. (1989). Sugar utilization by yeast during fermentation. *Journal of Industrial Microbiology*, 4(4), 315–324. <https://doi.org/10.1007/BF01569695>

Eßlinger, H. M. (2009). *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets*. Wiley-VCH. <https://doi.org/10.1002/9783527623488.ch4>

Fernández-Niño, M., & Barreiro, C. (2023). *Regulation of Saccharomyces cerevisiae glycolysis in response to glucose and sucrose*. *Frontiers in Microbiology*, 14, 11895419.

Ferreira, L. (2014). *Elaboración de cerveza: Historia y evolución, desarrollo de actividades de capacitación e implementación de mejoras tecnológicas para productores artesanales* [Tesis de grado, Universidad Nacional de La Plata]. Recuperado de <http://lipa.agro.unlp.edu.ar/.../Trabajo-Final-Leonel-Ferreira-.pdf>

Ferreira, L. (2020). *Introducción a la elaboración de cerveza artesanal*. Universidad Nacional de La Plata.

Foerster, A. von. (2018). *¿Levadura de cerveza o levadura nutricional?* Recuperado de <https://alimentoyconciencia.com/levadura-de-cerveza-o-levadura-nutricional/>

García Cortés, V. (2004). *Introducción a la microbiología* (2ª ed.). Editorial Universidad Estatal a Distancia.

García Pereira, A., Muñiz Becerá, S., Hernández Gómez, A., González, L. M., & Fernández Valdés, D. (2013). *Análisis comparativo de la cinética de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente de la piña (Ananas comosus, variedad Cayena lisa)*. *Revista Ciencias*

Técnicas Agropecuarias, 22(1), 62–69. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542013000100011>

Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Fund for Agricultural Development, United Nations Children’s Fund, World Food Programme & World Health Organization. (2025). The State of Food Security and Nutrition in the World 2025: Addressing high food price inflation for food security and nutrition (capítulo “Ending hunger, food security and nutrition” [versión en línea]). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/cd6008en>

Gisbert Verdú, M. (2016). *Diseño del proceso industrial para la elaboración de cerveza* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia]. Recuperado de https://riunet.upv.es/.../Diseño_y_puesta_en_marcha_de_una_planta_elaboradora_de_cerveza.pdf?sequence=3

González-Torres, L., Téllez-Valencia, A., Sampedro, J. G., & Nájera, H. (2007). *Las proteínas en la nutrición*. Revista Salud Pública y Nutrición, 8(2), 1–7.

Hägström, C. (2008). *Media requirements for aerobic cultivation of a yeast strain related to Saccharomyces cerevisiae TMB3400 on softwood hydrolysate* [Informe técnico, Luleå University of Technology].

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill Education.

Huxley, S. (2006). *La cerveza. Poesía líquida: Un manual para cervesiáfilos*. Ediciones TREA, S. L.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2024). *N.º 040 | Resultados de los principales indicadores de la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar (ENDES-2023)* [Informe estadístico oficial]. <https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-n-040-2024-inei.pdf>

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2024). *Perú: Encuesta Demográfica y de Salud Familiar, ENDES 2023 – Nacional y Departamental* [Informe estadístico oficial]. https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1950/libro.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2025). *Perú: Indicadores de resultados de los programas presupuestales – Encuesta Demográfica y de Salud Familiar (ENDES 2024) – Lactancia materna en menores de seis meses* [Informe estadístico oficial]. https://proyectos.inei.gov.pe/endes/2024/ppr2/Indicadores_de_Resultados_de_los_Programas_Presupuestales_ENDES_2024.pdf

Jach, M. E., & Serefko, A. (2018). *Nutritional yeast biomass: Characterization and application*. En *Diet, Microbiome and Health* (pp. 237–270). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811440-7.00009-0>

Jach, M. E., Serefko, A., Ziaja, M., & Kieliszek, M. (2022). *Yeast protein as an easily accessible food source*. *Metabolites*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/metabo12010063>

Jacob, F. F., Striegel, L., Rychlik, M., Hutzler, M., & Methner, F. J. (2019). *Spent yeast from brewing processes: A biodiverse starting material for yeast extract production*. *Fermentation*, 5(2). <https://doi.org/10.3390/fermentation5020051>

Jaeger, A., Arendt, E. K., & Zannini, E. (2020). *Brewer's Spent Yeast (BSY), an underutilized brewing by-product*, 1–23.

Kirk, R. E. (2013). *Experimental design: Procedures for the behavioral sciences* (4th ed.). SAGE Publications.

Kunze, W. (2006). *Tecnología para cerveceros y malteros*. VLB Berlin.

Kumar, V., et al. (2023). Nutritional and functional potential of yeast-derived products for human consumption. *Food Science & Nutrition*, 11(2), 1–15. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3175>

Landwehr, T. (1999). *La deshidratación de frutas: métodos y posibilidades*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.

Leroy, F., & De Vuyst, L. (2004). *Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry*. *Trends in Food Science & Technology*, 15(2), 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.004>

Liepiņš, J. (2015). *Aspects of yeast *Saccharomyces cerevisiae* desiccation tolerance* [Tesis de grado, University of Latvia].

Luque Guillén, V. (2011). *Estructura y propiedades de las proteínas*. Bionova.

Ma, C., Xia, S., Song, J., Hou, Y., Hao, T., Shen, S., Li, K., Xue, C., & Jiang, X. (2023). *Yeast protein as a novel dietary protein source: Comparison with four common plant proteins in physicochemical properties*. *Current Research in Food Science*, 7, Article 100555. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100555>

Martínez Agustín, O., & Martínez de Victoria, E. (2006). *Proteínas y péptidos en nutrición enteral*. *Nutrición Hospitalaria*, 21(Suppl. 2), 1–14.

Maupoey, P. F., Grau, A. M. A., Sorolla, A. M. A., & Baviera, J. M. B. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. [Editorial no especificada].

Mayo Clinic. (1 de marzo de 2023). *Dieta vegetariana: cómo obtener la mejor nutrición*. Mayo Clinic. <https://www.mayoclinic.org/es/healthy-lifestyle/nutrition-and-healthy-eating/in-depth/vegetarian-diet/art-20046446>

Meledina, T. V., Ivanova, V. A., Golovinskaia O. V., & Harba R. (2021). *Yeast Morphology and Physiology*. ITMO University. Recuperado de <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2760.pdf>

Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments* (9th ed.). John Wiley & Sons.

Moreno Salazar, S. F. (2016). *Temas selectos de Bioquímica General*. Obtenido de Departamento de Agricultura y Ganadería: Universidad de Sonora.

Nielsen Holdings plc. (2016). Estudio global sobre estilos de vida y preferencias alimentarias. <https://www.nielsen.com/wp-content/uploads/sites/3/2019/04/global-ingredients-and-out-of-home-dining-report.pdf>

Ochoa-Reyes, E., Ornelas-Paz, J. de J., Ruiz-Cruz, S., Ibarra-Junquera, V., Pérez-Martínez, J. D., Guevara-Arauz, J. C., & Aguilar, C. N. (2012). *Tecnologías de deshidratación para la preservación de tomate (Lycopersicon esculentum Mill.)*. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 15(2), 39–46.

Otero, M. A., Cabello, A., Vasallo, M. C., García, L., & López, J. (2000). *Tecnología para la utilización integral de la levadura de cerveza en la industria alimenticia*. Revista Científica, 4(4). Recuperado de <https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0004-06222000000400007>

O'Rourke, T. (2021, 14 enero). *Volver a lo básico 2 – Metabolismo de carbohidratos*. *ConEspuma*. <https://conespuma.com/blog/2021/1/14/volver-a-lo-bsico-2-metabolismo-de-carbohidratos>

Palmer, J. J. (2017). *How to Brew* (4ª ed.). Brewers Publications.

Pennacchiotti Monti, I. (1998). *Las proteínas: generalidades y su importancia en nutrición y en la industria de alimentos*. Impresos Universitaria, S. A.

Percara, M. C. (2013). *Levadura nutricional: beneficios de incorporarla a la dieta*. Hospital Universitario Austral. Recuperado de <https://www.hospitalaustral.edu.ar/2013/06/levadura-nutricional-beneficios-de-incorporarla-a-la-dieta/>

Pereira, L., Andrietti, M. G., Trichez, D., De Oliveira, A. P., & Brandão, R. L. (2020). Nutrient supplementation enhances yeast propagation performance. *AMB Express*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13568-020-01070-y>

Querol, A., & Fleet, G. (2006). Yeasts in food beverages. En *Yeasts in Food and Beverages* (Vol. 2). Springer Berlin Heidelberg.

Quintero Ramírez, R. (1993). *Ingeniería bioquímica: Teoría y aplicaciones* (3ª ed.). Editorial Alhambra Mexicana S. A.

Raita, S., Kusnere, Z., Spalviņš, K., & Blumberga, D. (2022). *Optimization of yeast cultivation factors for improved single-cell protein production*. *Environmental and Climate Technologies*, 26(1), 848–861. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2022-0064>

Reihani, S. F., & Khosravi-Darani, K. (2019). *Influencing factors on single-cell protein production by submerged fermentation: A review*. *Electronic Journal of Biotechnology*, 37, 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2018.11.005>

Russell, I. (2003). *Understanding yeast fundamentals*. En *The Alcohol Textbook* (4^a ed.). Alltech Inc.

Sceni, P. (2021). *Ingredientes multicomponentes a partir de levadura: Estudio de sus propiedades interfaciales y su aplicación en alimentos* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Quilmes]. Recuperado de <http://ridaa.unq.edu.ar>

Smart, K. (2003). *Brewing Yeast Fermentation Performance* (2^a ed.). Blackwell Science.

Solís Jiménez, F. (2004). *Obtención de un complemento alimenticio para animales a partir de la levadura de desecho generada en la producción de cerveza*. Universidad de Costa Rica.

Somani, A., Box, W. G., et al. (2019). Physiological and transcriptomic response of *Saccharomyces pastorianus* to cold storage. *FEMS Yeast Research*, 19(4), foz025. <https://doi.org/10.1093/femsyr/foz025>

Sonnleitner, B., & Käppli, O. (1986). Growth of *Saccharomyces cerevisiae* is controlled by its limited respiratory capacity: Formulation and verification of a hypothesis. *Biotechnology and Bioengineering*, 28(6), 927–937. <https://doi.org/10.1002/bit.260280620>.

Stewart, G. G. (2016). *Saccharomyces species in the production of beer*. *Beverages*, 2(4).
<https://doi.org/10.3390/beverages2040034>

Stika, J. (2009, julio). *Técnicas de aireación del mosto*. *Brew Your Own: The How-to Homebrew Beer Magazine*. Recuperado de <https://byo.com/article/aerating-wort-techniques/>

Suárez Machín, C., Garrido Carralero, N. A., & Guevara Rodríguez, C. A. (2016). *Levadura Saccharomyces cerevisiae y la producción de alcohol*. *ICIDCA: Sobre los derivados de la caña de azúcar*, 50(1 m), 20–28.

Thompson Vicente, E. (2004). *Evaluación técnica del uso de la pulpa de banano maduro como sustrato para la fermentación alcohólica utilizando una cepa comercial de Saccharomyces cerevisiae*. Universidad de Costa Rica.

Toribio Tamayo, K. (2015). *Evaluación de la estabilidad como starter de Saccharomyces pastorianus ssp. carlsbergensis para la producción de cerveza tipo lager* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/.../L02-C389-T.pdf?sequence=1>

Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. (2007). *Introducción a la microbiología* (9ª ed.). Editorial Médica Panamericana.

Ulloa S., M. (2015). *Principales tipos de ciclo de vida en las levaduras (Hemiascomycetes): Ciclo de vida de Saccharomyces cerevisiae*. Recuperado de <http://unibio.unam.mx/irekani/handle/123456789/32031?mode=full&proyecto=Irekani>

Vieira, E. F., Carvalho, J., Pinto, E., & Cunha, S. (2023). Valorization of spent brewer's yeast as a source of proteins and bioactive compounds. *Fermentation*, 9(3), 208. <https://doi.org/10.3390/fermentation9030208>

Walker, G. M., & Stewart, G. G. (2016). *Saccharomyces cerevisiae* in the production of fermented beverages. *Beverages*, 2(4), 30. <https://doi.org/10.3390/beverages2040030>

White, C., & Zainasheff, J. (2010). *Yeast: The practical guide to beer fermentation*. Brewers Association.

Yamada, E. A., & Sgarbieri, V. C. (2005). *Yeast (Saccharomyces cerevisiae) protein concentrate: Preparation, chemical composition, and nutritional and functional properties*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 3931–3936. <https://doi.org/10.1021/jf0400821>

Yusta, G. M., Meitiniarti, V. I., & Kristiani, E. B. E. (2017). *Quality of yeast extract of industry yeast press alcohol waste as drying result with various temperature variation*. *Journal of Natural Sciences and Mathematics Research*, 2(2), 176–180. Recuperado de <https://journal.walisongo.ac.id/index.php/JNSMR/article/view/1664>

Zainasheff, J., & Dicósino, J. (2007, marzo). *Haciendo un starter*. *Zymurgy*. Recuperado de https://www.cervezadeargentina.com.ar/articulos/haciendo_starter.html

Zanin, T. (2022). *Para qué sirve la levadura nutricional (y cómo usarla)*. *Tua Saúde*. Recuperado de <https://www.tuasaude.com/es/levadura-nutricional/>

APÉNDICE

APÉNDICE 1: tablas de los balances de materia para la cepa US-05.

Tabla 29

Balance de materia de la extracción, primer lavado y segundo lavado de la cepa US-05

	Extracción	Primer lavado	Segundo lavado
Entrada	27.41 kg	17.11 kg	16.36 kg
	-	3 kg	3 kg
Salida	17.11 kg	16.36 kg	14.57 kg
	10.30 kg	3.75 kg	4.79 kg

Tabla 30

Balance de materia de la primera reproducción de la cepa US-05 a densidad constante de 1.050 g/ml

Experimento	Entrada	Peso (g)	Salida	Peso (g)		
1	Sustrato	Azúcar	312.5	Levadura	209.357	
		Agua	227.5	Levadura residual	Agua	1016.787
	Levadura residual	Levadura	70.125		Azúcar	36.557
		Agua	679.875			
	O ₂	97.623	CO ₂	124.922		
2	Sustrato	Azúcar	312.5	Levadura	201.707	
		Agua	227.5	Levadura residual	Agua	1010.775
	Levadura residual	Levadura	70.125		Azúcar	51.718
		Agua	679.875			
	O ₂	92.259	CO ₂	118.059		
9	Sustrato	Azúcar	312.5	Levadura	178.756	
		Agua	227.5	Levadura residual	Agua	992.74
	Levadura residual	Levadura	70.125		Azúcar	97.204
		Agua	679.875			
	O ₂	76.167	CO ₂	97.467		
10	Sustrato	Azúcar	312.5	Levadura	171.106	
		Agua	227.5	Levadura residual	Agua	986.728
	Levadura residual	Levadura	70.125		Azúcar	112.365
		Agua	679.875			
	O ₂	70.803	CO ₂	90.604		

Tabla 31

Balance de materia de la primera reproducción de la cepa US-05 a densidad constante de 1.080 g/ml

Experimento	Entrada	Peso (g)	Salida	Peso (g)		
3	Sustrato	Azúcar	375	Levadura	179.266	
		Agua	185	Levadura residual	Agua	950.641
	Levadura residual	Levadura	70.125		Azúcar	158.693
		Agua	679.875			
	O ₂	76.525	CO ₂	97.925		
4	Sustrato	Azúcar	375	Levadura	157.336	
		Agua	185	Levadura residual	Agua	933.407
	Levadura residual	Levadura	70.125		Azúcar	202.156
		Agua	679.875			
	O ₂	61.148	CO ₂	78.249		
11	Sustrato	Azúcar	375	Levadura	125.716	
		Agua	185	Levadura residual	Agua	908.559
	Levadura residual	Levadura	70.125		Azúcar	264.825
		Agua	679.875			
	O ₂	38.978	CO ₂	49.878		
12	Sustrato	Azúcar	375	Levadura	164.476	
		Agua	185	Levadura residual	Agua	939.018
	Levadura residual	Levadura	70.125		Azúcar	188.005
		Agua	679.875			
	O ₂	66.155	CO ₂	84.656		

Tabla 32

Balance de materia de la segunda reproducción de la cepa US-05 a densidad constante de 1.050 g/ml

Experimento	Entrada	Peso (g)	Salida	Peso (g)	
1	Sustrato	Azúcar	337.5	Levadura	350.124
		Agua	207.5	Levadura residual	Agua 1334.905
		Levadura	209.357		Azúcar 95.071
	Levadura residual	Agua	1016.787		
		Azúcar	36.557	CO ₂	126.3
		O ₂	98.699		
2	Sustrato	Azúcar	337.5	Levadura	373.579
		Agua	207.5	Levadura residual	Agua 1353.336
		Levadura	201.707		Azúcar 48.585
	Levadura residual	Agua	1010.775		
		Azúcar	51.718	CO ₂	154.209
		O ₂	120.509		
9	Sustrato	Azúcar	337.5	Levadura	366.438
		Agua	207.5	Levadura residual	Agua 1347.725
		Levadura	178.756		Azúcar 62.736
	Levadura residual	Agua	992.74		
		Azúcar	97.204	CO ₂	168.395
		O ₂	131.594		
10	Sustrato	Azúcar	337.5	Levadura	356.743
		Agua	207.5	Levadura residual	Agua 1340.106
		Levadura	171.106		Azúcar 81.951
	Levadura residual	Agua	986.728		
		Azúcar	112.365	CO ₂	166.559
		O ₂	130.16		

Tabla 33

Balance de materia de la segunda reproducción de la cepa US-05 a densidad constante de 1.080 g/ml

Experimento	Entrada	Peso (g)	Salida	Peso (g)		
3	Sustrato	Azúcar	400	Levadura	313.908	
		Agua	165	Levadura residual	Agua	1221.446
		Levadura	179.266		Azúcar	291.847
	Levadura residual	Agua	950.641			
		Azúcar	158.693	CO ₂	120.804	
		O ₂	94.404			
4	Sustrato	Azúcar	400	Levadura	286.873	
		Agua	165	Levadura residual	Agua	1200.2
		Levadura	157.336		Azúcar	345.428
	Levadura residual	Agua	933.407			
		Azúcar	202.156	CO ₂	116.224	
		O ₂	90.825			
11	Sustrato	Azúcar	400	Levadura	316.122	
		Agua	165	Levadura residual	Agua	1223.184
		Levadura	125.716		Azúcar	287.194
	Levadura residual	Agua	908.559			
		Azúcar	264.825	CO ₂	171.1	
		O ₂	133.503			
12	Sustrato	Azúcar	400	Levadura	268.002	
		Agua	165	Levadura residual	Agua	1185.371
		Levadura	164.476		Azúcar	382.826
	Levadura residual	Agua	939.018			
		Azúcar	188.005	CO ₂	92.887	
		O ₂	72.588			

Tabla 34

Balance de materia de la tercera reproducción de la cepa US-05 a densidad constante de 1.050 g/ml

Experimento	Entrada	Peso (g)	Salida	Peso (g)		
1	Sustrato	Azúcar	425	Levadura	546.987	
		Agua	125	Levadura residual	Agua	1614.604
		Levadura	350.124		Azúcar	129.909
	Levadura residual	Agua	1334.905			
		Azúcar	95.071	CO ₂	176.631	
		O ₂	138.031			
2	Sustrato	Azúcar	425	Levadura	560.751	
		Agua	125	Levadura residual	Agua	1625.42
		Levadura	373.579		Azúcar	102.628
	Levadura residual	Agua	1353.336			
		Azúcar	48.585	CO ₂	167.936	
		O ₂	131.236			
9	Sustrato	Azúcar	425	Levadura	476.594	
		Agua	125	Levadura residual	Agua	1559.288
		Levadura	366.438		Azúcar	269.417
	Levadura residual	Agua	1347.725			
		Azúcar	62.736	CO ₂	98.835	
		O ₂	77.236			
10	Sustrato	Azúcar	425	Levadura	505.155	
		Agua	125	Levadura residual	Agua	1581.732
		Levadura	356.743		Azúcar	212.814
	Levadura residual	Agua	1340.106			
		Azúcar	81.951	CO ₂	133.159	
		O ₂	104.059			

Tabla 35

Balance de materia de la tercera reproducción de la cepa US-05 a densidad constante de 1.080 g/ml

Experimento	Entrada	Peso (g)	Salida	Peso (g)	
3	Sustrato	Azúcar	457.5	Levadura	509.246
		Agua	112.5	Levadura residual	Agua 1487.447
		Levadura	313.908		Azúcar 362.208
	Levadura residual	Agua	1221.446		
		Azúcar	291.847	CO ₂	175.262
		O ₂	136.961		
4	Sustrato	Azúcar	457.5	Levadura	460.229
		Agua	112.5	Levadura residual	Agua 1448.98
		Levadura	286.873		Azúcar 459.222
	Levadura residual	Agua	1200.2		
		Azúcar	345.428	CO ₂	155.7
		O ₂	121.596		
11	Sustrato	Azúcar	457.5	Levadura	448.724
		Agua	112.5	Levadura residual	Agua 1439.885
		Levadura	316.122		Azúcar 481.891
	Levadura residual	Agua	1223.184		
		Azúcar	287.194	CO ₂	119.012
		O ₂	92.974		
12	Sustrato	Azúcar	457.5	Levadura	480.226
		Agua	112.5	Levadura residual	Agua 1464.454
		Levadura	268.002		Azúcar 419.72
	Levadura residual	Agua	1185.371		
		Azúcar	382.826	CO ₂	190.6
		O ₂	148.801		

Tabla 36

Balance de materia del proceso de autólisis de la cepa US-05 a densidad constante de 1.050

g/ml

Experimento	Entrada	Peso (g)	Salida	Peso (g)		
1	Sustrato	Azúcar	-	Levadura	588.298	
		Agua	-	Levadura residual	Agua 1647.067	
		Levadura	546.987		Azúcar	48.036
	Levadura residual	Agua	1614.604			
		Azúcar	129.909	CO ₂	37.065	
		O ₂	28.965			
2	Sustrato	Azúcar	-	Levadura	596.956	
		Agua	-	Levadura residual	Agua 1653.871	
		Levadura	560.751		Azúcar	30.873
	Levadura residual	Agua	1625.42			
		Azúcar	102.628	CO ₂	32.484	
		O ₂	25.385			
9	Sustrato	Azúcar	-	Levadura	552.58	
		Agua	-	Levadura residual	Agua 1618.999	
		Levadura	476.594		Azúcar	118.821
	Levadura residual	Agua	1559.288			
		Azúcar	269.417	CO ₂	68.177	
		O ₂	53.278			
10	Sustrato	Azúcar	-	Levadura	545.451	
		Agua	-	Levadura residual	Agua 1613.397	
		Levadura	505.155		Azúcar	132.952
	Levadura residual	Agua	1581.732			
		Azúcar	212.814	CO ₂	36.154	
		O ₂	28.253			

Tabla 37

Balance de materia del proceso de autólisis de la cepa US-05 a densidad constante de 1.080

g/ml

Experimento	Entrada	Peso (g)	Salida	Peso (g)	
3	Sustrato	Azúcar	-	Levadura	538.322
		Agua	-	Levadura residual	Agua 1510.295
		Levadura	509.246		Azúcar 304.583
	Levadura residual	Agua	1487.447		
		Azúcar	362.208	CO ₂	26.087
		O ₂	20.386		
4	Sustrato	Azúcar	-	Levadura	500.678
		Agua	-	Levadura residual	Agua 1480.756
		Levadura	460.229		Azúcar 379.057
	Levadura residual	Agua	1448.98		
		Azúcar	459.222	CO ₂	36.292
		O ₂	28.361		
11	Sustrato	Azúcar	-	Levadura	512.985
		Agua	-	Levadura residual	Agua 1490.383
		Levadura	448.724		Azúcar 354.533
	Levadura residual	Agua	1439.885		
		Azúcar	481.891	CO ₂	57.6657
		O ₂	45.057		
12	Sustrato	Azúcar	-	Levadura	518.477
		Agua	-	Levadura residual	Agua 1494.512
		Levadura	480.226		Azúcar 343.911
	Levadura residual	Agua	1464.454		
		Azúcar	419.72	CO ₂	34.319
		O ₂	26.819		

Tabla 38***Balance de materia para la operación de secado para la cepa SafAle US-05***

Experimento	Entrada	Peso (g)	Salida	Peso (g)		
1	Levadura residual	Levadura	34.569	Levadura residual	Levadura	34.569
		Agua	102.431		Agua	2.431
	Aire seco	Agua	-	Aire húmedo	Agua	100
2	Levadura residual	Levadura	29.238	Levadura residual	Levadura	29.238
		Agua	88.762		Agua	2.762
	Aire seco	Agua	-	Aire húmedo	Agua	86
9	Levadura residual	Levadura	35.180	Levadura residual	Levadura	35.180
		Agua	105.820		Agua	2.820
	Aire seco	Agua	-	Aire húmedo	Agua	103
10	Levadura residual	Levadura	30.693	Levadura residual	Levadura	30.693
		Agua	84.307		Agua	2.307
	Aire seco	Agua	-	Aire húmedo	Agua	82
3	Levadura residual	Levadura	28.439	Levadura residual	Levadura	28.439
		Agua	86.561		Agua	2.561
	Aire seco	Agua	-	Aire húmedo	Agua	84
4	Levadura residual	Levadura	31.668	Levadura residual	Levadura	31.668
		Agua	94.332		Agua	2.332
	Aire seco	Agua	-	Aire húmedo	Agua	92
11	Levadura residual	Levadura	35.397	Levadura residual	Levadura	35.397
		Agua	105.603		Agua	2.603
	Aire seco	Agua	-	Aire húmedo	Agua	103
12	Levadura residual	Levadura	36.446	Levadura residual	Levadura	36.446
		Agua	107.555		Agua	2.555
	Aire seco	Agua	-	Aire húmedo	Agua	105

APÉNDICE 2: tablas de los balances de materia para la cepa BE-256.

Tabla 39

Balance de materia de la extracción, primer lavado y segundo lavado de la cepa US-05

	Extracción	Primer lavado	Segundo lavado
Entrada	26.82 kg	18.84 kg	17.65 kg
	-	3 kg	3 kg
Salida	18.84 kg	17.65 kg	14.67 kg
	7.98 kg	4.19 kg	5.98 kg

Tabla 40

Balance de materia de la primera reproducción de la cepa BE-256 a densidad constante de 1.050 g/ml

Experimento	Entrada	Peso (g)	Salida	Peso (g)		
7	Sustrato	Azúcar	312.5	Levadura	246.632	
		Agua	227.5	Levadura residual	Agua	961.296
	Levadura residual	Levadura	117.6		Azúcar	56.772
		Agua	632.4			
	O ₂	90.471	CO ₂	115.771		
8	Sustrato	Azúcar	312.5	Levadura	222.661	
		Agua	227.5	Levadura residual	Agua	942.46
	Levadura residual	Levadura	117.6		Azúcar	104.279
		Agua	632.4			
	O ₂	73.664	CO ₂	94.264		
15	Sustrato	Azúcar	312.5	Levadura	190.531	
		Agua	227.5	Levadura residual	Agua	917.211
	Levadura residual	Levadura	117.6		Azúcar	167.958
		Agua	632.4			
	O ₂	51.136	CO ₂	65.436		
16	Sustrato	Azúcar	312.5	Levadura	267.583	
		Agua	227.5	Levadura residual	Agua	977.76
	Levadura residual	Levadura	117.6		Azúcar	15.249
		Agua	632.4			
	O ₂	105.161	CO ₂	134.569		

Tabla 41

Balance de materia de la primera reproducción de la cepa BE-256 a densidad constante de 1.080 g/ml

Experimento	Entrada	Peso (g)	Salida	Peso (g)	
5	Sustrato	Azúcar	375	Levadura	212.971
		Agua	185	Levadura residual	Agua 892.345
	Levadura residual	Levadura	117.6	Azúcar	185.984
		Agua	632.4	CO ₂	85.57
	O ₂	66.87			
6	Sustrato	Azúcar	375	Levadura	215.011
		Agua	185	Levadura residual	Agua 893.948
	Levadura residual	Levadura	117.6	Azúcar	181.941
		Agua	632.4	CO ₂	87.4
	O ₂	68.3			
13	Sustrato	Azúcar	375	Levadura	176.251
		Agua	185	Levadura residual	Agua 863.489
	Levadura residual	Levadura	117.6	Azúcar	258.76
		Agua	632.4	CO ₂	52.623
	O ₂	41.123			
14	Sustrato	Azúcar	375	Levadura	194.468
		Agua	185	Levadura residual	Agua 877.805
	Levadura residual	Levadura	117.6	Azúcar	222.655
		Agua	632.4	CO ₂	68.968
	O ₂	53.896			

Tabla 42

Balance de materia de la segunda reproducción de la cepa BE-256 a densidad constante de 1.050 g/ml

Experimento	Entrada	Peso (g)	Salida	Peso (g)	
7	Sustrato	Azúcar	337.5	Levadura	389.944
		Agua	207.5	Levadura residual	Agua 1281.414
		Levadura	246.632		Azúcar 110.242
	Levadura residual	Agua	961.296		
		Azúcar	56.772	CO ₂	128.583
		O ₂	100.483		
8	Sustrato	Azúcar	337.5	Levadura	417.994
		Agua	207.5	Levadura residual	Agua 1303.457
		Levadura	222.661		Azúcar 54.65
	Levadura residual	Agua	942.46		
		Azúcar	104.279	CO ₂	175.258
		O ₂	136.958		
15	Sustrato	Azúcar	337.5	Levadura	439.924
		Agua	207.5	Levadura residual	Agua 1320.69
		Levadura	190.531		Azúcar 11.186
	Levadura residual	Agua	917.211		
		Azúcar	167.958	CO ₂	223.763
		O ₂	174.863		
16	Sustrato	Azúcar	337.5	Levadura	428.442
		Agua	207.5	Levadura residual	Agua 1311.372
		Levadura	267.583		Azúcar 34.686
	Levadura residual	Agua	977.76		
		Azúcar	15.249	CO ₂	143.6
		O ₂	112.524		

Tabla 43

Balance de materia de la segunda reproducción de la cepa BE-256 a densidad constante de 1.080 g/ml

Experimento	Entrada	Peso (g)	Salida	Peso (g)		
5	Sustrato	Azúcar	400	Levadura	351.183	
		Agua	165	Levadura residual	Agua	1165.955
		Levadura	212.971		Azúcar	312.062
	Levadura residual	Agua	892.345			
		Azúcar	185.984	CO ₂	124.007	
	O ₂	96.907				
6	Sustrato	Azúcar	400	Levadura	361.383	
		Agua	165	Levadura residual	Agua	1173.97
		Levadura	215.011		Azúcar	291.847
	Levadura residual	Agua	893.948			
		Azúcar	181.941	CO ₂	131.329	
	O ₂	102.629				
13	Sustrato	Azúcar	400	Levadura	308.899	
		Agua	165	Levadura residual	Agua	1132.736
		Levadura	176.251		Azúcar	395.866
	Levadura residual	Agua	863.489			
		Azúcar	258.76	CO ₂	119.015	
	O ₂	93.006				
14	Sustrato	Azúcar	400	Levadura	351.311	
		Agua	165	Levadura residual	Agua	1166.039
		Levadura	194.468		Azúcar	311.85
	Levadura residual	Agua	877.805			
		Azúcar	222.655	CO ₂	140.705	
	O ₂	109.956				

Tabla 44

Balance de materia de la tercera reproducción de la cepa BE-256 a densidad constante de 1.050 g/ml

Experimento	Entrada	Peso (g)	Salida	Peso (g)	
7	Sustrato	Azúcar	425	Levadura	569.466
		Agua	125	Levadura residual	1547.487
		Levadura	389.944	Azúcar	179.447
	Levadura residual	Agua	1281.414		
		Azúcar	110.242	CO ₂	161.072
		O ₂	125.872		
8	Sustrato	Azúcar	425	Levadura	533.261
		Agua	125	Levadura residual	1519.036
		Levadura	417.994	Azúcar	251.203
	Levadura residual	Agua	1303.457		
		Azúcar	54.65	CO ₂	103.42
		O ₂	80.819		
15	Sustrato	Azúcar	425	Levadura	551.615
		Agua	125	Levadura residual	1533.46
		Levadura	439.924	Azúcar	214.825
	Levadura residual	Agua	1320.69		
		Azúcar	11.186	CO ₂	100.213
		O ₂	78.313		
16	Sustrato	Azúcar	425	Levadura	529.423
		Agua	125	Levadura residual	1515.725
		Levadura	428.442	Azúcar	259.551
	Levadura residual	Agua	1311.372		
		Azúcar	34.686	CO ₂	90.603
		O ₂	70.803		

Tabla 45

Balance de materia de la tercera reproducción de la cepa BE-256 a densidad constante de 1.080 g/ml

Experimento	Entrada	Peso (g)	Salida	Peso (g)		
5	Sustrato	Azúcar	457.5	Levadura	531.215	
		Agua	112.5	Levadura residual	Agua	1419.929
		Levadura	351.183		Azúcar	412.756
	Levadura residual	Agua	1165.955			
		Azúcar	312.062	CO ₂	161.53	
		O ₂	126.23			
6	Sustrato	Azúcar	457.5	Levadura	517.955	
		Agua	112.5	Levadura residual	Agua	1409.508
		Levadura	361.383		Azúcar	439.037
	Levadura residual	Agua	1173.97			
		Azúcar	291.847	CO ₂	140.481	
		O ₂	109.781			
13	Sustrato	Azúcar	457.5	Levadura	515.967	
		Agua	112.5	Levadura residual	Agua	1407.955
		Levadura	308.899		Azúcar	442.979
	Levadura residual	Agua	1132.736			
		Azúcar	395.866	CO ₂	185.787	
		O ₂	145.186			
14	Sustrato	Azúcar	457.5	Levadura	515.023	
		Agua	112.5	Levadura residual	Agua	1407.188
		Levadura	351.311		Azúcar	444.889
	Levadura residual	Agua	1166.039			
		Azúcar	311.85	CO ₂	146.887	
		O ₂	114.787			

Tabla 46

Balance de materia del proceso de autólisis de la cepa BE-256 a densidad constante de 1.050

g/ml

Experimento	Entrada	Peso (g)	Salida	Peso (g)		
7	Sustrato	Azúcar	-	Levadura	637.807	
		Agua	-	Levadura residual	Agua 1601.191	
		Levadura	569.466		Azúcar	44.002
	Levadura residual	Agua	1547.487			
		Azúcar	179.447	CO ₂	61.317	
		O ₂	47.917			
8	Sustrato	Azúcar	-	Levadura	615.372	
		Agua	-	Levadura residual	Agua 1583.561	
		Levadura	533.261		Azúcar	88.467
	Levadura residual	Agua	1519.036			
		Azúcar	251.203	CO ₂	73.672	
		O ₂	57.572			
15	Sustrato	Azúcar	-	Levadura	623.016	
		Agua	-	Levadura residual	Agua 1589.569	
		Levadura	551.615		Azúcar	73.316
	Levadura residual	Agua	1533.46			
		Azúcar	214.825	CO ₂	64.063	
		O ₂	50.063			
16	Sustrato	Azúcar	-	Levadura	604.899	
		Agua	-	Levadura residual	Agua 1575.036	
		Levadura	529.423		Azúcar	109.965
	Levadura residual	Agua	1515.725			
		Azúcar	259.551	CO ₂	67.719	
		O ₂	52.92			

Tabla 47

Balance de materia del proceso de autólisis de la cepa BE-256 a densidad constante de 1.080

g/ml

Experimento	Entrada	Peso (g)	Salida	Peso (g)	
5	Sustrato	Azúcar	-	Levadura	574.566
		Agua	-	Levadura residual	Agua 1453.995
		Levadura	531.215		Azúcar 326.84
	Levadura residual	Agua	1419.929		
		Azúcar	412.756	CO ₂	38.895
		O ₂	30.395		
6	Sustrato	Azúcar	-	Levadura	576.606
		Agua	-	Levadura residual	Agua 1455.597
		Levadura	517.955		Azúcar 322.797
	Levadura residual	Agua	1409.508		
		Azúcar	439.037	CO ₂	52.623
		O ₂	41.123		
13	Sustrato	Azúcar	-	Levadura	557.283
		Agua	-	Levadura residual	Agua 1440.422
		Levadura	515.967		Azúcar 361.096
	Levadura residual	Agua	1407.955		
		Azúcar	442.979	CO ₂	37.07
		O ₂	28.969		
14	Sustrato	Azúcar	-	Levadura	557.354
		Agua	-	Levadura residual	Agua 1440.452
		Levadura	515.023		Azúcar 360.994
	Levadura residual	Agua	1407.188		
		Azúcar	444.889	CO ₂	37.98
		O ₂	29.68		

Tabla 48

Balance de materia para la operación de secado para la cepa SafAle BE-256

Experimento	Entrada	Peso (g)	Salida	Peso (g)		
5	Levadura residual	Levadura	32.839	Levadura residual	Levadura	32.839
		Agua	100.161		Agua	3.161
	Aire seco	Agua	-	Aire húmedo	Agua	97
6	Levadura residual	Levadura	27.915	Levadura residual	Levadura	27.915
		Agua	83.085		Agua	2.085
	Aire seco	Agua	-	Aire húmedo	Agua	81
13	Levadura residual	Levadura	36.728	Levadura residual	Levadura	36.728
		Agua	111.272		Agua	3.272
	Aire seco	Agua	-	Aire húmedo	Agua	108
14	Levadura residual	Levadura	34.210	Levadura residual	Levadura	34.210
		Agua	102.790		Agua	2.790
	Aire seco	Agua	-	Aire húmedo	Agua	100
7	Levadura residual	Levadura	37.188	Levadura residual	Levadura	37.188
		Agua	110.812		Agua	2.812
	Aire seco	Agua	-	Aire húmedo	Agua	108
8	Levadura residual	Levadura	34.958	Levadura residual	Levadura	34.958
		Agua	102.042		Agua	2.042
	Aire seco	Agua	-	Aire húmedo	Agua	100
15	Levadura residual	Levadura	28.470	Levadura residual	Levadura	28.470
		Agua	86.530		Agua	2.530
	Aire seco	Agua	-	Aire húmedo	Agua	84
16	Levadura residual	Levadura	34.990	Levadura residual	Levadura	34.990
		Agua	106.010		Agua	3.010
	Aire seco	Agua	-	Aire húmedo	Agua	103

Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda.

Urb. Velasco Astete D-18-B
 Wanchaq - Cusco - Perú
 Telefono: 084-771906
 Celular: 975 713500 - 974787151
 laboratoriolouispasteur@yahoo.es
 www.lablouispasteur.pe

INFORME DE ENSAYO
LLP-3062-2024
SO-0770-2024



Pág. 1 de 1

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Solicitante: Paola Perez Paco
Dirección Legal: Urb. Bancopata I-14, Santiago.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Nombre del Producto: Levadura gastada
Fecha de Ingreso de Muestra: 2024/07/25
Fecha de Ensayo: 2024/07/25

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):

Muestreo realizado por: Julio Cesar Chaman
Fecha de muestreo: 2024/07/25
Hora de muestreo: 11:45
Procedencia de la Muestra: Laboratorio de planta de cerveza.
Cantidad y Descripción de la Muestra: 01 frasco de vidrio de 130g.

REPORTE DE RESULTADOS

Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2024/07/30

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.

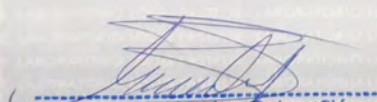
RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
Recuento de Levaduras recuento estándar en placa	ufc/g	46x10 ⁶

Métodos de Referencia:

Recuento de Mohos y Levaduras

ICMSF Microorganismos de los Alimentos. Su significado y métodos de enumeración. Pág. 166-167 2da Ed. Vol. 1, Parte II. Reimpresión 2000 (1963)

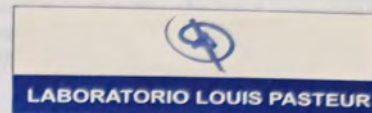

 Btga. Mercedes Maritza Quispe Flórez
 C.B.P. 4617
 DIRECTOR DE CALIDAD
 LABORATORIO LOUIS PASTEUR



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada. **El Laboratorio Louis Pasteur S. R. Ltda. no se responsabiliza por la información de la muestra declarada por el cliente.**

Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda.

Urb. Velasco Astete D-18-B
 Wanchaq - Cusco - Perú
 Telefono: 084-771906
 Celular: 975 713500 - 974787151
 laboratoriolouispasteur@yahoo.es
 www.lablouispasteur.pe



INFORME DE ENSAYO
LLP-0993-2024
SO-0236-2024

Pág. 1 de 1

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Solicitante: Paola Perez Paco
 Dirección Legal: Ubr. Bancopata I-14.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Nombre del Producto: Crema de levadura gastada
 Fecha de Ingreso de Muestra: 2024/03/19
 Fecha de Ensayo: 2024/03/19
 Nro Cotización: 90-03-2024

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):

Muestreo realizado por: Julio Cesar Chaman Abiega
 Fecha de Muestreo: 2024/03/18
 Hora de muestreo: 10:00
 Procedencia de la Muestra: Cusco Beer Company.
 Cantidad y Descripción de la Muestra: 01 frasco de vidrio de 75g.

REPORTE DE RESULTADOS

Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2024/03/25

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
Numeración de Levaduras Recuento estándar en placa	ufc/g	97x10 ⁶

Métodos de Referencia:

Recuento de Mohos y Levaduras

ICMSF Microorganismos de los Alimentos. Su significado y métodos de enumeración. Pág. 166-167 2da Ed. Vol. 1, Parte II. Reimpresión 2000 (1983).


 C. B. P. N° 17
 DIRECTORÍA CALIDAD
 LABORATORIO LOUIS PASTEUR



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada. **El Laboratorio Louis Pasteur S. R. Ltda. no se responsabiliza por la información de la muestra declarada por el cliente.**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0155-24-LAQ

SOLICITANTE : PAOLA KASANDRA PEREZ PACO

JULIO CESAR CHAMAN ABIEGA

MUESTRA : LEVADURA LIQUIDA GASATADA

FECHA : C/14/05/2024

ANALISIS FISICOQUIMICO:

Humedad %	90,65
Proteína %	3,39
Grasa %	2,35
Ceniza %	0,51
Fibra %	2,36
Carbohidratos %	3,10

Métodos: AOAC 931.04, AOAC 970.22, AOAC 963.15, AOAC 972.15,
 AOAC 930.20

Cusco, 21 de Mayo 2024





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0412-24-LAQ

SOLICITANTE : PAOLA KASANDRA PEREZ PACO
 JULIO CESAR CHAMAN ABIEGA

MUESTRA : LEVADURA GASTADA – M17

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO:

Humedad %	84,32
Proteína %	6,85
Grasa %	5,08
Ceniza %	1,36
Fibra %	0,42
Carbohidratos %	2,39

Métodos: AOAC 931.04, AOAC 970.22, AOAC 963.15, AOAC 972.15,
 AOAC 930.20.

Cusco, 23 de Setiembre 2024



 Mariquitosca Herrera Aponte
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO
 DE ANÁLISIS QUÍMICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0149-24-LAQ

SOLICITANTE : PAOLA KASANDRA PEREZ PACO

JULIO CESAR CHAMAN ABIEGA

MUESTRA : LEVADURA SECA (M-1)

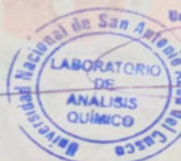
FECHA : C/09/05/2024

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO:

Humedad %	6,57
Proteína %	33,60
Grasa %	7,20
Ceniza %	5,92
Fibra %	19,44
Carbohidratos %	46,71

Métodos: AOAC 931.04, AOAC 970.22, AOAC 963.15, AOAC 972.15,
 AOAC 930.20

Cusco, 21 de Mayo 2024



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Unidad de Prestación de Servicios Análisis

Melgarejo Herrera Arturico
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO
 DE ANÁLISIS QUÍMICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACION DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0237-24-LAQ

SOLICITANTE : PAOLA KASANDRA PEREZ PACO
 JULIO CESAR CHAMAN ABIEGA

MUESTRA : LEVADURA SECA
 M2, M3, M4

FECHA : C/19/06/2024

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO:

	M2	M3	M4
Humedad %	8,63	8,26	6,86
Proteína %	21,74	20,27	20,29
Grasa %	2,90	2,75	2,80
Ceniza %	2,28	2,71	2,74
Fibra %	1,77	1,58	1,62
Carbohidratos	64,05	66,01	67,31

Métodos: AOAC 964.22, AOAC 955.04, AOAC 920.39, AOAC 942.09, AOAC 962.05

C.H. Diferencia.

Cusco, 03 de Julio 2024


 Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Unidad de Prestación de Servicios de Análisis
Melquides Herrera Arbolica
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO
 DE ANÁLISIS QUÍMICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0579-24-LAQ

SOLICITANTE : PAOLA KASANDRA PEREZ PACO
 JULIO CESAR CHAMAN ABIEGA

MUESTRA : LEVADURA GASTADA

FECHA : C/11/12/2024

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO:

	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Humedad %	8,78	6,95	7,03	5,52	7,42	6,99
Proteína %	26,18	29,08	27,50	29,80	30,74	28,95
Grasa %	6,60	6,12	6,33	5,80	6,80	7,10
Ceniza %	4,39	4,73	4,48	5,00	3,63	3,21
Fibra %	2,45	2,60	2,16	2,33	2,46	2,27
Carbohidratos %	54,05	53,12	54,66	53,88	51,41	53,75

Métodos: AOAC 931.04, AOAC 970.22, AOAC 963.15, AOAC 972.15,
 AOAC 930.20.

Cusco, 31 de Diciembre 2024



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Unidad de Prestación de Servicios de Análisis

Melquides Ferrero Arizola
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO
 DE ANÁLISIS QUÍMICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Ciudadela 722 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0580-24-LAQ

SOLICITANTE : PAOLA KASANDRA PEREZ PACO
 JULIO CESAR CHAMAN ABIEGA

MUESTRA : LEVADURA GASTADA

FECHA : C/11/12/2024

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO:

	M11	M12	M13	M14	M15	M16
Humedad %	6,85	6,55	8,18	7,54	8,16	7,92
Proteína %	23,89	27,63	26,25	28,81	30,59	34,22
Grasa %	7,70	6,90	6,66	5,82	5,70	6,36
Ceniza %	2,16	1,85	4,22	4,45	4,36	4,51
Fibra %	2,36	2,41	2,38	2,26	2,19	2,24
Carbohidratos %	59,40	57,07	54,69	53,38	51,19	46,99

Métodos: AOAC 931.04, AOAC 970.22, AOAC 963.15, AOAC 972.15,
 AOAC 930.20.

Cusco, 31 de Diciembre 2024



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Unidad de Prestación de Servicios Analíticos

[Firma]
 MEdquitoses Heceros Arinica
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO
 DE ANÁLISIS QUÍMICO

APÉNDICE 6: Constancia de autorización

La empresa **CUSCO VER COMPANY S.A.C.**, identificada con RUC **20602653677**, con domicilio en urbanización **Larapa Mza. D-2 Lote 4**, deja constancia que **tiene conocimiento** de las actividades realizadas por los bachilleres **Paola Kasandra Perez Paco** y **Julio Cesar Chaman Abiega**, estudiantes de la carrera de Ingeniería Química, relacionadas con la toma de muestras y el desarrollo de la primera parte de la fase experimental de su trabajo de investigación titulado:

“OBTENCIÓN DE UN SUPLEMENTO PROTEICO ALIMENTICIO A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE LEVADURA DE CERVEZA DE LA EMPRESA CUSCO BEER COMPANY S.A.C.”

Asimismo, autoriza el uso académico de las muestras y de la información generada, las cuales fueron empleadas exclusivamente para fines de investigación universitaria, sin afectar la confidencialidad de los procesos productivos de la empresa.

Se deja constancia que la información obtenida será utilizada únicamente con fines académicos y científicos, en el marco del desarrollo y sustentación del mencionado trabajo de investigación, no comprometiendo intereses comerciales ni operativos de la empresa.

La presente constancia se expide a solicitud de los interesados, para los fines académicos que estime convenientes.

**Cusco, 08 de enero de
2026**



CUSCO BEER COMPANY S.A.C.
RUC 20602653677
Miguel Ángel
GERENTE GENERAL

APÉNDICE 7: Imágenes de la experimentación

1. Primera alimentación de sustrato a la levadura gastada.



2. muestra después de terminar las 3 alimentaciones de sustrato



3. Recipientes de vidrio donde se realizó las alimentaciones





4. Levadura proteica seca

