



Trabajo Final
Carrera de Ingeniería Química

**DISEÑO CONCEPTUAL PARA
LA PRODUCCIÓN DE UN
ALIMENTO PROTEICO
FERMENTADO A BASE DE
SOJA**

Alumna: Fátima Carolina Mendez
Tutor: Dr. Daniel Horacio Valdeón

2025



Trabajo Final de la carrera de Ingeniería Química presentada a la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, como requisito final para obtener el título de **Ingeniero Químico**.

Trabajo Final evaluado por el tribunal integrado por:

- Ing. María Emilia Uboldi
- Dra. María Alejandra Martínez
- Dr. Mario Rodolfo Cesca

y presentado oralmente en el día de la fecha.

San Miguel de Tucumán, 12 de *DICIEMBRE* de 2025

RESUMEN

La soja es una materia prima abundante, accesible y de bajo costo en Argentina, por lo que resulta de interés explorar nuevas alternativas para su revalorización. En este trabajo se diseñó una planta piloto para la producción de tempe, un alimento fermentado de origen asiático elaborado a partir de soja. Este producto presenta un contenido proteico comparable al de la carne vacuna, lo que lo convierte en una alternativa funcional, económica y de base vegetal.

Se seleccionó al hongo filamentoso *Rhizopus oligosporus* para la fermentación. Se desarrolló el flowsheet del proceso completo, describiendo detalladamente cada etapa necesaria para obtener el producto final. Asimismo, se realizaron balances de materia para determinar los requerimientos de materias primas y el dimensionamiento de equipos, junto con la selección de los mismos y la estimación de sus costos. Los resultados muestran que la producción propuesta alcanza una capacidad de 1000 kg/lote de tempe fresco.

Finalmente, mediante un análisis económico, mostró que la producción de tempe resulta viable, constituyéndose como una alternativa prometedora para su incorporación en el mercado argentino.

Palabras claves: tempe, proteína vegetal, soja, fermentación en estado sólido.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a mis padres Jorge y Marcela, por brindarme su amor, por estar siempre presente en absolutamente todo y apoyarme en cada uno de mis proyectos. Sin su fuerza, enseñanzas y motivación no habría llegado hasta aquí. Este logro también es suyo, son excelentes padres y me siento profundamente orgullosa de ustedes. Me enseñaron la perseverancia, la humildad y el optimismo. Son mi pilar y mi felicidad, les estaré eternamente agradecida.

A mi hermano Esteban, quien con su música y su canto me ayudaron a conectar con mi esencia y arrancar con fuerza cada vez que lo necesitaba. Gracias por tu cariño y por recordarme que cumplir mis sueños y ser feliz es mi propósito en la vida.

A mi cuñada Mariel, a quien quiero tanto y considero como a una hermana. Gracias por acompañarme con tanta dulzura y apoyarme en este camino.

A mis padrinos, Alejandro y Elena, mis tíos y amigos, describen la alegría, sus charlas motivadoras me ayudaron a crecer. Dibujan una sonrisa en mi rostro de forma instantánea.

A mi prima Laura, a quien considero como a una hermana pequeña, viste cada paso de mi esfuerzo y siempre estuviste ahí. Gracias por tu cariño incondicional.

A mi abuela Ester, mi mamá Ester, quien me ama sin límites y yo a ella. Gracias por venir desde Jujuy en épocas de exámenes para cocinarme, mimarme y cumplir mis caprichos. Vos y mi madre me acompañaron en cada paso, mis confidentes y amigas, siempre juntas las tres.

A mi abuelo Pastor, que me enseñó la tenacidad y creyó en mí siempre. Estoy segura de que estaría orgulloso de este logro. Te llevaré siempre en mis recuerdos y en mi corazón.

A mi abuela Dominga, por su cariño y apoyo. Su serenidad me ayudo a disfrutar de esta última etapa con calma y sin apuros.

A mi abuelo Tanico, su fortaleza y resiliencia hicieron que mi padre me transmitiera las mismas virtudes. Gracias por su cariño, lo llevaré siempre conmigo.

A Leonardo, compartimos tantos momentos y llegaste a mi vida para potenciarme. Mi compañero de vida, tu amor incondicional y tu motivación hicieron que nunca decaiga, creíste en mí incluso cuando yo dudaba. Gracias por recordarme que siempre soy capaz.

A mí bebé perruna, Carosa, por su compañía en los largos días de lectura, terminamos este proyecto juntas.

A mis amigos y hermanos de corazón, Agus, Luz y Fran sus mentes brillantes y su forma de ser hicieron que la facultad fuera más liviana y llena de momentos valiosos, me acompañaron en este viaje de montaña rusa. Gracias por compartir sus conocimientos, por contenerme y por estar siempre presentes. Son mi equipo de batallas, mis amigos entrañables. De esta etapa me llevo la amistad más linda del mundo.

A mi amigo Ale, con el cual inicié esta etapa maravillosa y a mi amiga Sarita, nos hicimos amigas al instante, tantos mates compartidos. Gracias por brindarme sus saberes y por

estar siempre que los necesité, siempre predispuestos a ayudarme. Nuestras risas y charlas hicieron que este camino sea más llevadero.

A mis amigos Lu, Jo, Pablo, Ana y Mauro, empezamos una nueva vida en Tucumán. Son mi cable a tierra y los elegí como mi familia. Gracias por tantos momentos lindos, sus risas contagiosas me llenaron el alma en este tramo de la vida.

A mis amigas del secundario de Jujuy, Gissel, Dani, Nati, Pau y Belu. Las volví a ver este año y siento que no pasó el tiempo entre nosotras. Son unas amigas increíbles. Gracias por las risas compartidas, por escucharme y darme ánimos.

A todos mis amigos, la lista es larga ¡por suerte! Cada uno aportó en este logro, tuve la fortuna de cruzarme con personas muy buenas que formaron parte de momentos claves en mi vida.

A la cátedra de química orgánica, donde di mis primeros pasos en la investigación. Quiero agradecer en particular a la Dra. González y el Lic. Tolay, por recibirme con tanta amabilidad, confiar en mí y transmitir su sabiduría, estoy agradecida con ustedes. Su humanidad los convierte en unas excelentes personas. Los admiro muchísimo.

A la cátedra de química analítica, mi primer trabajo, gracias por permitirme ser parte del equipo, confiar en mí y colaborar con mi desempeño como ayudante, me llevo muchos aprendizajes valiosos. A los alumnos de analítica por todas las horas de laboratorio compartidas, fue un placer aprender y enseñar con ustedes.

A mi tutor, el Ing. Valdeón, por su acompañamiento constante a lo largo de este proyecto, su orientación y compromiso. Lo admiro muchísimo, es un gran profesional y una excelente persona.

A todos los docentes de la FACET, por transmitirme sus conocimientos y valores profesionales.

A Dios y a la madre tierra, por brindarme salud, fuerza y la oportunidad de crecer.

Y a mí misma, por el esfuerzo y la dedicación de cada día, que hoy se ven reflejados.

ÍNDICE

RESUMEN	1
AGRADECIMIENTOS	2
PRÓLOGO	7
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN INTEGRAL	8
1.1 TEMPE: UN ALIMENTO FUNCIONAL.....	8
1.1.1 Características sensoriales	9
1.1.2 Valor nutricional	9
1.1.3 Efectos del tempe en la salud	10
1.1.4 El valor del tempe como estrategia nutricional	11
1.1.5 Formatos de comercialización.....	11
1.1.6 Incorporación del tempe en el Código Alimentario.	12
1.2 MATERIA PRIMA FÚNGICA: HONGOS FILAMENTOSOS	13
1.2.1 Selección del inóculo.....	13
1.3 <i>RHIZOPUS OLIGOSPORUS</i>	15
1.3.1 Morfología.....	15
1.3.2 Ciclo de vida	16
1.3.3 Funciones de <i>R. Oligosporus</i> en el tempe.....	17
1.3.4 Condiciones de crecimiento	17
1.4 MATERIA PRIMA VEGETAL: GRANOS DE SOJA.....	18
1.4.1 Propiedades de la soja.....	18
1.5 FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO	19
1.5.1 Fases de fermentación del tempe	20
1.5.2 Condiciones del proceso	20
1.6 MERCADO DE LA SOJA Y EL TEMPE	22
CAPITULO II: DISEÑO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN	24
2.1 ESTRUCTURA ENTRADA – SALIDA DEL PROCESO	24
2.2 FLOWSHEET DEL PROCESO.....	25
2.3 ETAPA 1: INGRESO DEL SUSTRATO	26
2.3.1 Recepción	26
2.3.2 Almacenamiento	26
2.3.3 Pesaje.....	26
2.4 ETAPA 2: ACONDICIONAMIENTO DEL SUSTRATO	26
2.4.1 Limpieza.....	26

2.4.2	Descascarado	26
2.4.3	Hidratación y Acidificación	27
2.4.4	Cocción	27
2.4.5	Centrifugación	27
2.5	ETAPA 3: CÁMARAS DE CULTIVO	27
2.5.1	Cámara de inoculación.....	27
2.5.2	Cámara de colonización	27
2.5.3	Biorreactor tipo bandeja	29
2.6	ETAPA 4: CONSERVACIÓN	29
2.6.1	Cortado	29
2.6.2	Escaldado	29
2.6.3	Envasado	30
2.6.4	Almacenamiento del producto final.....	30
CAPÍTULO III: PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN		31
3.1	DIAGRAMA DE GANTT.....	31
3.2	DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA.....	33
3.3	PRODUCCIÓN PROPUESTA	33
3.4	REQUERIMIENTOS DE MATERIA PRIMA Y SUPUESTOS OPERATIVOS	33
3.4.1	Granos de soja.....	33
3.4.2	Iniciador de tempe.....	34
3.4.3	Hidratación y Acidificación	34
3.4.4	Limpieza y Descascarado	35
3.4.5	Cantidad de sustrato acondicionado requerido.....	35
3.5	UBICACIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN.....	36
CAPÍTULO IV: DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS.....		38
4.1	ALMACENAMIENTO DEL SUSTRATO	38
4.2	BALANZA PARA EL PESAJE DEL SUSTRATO.....	38
4.3	EQUIPO DE LIMPIEZA	38
4.4	MÁQUINA DESCASCARADORA	39
4.5	CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL HERVIDOR.....	40
4.6	CENTRÍFUGA	42
4.7	MEZCLADOR INÓCULO-SUSTRATO ACONDICIONADO	43
4.8	DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE COLONIZACIÓN	46
4.9	CORTADORA.....	48
4.10	EQUIPO DE ESCALDADO	48

4.11	MÁQUINA ENVASADORA	49
4.12	ALMACENAMIENTO REFRIGERADO	49
CAPÍTULO V: EVALUACIÓN ECONÓMICA.....		50
5.1	COSTOS DE EQUIPOS	50
5.2	ESTIMACIÓN DE LA INVERSIÓN TOTAL DE CAPITAL.....	51
5.3	COSTOS DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN	52
5.3.1	Costo de materia prima	52
5.3.2	Costo de mano de obra.....	53
5.3.3	Costo de mantenimiento de equipos	53
5.3.4	Costo de servicios auxiliares	53
5.3.5	Costo de bolsas de almacenamiento de la soja.....	53
5.3.6	Costo del transporte del producto hacia los puntos de comercio	53
5.4	DEPRECIACIÓN	54
5.5	VALOR RESIDUAL	54
5.6	INGRESOS POR VENTA DEL PRODUCTO	55
5.7	FLUJO NETO DE CAJA (NCF).....	55
CONCLUSIÓN.....		58
BIBLIOGRAFÍA.....		59

PRÓLOGO

El presente trabajo se organiza en cinco capítulos:

El primer capítulo aborda una descripción general del tempe, incluyendo su origen, características sensoriales, propiedades nutricionales y medicinales, que lo posicionan como un alimento funcional y estratégico para su incorporación en el mercado argentino. Además, se informa la gestión para incorporar el tempe al Código Alimentario Argentino. Posteriormente, se presenta un estudio comparativo de distintos inóculos utilizados en la elaboración de tempe, seleccionando finalmente *Rhizopus oligosporus*. Se describe su morfología, su modo de desarrollo, las condiciones óptimas de crecimiento y su funcionalidad en el tempe. A continuación, se analiza la materia prima vegetal seleccionada como sustrato, para luego profundizar en el concepto de fermentación en estado sólido, sus fases específicas en la producción de tempe y las condiciones de operación requeridas. Finalmente, se expone un análisis del mercado global del tempe, el cual evidencia que su incorporación a largo plazo representa una oportunidad económicamente favorable.

En el segundo capítulo se desarrolla la propuesta del diseño de la planta de producción de tempe, dividiendo el proceso en cuatro etapas generales: ingreso del sustrato, acondicionamiento del sustrato, cámaras de cultivo y conservación del alimento. A continuación, se presenta el flowsheet y se describe cada proceso involucrado.

El tercer capítulo se centra en la determinación de la demanda y en la propuesta de una producción orientada a cubrir un mercado introductorio, considerando el diagrama de Gantt. Además, se establecen los requerimientos de materia prima vegetal, fúngica y química.

El cuarto capítulo desarrolla el dimensionamiento y la selección de equipos, acompañados de sus respectivos balances de masa.

Finalmente, el quinto capítulo analiza la rentabilidad del proyecto mediante el cálculo del valor actual neto. Este se determina a partir de los costos de equipos, mano de obra, servicios auxiliares y mantenimiento, incluyendo los factores de inversión inicial y ganancia por la venta del producto.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN INTEGRAL

1.1 TEMPE: UN ALIMENTO FUNCIONAL

El tempe o tempeh, es un alimento a base de soja, originario de la isla de Java, en Indonesia. Consumido desde hace siglos por la población local, representa una fuente accesible y económica de proteínas, especialmente en contextos con recursos limitados.

Este alimento se elabora tradicionalmente mediante un proceso de fermentación en estado sólido, utilizando un iniciador fúngico del género *Rhizopus spp.* No obstante, el término fermentación se utiliza como sinónimo de cultivo aeróbico, no necesariamente asociado a vías metabólicas fermentativas (Berenjian, 2019; Mitchell y otros, 2006).

A nivel artesanal, su producción incluye varias etapas: remojo, despellejado, lavado, cocción, escurrido, enfriado, inoculación con el cultivo iniciador e incubación.

Durante la incubación ocurre la colonización del hongo, evidenciada por la formación de una torta compacta en la que los granos de soja quedan unidos y recubiertos por hifas blancas del moho (Romulo & Surya, 2021), como se muestra en la Figura 1.1 y la Figura 1.2.



Figura 1.1. Tempe de soja (Gómez, 2023).



Figura 1.2. Tempe de soja. Fuente: www.circulo11.com.

Aunque la soja es el sustrato más habitual, en algunas regiones de Indonesia también se emplean otras legumbres o subproductos, como el residuo de coco, lo que da lugar a variaciones regionales auténticas en su preparación (Romulo & Surya, 2021).

Además de su valor cultural, el tempe posee un gran potencial como alimento funcional. Esto se debe a su perfil nutricional, su contenido de compuestos bioactivos y los beneficios para la salud asociados a su consumo. Diversos estudios destacan propiedades antibacterianas, antioxidantes, antialérgicas, antiinfecciosas y hepatoprotectoras (Kristiadi & Lunggani, 2022).

1.1.1 Características sensoriales

El tempe tiene un sabor característico a nuez que es suave y ligeramente terroso. Este sabor lo convierte en un ingrediente versátil en la cocina, ya que puede adaptarse a una variedad de preparaciones y sabores.

La textura es firme y ligeramente masticable, lo que lo hace ideal para cortar, rebanar o desmenuzar según las necesidades de la receta. Puede freírse, asarse o cocinarse de múltiples maneras sin que pierda su integridad.

Entre los platos más comunes se encuentran el tempe salteado con vegetales, a la plancha, en cazuelas, guisos y hamburguesas vegetales, entre otros. Tal como se muestra en la Figura 1.3 (Gómez, 2023)



Figura 1.3. Tempe salteado con verduras (Gómez, 2023).

1.1.2 Valor nutricional

La Tabla 1.1 presenta la composición nutricional del tempe de soja, indicando el valor energético, el contenido de nutrientes por cada 100 g de porción y el porcentaje del valor diario recomendado con base a una dieta de 2000 Kcal.

Tabla 1.1. Información nutricional del Tempe de soja. Fuente: www.mercadolibre.com.ar.

CONTIDO NUTRICIONAL	CANT. POR PORCIÓN	%VD (*)
Valor energético	92 kcal = 803 kJ	10%
Carbohidratos	9,4 g	3%
Proteínas	18,5 g	25%
Grasas totales	10,8 g	20%
Grasas saturadas	2,2 g	10%
Grasas trans	0 g	-
Fibra alimentaria	4,8 g	19%
Sodio	9 mg	0%

De acuerdo a los valores nutricionales se puede decir que el tempe es adecuado para vegetarianos como sustituto de la carne, ya que es una buena fuente de proteína no animal. Además, contiene prebióticos y una amplia variedad de vitaminas y minerales, lo que lo convierte en un sustituto completo de la carne (Teoh y otros, 2024).

1.1.3 Efectos del tempe en la salud

La amplia gama de beneficios para la salud, destaca la relevancia de incorporar este alimento fermentado en la dieta diaria como una estrategia para promover el bienestar general (Figura 1.4). Entre estos beneficios se incluyen (Teoh y otros, 2024; Ahnan Winarno y otros, 2020).

- **Efectos antidiabéticos:** La fermentación del tempe incrementa su contenido de isoflavonas y reduce los niveles de almidón y grasa. Esta transformación se ha asociado con la disminución de la glucosa en sangre, la reducción del peso corporal y la mejora del perfil lipídico en personas con diabetes.
- **Salud cardiovascular:** Gracias a su contenido de proteínas, isoflavonas y fibra dietaria, el tempe puede ayudar a reducir los niveles de colesterol y favorecer la salud del sistema cardiovascular.
- **Propiedades antitumorales y anticancerígenas:** Estas se atribuyen a la diversidad de compuestos bioactivos, especialmente a los péptidos bioactivos y a las isoflavonas como la genisteína y la daidzeína.
- **Mejora de la salud intestinal:** Como alimento fermentado, contiene componentes prebióticos, probióticos y biogénicos que favorecen la restauración de la barrera intestinal.
- **Mejora de la función cognitiva:** El consumo ha mostrado mejorar la memoria y la función cognitiva, especialmente en adultos mayores, posiblemente gracias a su mayor contenido de folato y vitamina B12 generado por la fermentación.
- **Efectos en la anemia:** Ayuda a reducir la anemia porque aporta hierro en formas biodisponibles gracias a la fermentación, lo que mejora la absorción y aumenta los niveles de hemoglobina.

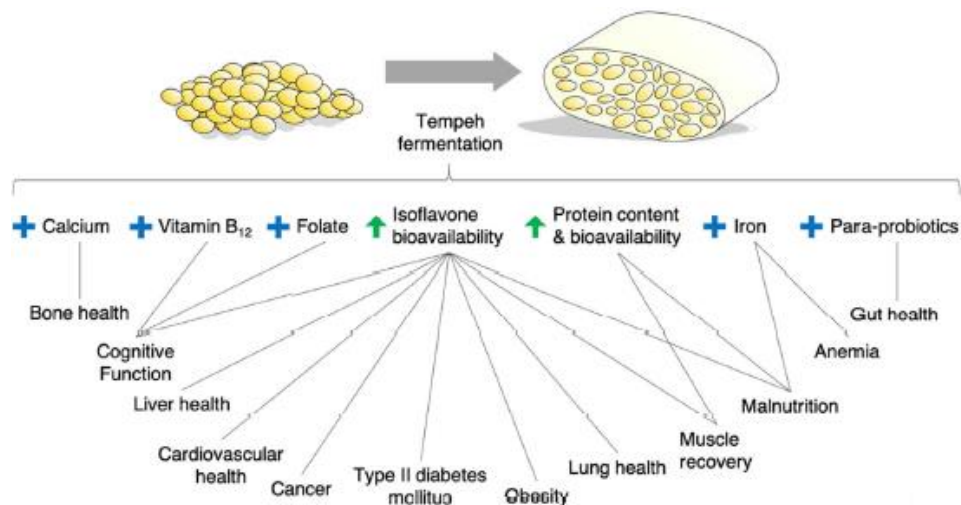


Figura 1.4. El Tempe y su potencial para promover la salud (Ahnan Winarno y otros, 2020).

1.1.4 El valor del tempe como estrategia nutricional

El déficit de proteínas en la alimentación está estrechamente relacionado con la falta de acceso a este nutriente esencial para la salud humana. Esta situación se agrava cuando las fuentes proteicas disponibles son de origen animal, ya que suelen ser más costosas y menos accesibles para sectores vulnerables.

Una de las estrategias más eficaces para combatir este problema es el desarrollo de alimentos ricos en proteínas derivados de materias primas vegetales de bajo costo. En este contexto, la soja representa una materia prima ideal, contiene entre 39 y 40 % de proteína. Cuando se procesa adecuadamente, por ejemplo, mediante la elaboración de tempe, la proteína de soja cumple con una serie de criterios relevantes: aceptabilidad cultural, sabor, textura, vida útil, facilidad de almacenamiento y alto valor nutricional (Usmani & Noorani, 1986).

Argentina representa alrededor del 18% de producción mundial de soja, situándose como tercer productor mundial. Esta realidad representa una oportunidad para desarrollar la producción de tempe a escala semi-industrial. La incorporación de este alimento en los sistemas productivos nacionales podría formar parte de estrategias de mejora alimentaria.

1.1.5 Formatos de comercialización

El tempe puede comercializarse en diferentes formatos, adaptándose a las preferencias del consumidor y exigencias del mercado. A continuación, se detallan los más clásicos (Ahnan y otros, 2020):

Puede venderse fresco (tras la fermentación), cocinado, o después de ser pasteurizado, se puede secar o congelar. Sin embargo, si no se refrigera o congela, el tempe fresco dura solo 3 días a temperatura ambiente, porque sigue habiendo actividad microbiana y puede descomponerse rápidamente.

El tempe deshidratado, puede conservarse hasta 30 semanas (más de 7 meses) si se almacena a una temperatura de refrigeración de 5°C. Esta es una forma muy eficaz de extender su vida útil.

El envasado al vacío puede prolongar la vida útil del tempe fresco:

- A temperatura ambiente (23–24 °C) dura 2 días más que sin envasado.
- Si se refrigera a 4–6 °C, dura hasta 32 días.
- Si se refrigera un poco más (0–4 °C), dura hasta 39 días.

El vacío ralentiza la actividad microbiana y la oxidación, ayudando a conservarlo mejor.

Se está hablando de un método más moderno de conservación: alta presión con dióxido de carbono (CO₂) a alta presión (6,3–7,6 MPa por 5–20 min), este proceso no daña las vitaminas B1, B2, B3 (importantes para el valor nutricional del tempe), pero reduce el calcio, proteínas, grasa y contenido de agua (Ahnan y otros, 2020).

1.1.6 Incorporación del tempe en el Código Alimentario.

El tempe actualmente no se encuentra en el Código Alimentario Argentino (CCA), si el proyecto se efectúa, será necesario gestionar la incorporación del alimento en el código. Para ello, se exigen los siguientes pasos:

- Informe técnico-científico, con la documentación de respaldo de acuerdo al tema que se evalúe.
- Nombre común del alimento, sustancia o clase de sustancias, su condición física, su fuente de obtención y/o el proceso utilizado en su producción, nombres comerciales o marcas comerciales utilizadas para el producto, tanto en el país de origen como en otros países de destino, así como cualquier otra información que se considere relevante y las cuáles estén relacionadas con la identificación del producto. Además, se deberá indicar el origen y la fabricación del producto. En el caso de que un producto sea o contenga ingredientes de origen animal, vegetal, algas, hongos y/o microorganismos, se deberá presentar su nombre científico, detallando su clasificación taxonómica.
- Informes sobre composición química y nutricional del producto, refrendados por laboratorios reconocidos por la Autoridad Sanitaria competente o miembros de la Red Nacional de Laboratorios.
- Especificaciones técnicas.
- Especificaciones de identidad, calidad y pureza del producto.
- Se deben presentar las pruebas de estabilidad.
- Finalidad y condiciones de usos.
- Estudios de absorción, distribución, metabolismo y excreción.
- Especificaciones de identidad, calidad y pureza del producto establecido en publicaciones internacionales pertinentes.
- Pruebas toxicológicas para demostrar el uso seguro.
- Evaluación de seguridad del producto emitido por autoridades y organismos internacionalmente reconocidos.
- Identificación de alérgenos conocidos en los ingredientes o componentes.
- Cuando existan evidencias sobre el uso ancestral, se deben describir los métodos tradicionales de elaboración y preparación comercial o en el hogar de los alimentos, su composición, cantidad y frecuencia de consumo y efectos adversos observados, si los hubiera (www.argentina.gob.ar.)

1.2 MATERIA PRIMA FÚNGICA: HONGOS FILAMENTOSOS

En la elaboración de tempe se utilizan hongos filamentosos, ya que su modo de crecimiento hifal, coloniza el sustrato sólido aprovechando sus nutrientes, brindado al tempe una estructura firme y sólida, es una de las ventajas de los hongos filamentosos frente a los microorganismos unicelulares. Además, su buena tolerancia a condiciones de baja actividad de agua y alta presión osmótica hacen que estos sean más eficientes para la bioconversión de sustratos sólidos (Berenjian, 2019).

Las especies más comúnmente utilizadas como iniciadores en la fermentación del tempe se detallan en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Distintas especies de hongos filamentosos para la elaboración de tempe (Ahnán Winarno y otros, 2020)

ESPECIE	CARACTERÍSTICAS
<i>Rhizopus oligosporus</i>	Variedad no tóxica. Produce B2, ácido nicotínico, nicotinamida y B6 en niveles altos. Mayor producción vitamínica.
<i>Rhizopus microsporus</i>	Puede albergar bacterias productoras de toxinas.
<i>Rhizopus microsporus</i> var. <i>chinensis</i>	No produce toxinas. Hidroliza sacarosa y rafinosa (a diferencia de <i>R. oligosporus</i>). Mejora la biodisponibilidad proteica al fermentar con <i>Aspergillus oryzae</i> .
<i>Rhizopus oryzae</i>	Autótrofo para vitaminas B2 y B3; promueve síntesis de vitamina B1. Reduce la hemicelulosa en soja 50%, convierte más de 50% proteína en aminoácidos.
<i>Rhizopus stolonifer</i>	Produce B2, ácido nicotínico, nicotinamida y B6. Aumenta daidzeína y genisteína hasta el doble que <i>R. oligosporus</i> y <i>R. oryzae</i> .

1.2.1 Selección del inóculo

El análisis se centrará en el estudio de *R. oligosporus* y *R. oryzae*, ya que ambas cepas han sido ampliamente documentadas en la literatura científica, lo que permite realizar un análisis comparativo. Además, Kristiadi & Lunggani (2022) señalan que estos son los hongos más comunes en la producción de tempe.

La comparación entre ellas se realizará tomando como referencia los criterios propuestos por Rahayu y otros (2015), quienes propusieron una serie de características deseables que deben cumplir las cepas de *Rhizopus* seleccionados para la fermentación del tempe. Dichas características, se detallaron en la Tabla 1.3, que incluye aspectos microbiológicos y propiedades sensoriales del tempe.

Tabla 1.3. Criterios de selección del inóculo.

CRITERIOS	<i>R. OLIGOSPORUS</i>	<i>R. ORYZAE</i>	REFERENCIAS
Crecimiento rápido a una temperatura de 37 °C	Presenta un crecimiento micelial muy denso. Ya que su temperatura óptima de desarrollo es de 37°C.	Su crecimiento micelial es menos denso.	(Ayun, 2021)
Actividad proteolítica	Posee una alta actividad proteolítica, debido a la abundante producción de la enzima proteasa.	Presenta menor actividad proteolítica, produce principalmente la enzima amilasa.	
Actividad lipolítica	Importante productor de lipasa.	También se encuentra entre los principales productores de lipasa.	(Helal, M., Abou-Taleb, Hassan, & Amer, 2021)
Capacidad para producir altos niveles de antioxidantes	Presenta mayor actividad antioxidante.	Su actividad antioxidante es menor.	(Watanabe, Hara, Tashiro, & Aoki, 2022)
Capacidad para generar tempe con sabor, aroma y textura característicos	Produce un tempe con un aroma deseado.	Su actividad amilasa y a la formación de ácido láctico a partir de glucosa, se asocia con sabores ácidos indeseables en el tempe.	(Nout & Rombouts, 1990)
Disponibilidad	Está disponible en el mercado argentino.	No se encuentra actualmente disponible en el mercado argentino.	

La cepa *Rhizopus Oligosporus* cumple con los criterios establecidos para el desarrollo del tempe, como se detalló en la Tabla 1.3. Además, se encuentra disponible en el mercado argentino. Por estas razones fue seleccionada para este proyecto. Esta elección coincide con Nout & Rombouts (1990) y Ahnan Winarno y otros (2020) quienes destacan la eficiencia de la cepa mencionada.

1.3 RHIZOPUS OLIGOSPORUS

1.3.1 Morfología

Las estructuras morfológicas del hongo filamentososo *Rhizopus oligosporus*, se presentan a continuación:

1. **Hifas**: Son los filamentos que constituyen el cuerpo del hongo. Generalmente son incoloras o de tonalidad clara y poseen un aspecto lanoso.
2. **Esporangióforos** : Son hifas portadoras de esporangios, crecen de manera erecta sobre el sustrato y suelen presentar escasa o nula ramificación.
3. **Esporangios** : Son estructuras esféricas u ovaladas que se desarrollan en el extremo de los esporangióforos. Normalmente son de color negro o marrón oscuro, con textura rugosa y en su interior contienen una gran cantidad de esporas.
4. **Esporas** : El *Rhizopus oligosporus* produce esporas asexuales, denominadas esporangiosporas. Estas suelen oscuras, con forma esférica u ovalada y se liberan de los esporangios para dispersarse en el ambiente.
5. **Rizoides** : Son estructuras similares a las raíces, cuya función principal es fijar el micelio al sustrato y facilitar la absorción de nutrientes (Biology Notes Online, 2024).

Las estructuras mencionadas se ilustran en la Figura 1.5, mientras que en la Figura 1.6 se observa una micrografía que permite visualizar la morfología de la especie *R. oligosporus*.

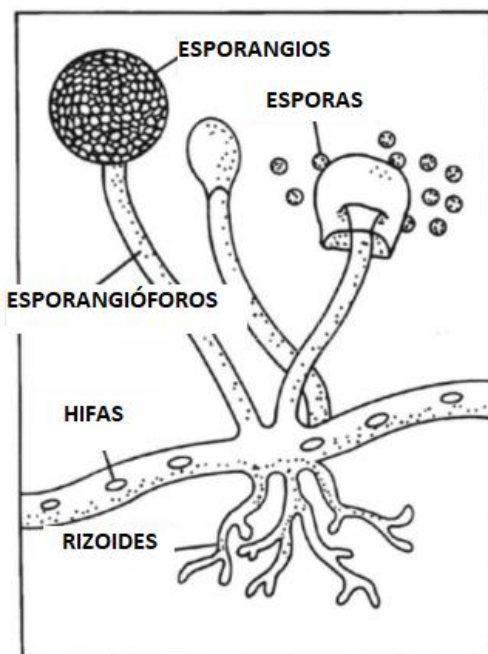


Figura 1.5. Descripción morfológica de *Rhizopus Oligosporus*. Adaptada de:

<https://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/>

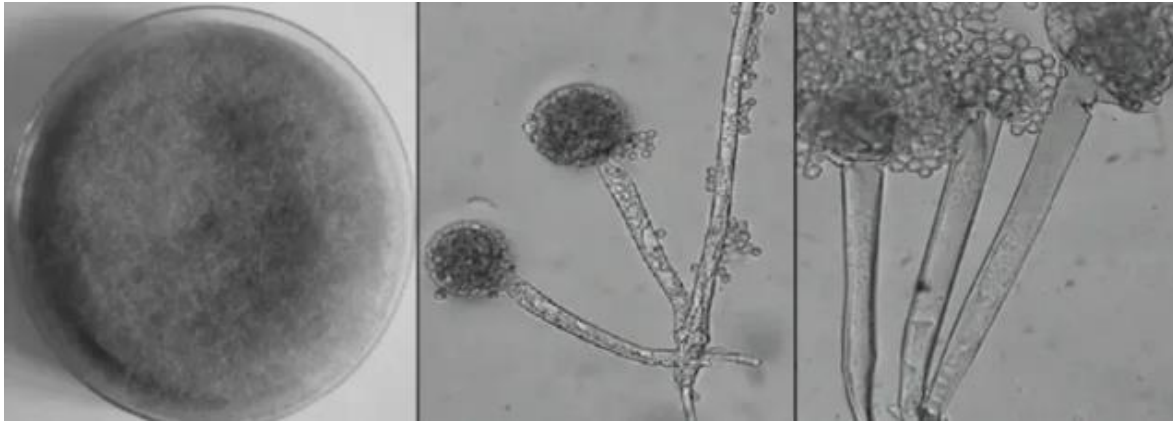


Figura 1.6. Cultivo visible de *Rhizopus oligosporus* en caja de Petri (izquierda) y micrografía del hongo mostrando sus esporangios, esporangióforos y rizoides (derecha).

Fuente: Biology Notes Online (2024).

1.3.2 Ciclo de vida

El ciclo de vida de *Rhizopus oligosporus*, implica tanto reproducción sexual como asexual. En la Figura 1.7 y a continuación se explican las etapas de su ciclo de vida (Biology Notes Online, 2024):

1. **Formación de esporas:** El ciclo de vida de *Rhizopus oligosporus* comienza con la producción de esporas asexuales llamadas esporangiosporas. Estas esporas se forman dentro de estructuras especializadas llamadas esporangios.
2. **Dispersión y germinación de esporas:** Los esporangios maduros se rompen, liberando las esporangiosporas al ambiente. Cuando se dan condiciones favorables, como humedad y un sustrato adecuado, las esporangiosporas germinan.
3. **Crecimiento de Hifas y Formación de Micelio:** Tras la germinación, cada esporangiospora da lugar a una sola hifa. Las hifas son estructuras tubulares alargadas que forman el cuerpo principal del hongo. A medida que crecen y se ramifican, formando una red llamada micelio. El micelio consiste en una masa de hifas interconectadas y es responsable de la absorción de nutrientes y el crecimiento del hongo.
4. **Reproducción asexual:** Se da mediante esporangios que producen esporangiosporas (también llamadas esporas asexuales). Estas esporas se dispersan fácilmente y germinan para formar nuevas hifas y micelios.
5. **Reproducción sexual:** Ocurre cuando dos hifas compatibles (+ y –) se fusionan (plasmogamia). Se forma un cigosporangio, dentro del cual se desarrolla una cigospora (espora sexual). La cigospora es de pared gruesa, resistente a condiciones adversas y puede permanecer en reposo hasta encontrar un ambiente favorable para germinar y dar lugar a nuevas hifas, completando el ciclo de vida.

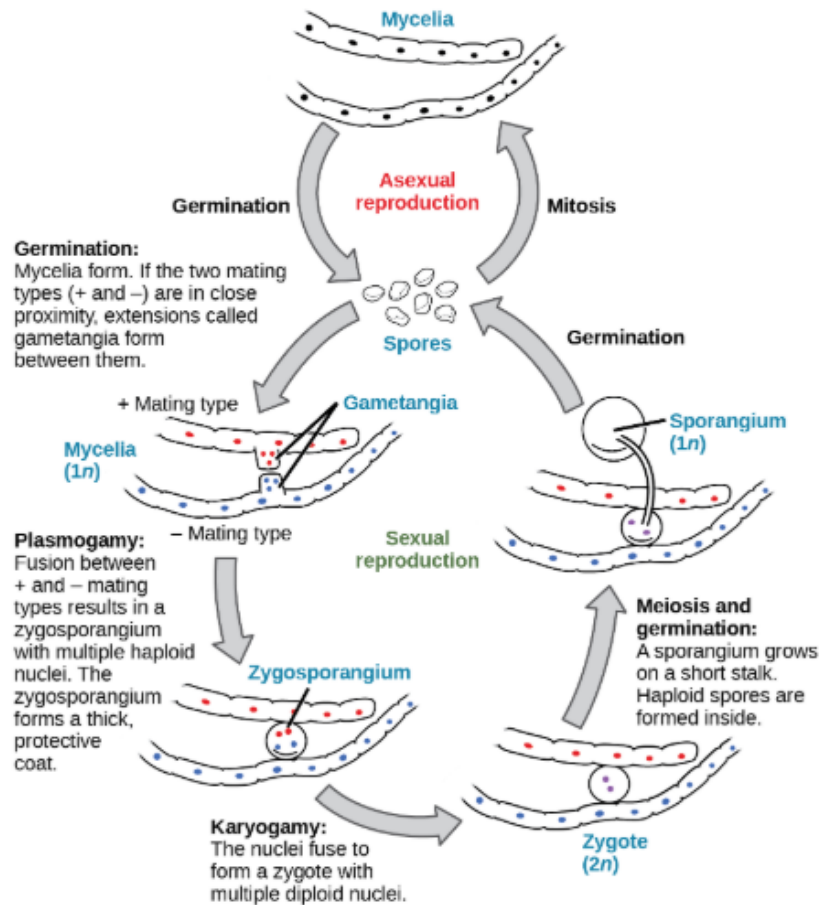


Figura 1.7. Ciclo de vida del *Rhizopus Oligosporus*. Fuente: <https://espanol.libretexts.org/>

1.3.3 Funciones de *R. Oligosporus* en el tempe

Con toda la información recopilada, se puede decir que las funciones de *R. oligosporus* en el tempe, son las siguientes:

Fermentación y unión del grano: sus micelios crecen alrededor de los granos de soja, formando una matriz blanca, compacta y fácil de cortar.

Digestión enzimática: produce enzimas como proteasas y lipasas, que degradan proteínas y grasas. Esto mejora la digestibilidad y reduce factores antinutricionales.

Mejora nutricional: incrementa el contenido de vitaminas (especialmente del complejo B) y aminoácidos libres, aumentando el valor nutritivo del producto.

Seguridad y sabor: inhibe el crecimiento de microorganismos indeseables gracias a la producción de compuestos antimicrobianos y al mismo tiempo desarrolla el sabor y aroma característicos del tempe.

1.3.4 Condiciones de crecimiento

El crecimiento de *Rhizopus oligosporus* depende tanto del aporte adecuado de nutrientes como del cumplimiento de condiciones físico-químicas específicas. La disponibilidad de un medio propicio es fundamental para su proliferación. Factores ambientales como la

temperatura, la humedad y la actividad del agua, junto con parámetros químicos como el pH y la disponibilidad de oxígeno, influyen directamente en el desarrollo del cultivo.

Temperatura: Al ser un organismo mesófilo, esto significa que su temperatura de crecimiento óptima se encuentra en el rango de entre 20°C y 37°C (Biology Notes Online, 2024).

Humedad: El organismo prefiere ambientes húmedos para su crecimiento. (Biology Notes Online, 2024)

Actividad de agua (a_w): La actividad de agua óptima para su crecimiento es cercana a 1. (Sparringa y otros, 2002).

pH: Prefiere un ambiente ligeramente ácido con un pH entre 5,5 y 5,8 (Sparringa y otros, 2002).

Oxígeno: El *Rhizopus Oligosporus* es un organismo aerobio, es decir, necesita oxígeno para crecer. (Nout & Rombouts, 1990)

Por otro lado, también se requieren macronutrientes como nitrógeno, carbono y lípidos (Nout & Rombouts, 1990). Es por ello que los granos de soja resultan un sustrato ideal para la elaboración de tempe, ya que son ricos en proteínas y carbohidratos.

1.4 MATERIA PRIMA VEGETAL: GRANOS DE SOJA

Existen variedades de tempe elaborados a partir de otros ingredientes, ya sea de forma pura o en combinación. Estos no utilizan soja como sustrato principal sino garbanzos, lentejas, frijoles blancos y negros, habas, semillas de girasol, avena, entre otros (Ahnan Winarno y otros, 2020). Sin embargo, este proyecto se centrará en la producción de tempe a base de granos de soja, una materia prima local, abundante y de bajo costo.

La soja, cuyo nombre científico es *Glycine max*, es una especie de la familia Fabaceae, o familia de las leguminosas, es una de las principales fuentes de proteína tanto para la alimentación humana como animal (SISA, 2024).

Es una leguminosa tradicional en la dieta asiática y recientemente incorporada en la occidental, es una fuente reconocida de proteínas y grasas saludables (Salinas & López-Sobaler, 2017). Argentina es un exportador de soja, principalmente a países asiáticos (Ministerio de Hacienda, 2019).

Es un ingrediente alimentario versátil que se utiliza para elaborar una amplia gama de productos fermentados como tempe, miso, natto, tofu y salsa de soja. El proceso de fermentación mejora la textura y el sabor de la soja, además de incrementar su valor nutricional, lo que resulta beneficioso para la salud humana. Este proceso también provoca importantes cambios bioquímicos debido a la acción de microorganismos o enzimas (Teoh y otros, 2024)

1.4.1 Propiedades de la soja

En la Tabla 1.4., se detalla su composición nutricional por cada 100 gramos. La soja se destaca por su alto contenido de proteínas de buena calidad, que incluyen todos los aminoácidos esenciales, alcanzando una puntuación del 100 % en calidad proteica, comparable a las proteínas animales. Su contenido graso es moderado, predominando los

ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, especialmente el ácido linoleico y no contiene colesterol. También presenta bajo contenido en hidratos de carbono, aporta fibra soluble e insoluble y es una buena fuente de vitaminas y minerales como B1, K, folatos, magnesio, potasio, cobre, manganeso y fósforo (Salinas & López-Sobaler, 2017).

Tabla 1.4. Composición nutricional de las semillas de soja secas. Fuente: Adaptado de Salinas & López-Sobaler (2017)

Energía y macronutrientes/100 gr		Vitaminas/100 gr	
Agua (g)	8,5	Vitamina C (mg)	6
Energía (kcal)	446	Vitamina B1 (mg)	0,87
Proteínas (g)	36,5	Vitamina B2 (mg)	0,87
Lípidos (g)	19,9	Niacina (mg)	1,6
AGS (g)	2,9	A. Pantoténico (mg)	0,79
AGM (g)	4,4	Vitamina B6 (mg)	0,38
AGP (g)	11,3	Folatos (µg)	375
Omega-3 (g)	1,3	Vitamina B12 (µg)	0
Omega-6 (g)	9,9	Colina (mg)	116
Colesterol (g)	0	Vitamina A (µg)	0
H. de carbono (g)	30,2	Vitamina D (µg)	0
Azúcares totales (g)	7,3	Vitamina E (mg)	0,85
Fibra (g)	9,3	Vitamina K (µg)	47
Minerales/100 gr			
Calcio (mg)	277	Sodio (mg)	2
Hierro (mg)	15,7	Zinc (mg)	4,9
Magnesio (mg)	280	Cobre (mg)	1,67
Fósforo (mg)	704	Manganeso (mg)	2,5
Potasio (mg)	1797	Selenio (µg)	17,8

1.5 FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO

La fermentación en estado sólido (SSF, por sus siglas en inglés) implica el crecimiento de microorganismos sobre partículas sólidas húmedas, en situaciones donde los espacios entre dichas partículas contienen una fase gaseosa continua y una cantidad mínima de agua visible.

Aunque puede haber pequeñas gotas de agua entre las partículas, o finas películas de agua en la superficie de las mismas, la fase acuosa interparticular es discontinua y la mayor parte del espacio entre partículas está ocupado por la fase gaseosa. La mayor cantidad de agua del sistema está absorbida dentro de las partículas sólidas húmedas (Figura 1.8.).

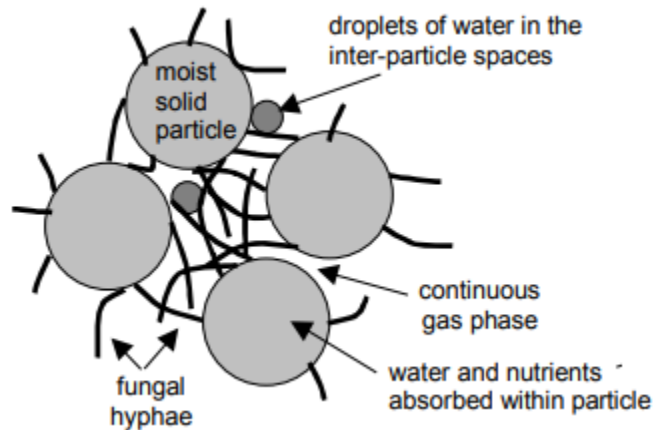


Figura 1.8. La disposición de partículas sólidas húmedas y la fase gaseosa continua en los sistemas SSF que involucran un hongo filamentoso. Fuente: Mitchell y otros (2006).

1.5.1 Fases de fermentación del tempe

La fermentación del tempe a 30-32 °C atraviesa tres etapas, una fase de crecimiento activo, caracterizada por el crecimiento del micelio, actividad de lipasas y proteasas y alcalinización, seguida por una fase de maduración, en la que se observa alcalinización y máximas puntuaciones organolépticas y una fase de envejecimiento, marcada por el inicio de la senescencia del micelio y un mantenimiento o deterioro de las características organolépticas.

De acuerdo al cambio de pH durante la fermentación con *R. oligosporus* a 30 °C, el proceso presenta una fase de maduración, en la que el pH aumenta de 4,6 a 6,6 y una fase de envejecimiento en la que asciende de 6,6 a 7,1. La alcalinización en el tempe se debe a la liberación de amoníaco, que representa cerca del 40 % de la alcalinización en el tempe maduro y casi la totalidad en el tempe envejecido. Además, puede actuar como inhibidor de la esporulación y el crecimiento del moho en las etapas finales (Ahnán Winarno y otros, 2020).

1.5.2 Condiciones del proceso

Dado que se trata de una fermentación en estado sólido, es fundamental cumplir con ciertas condiciones específicas que se detallan a continuación, ya que estas influyen directamente en el desarrollo del proceso y en la calidad del tempe obtenido (Tabla 1.5.).

Temperatura: Se sabe que *R. oligosporus* es un microorganismo mesófilo. Sin embargo, durante la SSF, se genera calor metabólico que, si no se disipa adecuadamente, puede inhibir su crecimiento. Debido a la baja conductividad térmica de los sustratos, el calor tiende a acumularse, por lo que se recurre a estrategias como mejorar la aireación y favorecer la evaporación (Ferrer y otros, 2014). El valor de la temperatura dentro de la cámara de colonización es de 32°C el cual será controlado por un módulo climático descrito en la Sección 4.8.

Actividad del agua: La actividad de agua se entiende como la disponibilidad de agua para el crecimiento de los microorganismos, esta se expresa en términos de actividad (a_w) (Madigan y otros, 2015). Es un parámetro fundamental para la transferencia de agua y los

solutos a través de la pared celular. Por consiguiente, el control de este parámetro se usa para modificar la producción metabólica de los microorganismos. El agua sirve como fase de difusión de las enzimas y los nutrientes, al mismo tiempo permite el intercambio gaseoso. Una humedad elevada en el sustrato, causa una disminución de la capacidad de acción de los poros del sustrato, dificultando la difusión del oxígeno. Por el contrario, una baja humedad, no permite un crecimiento adecuado del microorganismo ni una disponibilidad importante del sustrato (Ferrer y otros, 2014). Aunque los hongos filamentosos toleran bajas actividades de agua próximas a 0,7 (Madigan y otros, 2015), esto permite que no se desarrollen otros microorganismos. Para que la fermentación sea óptima el valor de a_w debe estar entre 0,99 y 1,00 (adim.) el cual corresponde, según Ahnan Winarno y otros (2020), a una humedad del sustrato del 62% en base húmeda. La centrifuga operará de manera tal que se alcance el nivel de humedad deseada.

Humedad relativa: Es la relación entre la cantidad de vapor de agua que hay en una masa de aire y la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener la masa de aire antes de saturarse, es decir, antes de condensar el agua. Se requiere una humedad relativa del 78% (adim) (Rahayu y otros, 2015). Este parámetro será controlado por el módulo climático.

Tiempo: Puede influir en el proceso de fermentación. A continuación, se mencionan combinaciones de temperatura y tiempo para la incubación (Rahayu y otros, 2015).

- a. 25 °C durante 80 horas
- b. 25-37 °C durante 20-50 horas
- c. 32 °C durante 20-22 horas
- d. 35-38 °C durante 15-18 horas

Aireación: Es un factor importante, dado que la SSF es un proceso aeróbico (Berenjian, 2019; Mitchell y otros, 2006). Sin embargo, la aireación forzada puede reseca el sustrato, esparcir las esporas hacia zonas no deseadas, dañar el micelio y provocar gradientes de temperatura, por lo tanto, la mejor opción es aireación no forzada.

Altura del sustrato: La superficie y el espesor del material de fermentación desempeñan un papel importante en la producción de tempe, ya que de ellos depende la disponibilidad de oxígeno en la masa fermentada. Usmani & Noorani (1986) recomiendan un espesor de 1,5-2 pulgadas para obtener una buena penetración micelial, el ablandamiento de la soja, aumentar el paso del oxígeno y la acción enzimática. Este parámetro será establecido por la altura de la bandeja, descrito en la Sección 4.7.

Tabla 1.5. Condiciones de trabajo en la cámara de cultivo.

CONDICIONES	
Temperatura	32°C
Humedad del sustrato	62%
Humedad relativa	78%
Tiempo de fermentación	20 hs
Aireación	Sin circulación forzada
Espesor del sustrato	1,5 a 2 pulgadas

1.6 MERCADO DE LA SOJA Y EL TEMPE

Dentro del contexto latinoamericano, el cultivo de la soja se concentra en Brasil, Argentina y Paraguay, que junto a Estados Unidos representan más de las tres cuartas partes de la producción mundial (SISA, 2024).

Se ha estimado que la producción de soja en Argentina para la campaña 2024/25 será de 49 millones de toneladas. Además, la USDA informa que Argentina se encuentra entre los principales exportadores a nivel mundial, siendo el 3° en exportar granos y el 1° en harinas y aceites (Heath, 2025). El grano que se exporta es del tipo transgénico (Ministerio de Hacienda, 2019).

Según datos de la Bolsa de Comercio de Rosario (2024) en la campaña anterior 2023/24. En Argentina, la mayor parte de la producción de soja no se exporta como grano entero, sino que se industrializa localmente. Solo el 9% de la soja producida se exporta como grano sin procesar, mientras que aproximadamente el 79% se transforma en derivados industriales, como harinas, aceites y biocombustibles, que luego se exportan. El 12% restante se destina al consumo interno.

Según un estudio de Kantar-Insights Division (2020), el 12% de la población de Argentina es vegana y vegetariana. Otro 12% de la población se definió como flexitariano, como se denomina a las personas que han bajado sustancialmente el consumo de carne. Además, se conoce que, en Argentina, un alto porcentaje de la población está dispuesta a incrementar su consumo de productos vegetales. Un estudio de Kantar Worldpanel (2021) revela que el 78% de la población argentina está dispuesta a aumentar su consumo de alimentos a base de plantas. Esto refleja una creciente preferencia por alimentos basados en plantas, que ha ido ganando fuerza a lo largo de estos años y en la necesidad de opciones alimentarias que se ajusten a estos patrones dietéticos.

La empresa de investigación de mercado Grand View Research (2024), señaló que el tamaño del mercado mundial del tempe se estimó en 5.170 millones de dólares en 2023 y se prevé que crezca a una tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC) del 5,8 % entre 2024 y 2030, por lo que el mercado mundial del tempe está experimentando un crecimiento significativo Figura 1.9.

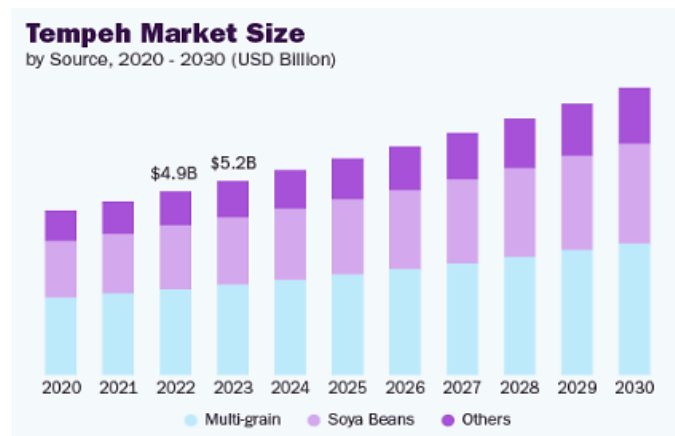


Figura 1.9. Mercado global esperado del Tempe en el periodo 2020-2030. Fuente: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/tempeh-market-report/>

A continuación, se presentan las empresas líderes en el mercado del tempe:

- Byron Bay Tempeh (Australia)
- Margaret River Tempeh (Australia)
- Tootie's Tempeh (Australia)
- Mighty Bean Sunshine Coast (Australia)
- Nutrisoy Pty Ltd (Australia)
- Turtle Island Foods, Inc. (EE.UU)
- Plant Power (Australia)
- Maple Leaf Foods Inc. (Cánada)
- Primasoy (Australia)
- Lalibela Farm Tempeh (EE.UU)

En la actualidad, según la Asociación de Productores a Base de Plantas, en nuestro país operan 1200 empresas especializadas en la producción de alimentos basados en plantas. Estas compañías generan un volumen de mercado de 110.000 dólares al año en total. Durante el año 2021, 130 de estas empresas lograron un impresionante crecimiento del 35% respecto al año anterior. Se anticipa que este crecimiento se mantendrá e incluso se acelerará, con una expectativa de crecimiento del 45% proyectada en el 2023. Este aumento en el rendimiento de las 130 empresas que crecieron en 2021 se traducirá en un incremento estimado de 7,000 millones de dólares en el mercado de alimentos basados en plantas para el año 2023. Esto demuestra un panorama prometedor y una expansión significativa en el sector de alimentos basados en plantas en nuestro país (Origlia, 2022).

CAPITULO II: DISEÑO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

2.1 ESTRUCTURA ENTRADA – SALIDA DEL PROCESO

Para definir las entradas y salidas del proceso, se aplicaron los niveles de decisión propuestos por Douglas (1988), que consisten en reglas heurísticas que ayudan a tomar decisiones para construir un diagrama de flujos de procesos. A continuación, se analizan las reglas heurísticas:

¿Es necesario purificar la corriente de alimentación?

La corriente de alimentación debe ser purificada, ya que las impurezas no son inertes. Al tratarse de un proceso alimentario, es fundamental garantizar condiciones seguras e higiénicas, por lo que es indispensable eliminar cualquier tipo de contaminante. Se propone, por lo tanto, incorporar un sistema de separación previo al inicio del proceso.

Las impurezas presentes en los granos de soja, como restos de paja, granos dañados o semillas de otras especies, pueden contener mayor humedad y generar un entorno propicio para el desarrollo de mohos o bacterias no deseadas. Esto compromete la fermentación adecuada del tempe, afectando su sabor, textura y seguridad alimentaria.

¿Debe eliminarse o reciclarse un subproducto reversible?

Al no existir un subproducto en el proceso, este no debe eliminarse o reciclarse.

¿Es necesario recuperar y reciclar alguna materia prima para la elaboración de tempe?

En este trabajo, las materias primas utilizadas son la soja, el iniciador de tempe y el ácido láctico. La soja no puede recuperarse, ya que forma parte del producto final. Por otro lado, la recuperación del ácido láctico no resulta práctica ni sencilla, debido a posibles contaminaciones y al alto costo de su purificación. El iniciador de tempe podría reciclarse, sin embargo, en este estudio no se propone su reutilización, quedando como una opción para investigaciones futuras.

¿Cuántas corrientes de producto habrá?

Existe una única corriente de producto, la cual es el tempe.

Con base en lo anterior, se propone el diseño del proceso a partir de cuatro etapas principales:

1. Ingreso del sustrato: que incluye recepción, almacenamiento y pesaje de los granos de soja
2. El acondicionamiento del sustrato: que incluye la limpieza y preparación previa de los granos de soja.
3. Las cámaras de cultivo: donde se desarrollará la fermentación y se obtendrá el producto final.
4. Conservación: en el cual se efectúa el proceso de escaldado, envasado y almacenamiento refrigerado.

2.2 FLOWSHEET DEL PROCESO

En la Figura 2.1 se ilustra el flowsheet del proceso completo de la producción de tempe, teniendo en cuenta los procesos correspondientes a cada etapa.

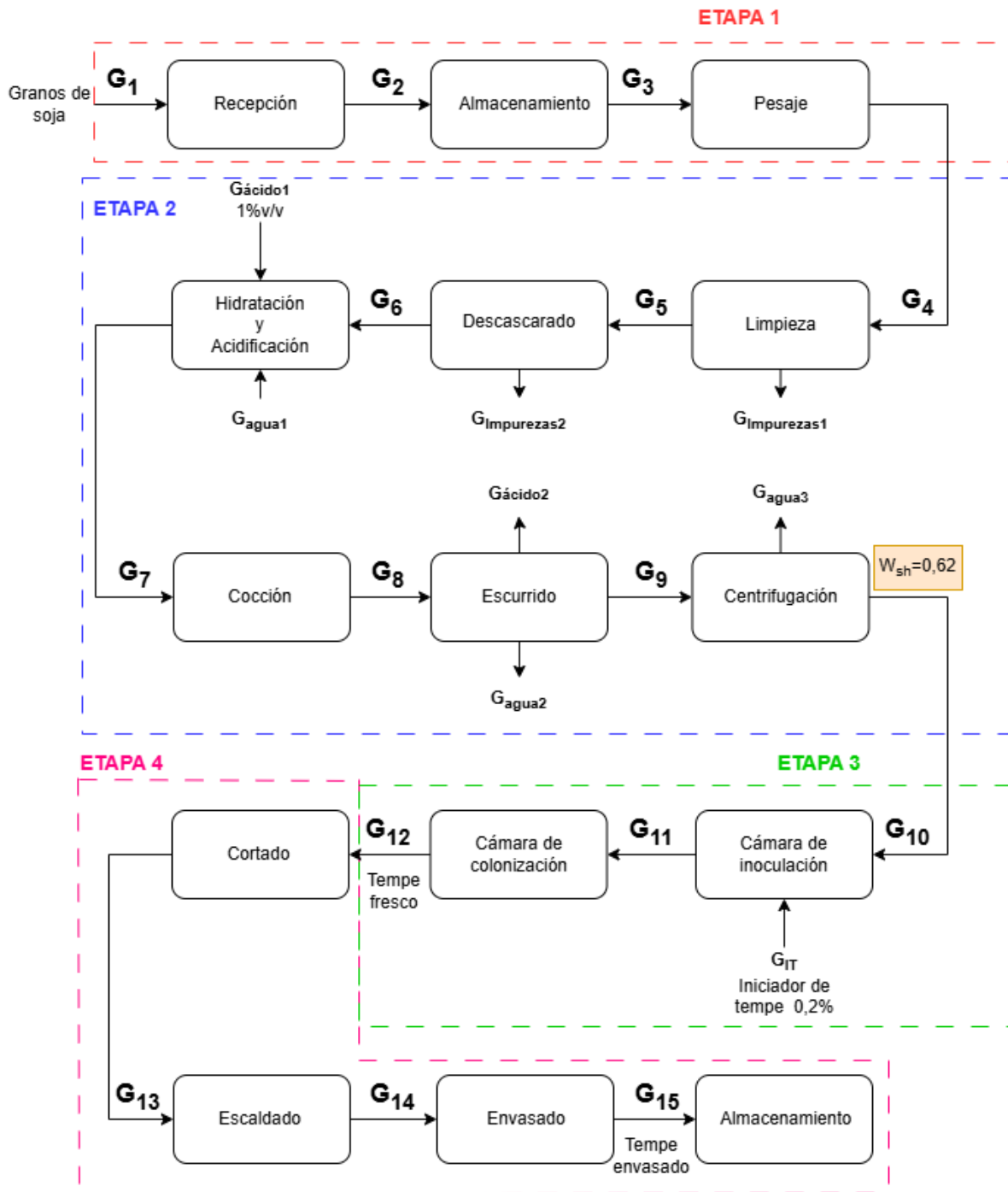


Figura 2.1. Flowsheet del proceso completo.

2.3 ETAPA 1: INGRESO DEL SUSTRATO

En esta etapa se reciben los lotes de granos de soja, verificando su calidad y se almacenan para asegurar un stock continuo. Finalmente, se procede al pesaje de los granos para iniciar con el tratamiento de los mismos.

2.3.1 Recepción

El proceso inicia con la recepción de los lotes de granos de soja, donde se evalúa su calidad y los límites de tolerancia dados por la Norma de Comercialización de Soja-Resolución 151/2008 (La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, 2008)

2.3.2 Almacenamiento

El almacenamiento de granos de soja resulta esencial para contar con un stock suficiente que garantice la continuidad operativa y prevenga interrupciones no planificadas en la producción.

2.3.3 Pesaje

Los granos destinados a la producción de tempe se pesan utilizando una balanza adecuada y calibrada, según la cantidad requerida para el proceso.

2.4 ETAPA 2: ACONDICIONAMIENTO DEL SUSTRATO

Consiste en una serie de operaciones unitarias aplicadas a la materia prima, en este caso la soja, con el propósito de prepararla adecuadamente antes del ingreso a las cámaras de cultivo. Su finalidad es garantizar que el sustrato reúna las condiciones físicas, químicas y microbiológicas para el crecimiento del hongo, constituyendo una estrategia para asegurar la calidad del tempe. A continuación, se describen las operaciones unitarias propuestas para esta etapa de acondicionamiento.

2.4.1 Limpieza

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (2008), establece en la Norma de Comercialización de Soja (Resolución 151/2008) que los lotes de soja presentan un límite máximo de impurezas, lo que implica que pueden contener contaminantes como piedras, insectos, tierra, etc. Para garantizar la inocuidad y la calidad del grano se aplican métodos de limpieza temprana que lo dejan en condiciones adecuadas para su procesamiento posterior, protegen al consumidor, evitan daños en los equipos, reducen pérdidas por contaminación microbiana y previenen retrasos en la producción.

En este proyecto se emplea la limpieza en seco, la cual consiste en separar los contaminantes de la soja sin recurrir al uso del agua. Este método resulta adecuado para granos pequeños con alta resistencia mecánica y bajo contenido de humedad (Fellows, 2000). Además, porque el siguiente proceso es primordial que se realice en seco.

2.4.2 Descascarado

El descascarado es una de las etapas importantes en la elaboración del tempe. Las cáscaras que quedan debido a un pelado incompleto dificultan el buen desarrollo del inóculo, mientras que un descascarado eficiente favorece la penetración del micelio, obteniendo una textura firme y compacta (Rahayu y otros, 2015).

2.4.3 Hidratación y Acidificación

Durante este proceso, los granos de soja se someten a hidratación y acidificación de forma simultánea, es decir, se dejan reposar en agua acidificada, logrando que los granos de soja aumenten su contenido de humedad y adquieran una textura más suave. Al mismo tiempo, el ambiente ácido generado inhibe el crecimiento de bacterias putrefactivas y favorece el desarrollo del moho del tempe (Rahayu y otros, 2015).

2.4.4 Cocción

La cocción se realiza para cumplir los siguientes objetivos (Fellows, 2000):

- Efectos deseables sobre la calidad sensorial (ablandar la soja).
- Efecto conservante, ya que destruye enzimas, microorganismos y parásitos (eliminación de contaminantes).
- La destrucción de factores antinutricionales (por ejemplo, el inhibidor de tripsina).
- La mejora en la disponibilidad de algunos nutrientes (por ejemplo, mayor digestibilidad de las proteínas, facilitando su aprovechamiento por el moho y liberar algunos nutrientes necesarios para la fermentación del moho)

2.4.5 Centrifugación

Tiene como objetivo reducir el contenido de agua, disminuir la temperatura y secar parcialmente la superficie de las semillas de soja. Un escurrimiento insuficiente puede conducir a una fermentación fallida (Rahayu y otros, 2015), mientras que un escurrimiento excesivo puede inhibir el desarrollo del moho del tempe. Por lo tanto, los granos deben conservar la hidratación necesaria para la fermentación, pero sin presencia de agua libre entre los granos (Castro y otros, 1998).

2.5 ETAPA 3: CÁMARAS DE CULTIVO

Están constituidas por la cámara de inoculación y la cámara de colonización, que se detallan a continuación:

2.5.1 Cámara de inoculación

En esta etapa se incorpora el iniciador de tempe a los granos de soja. La cantidad de inóculo es un factor determinante en la calidad del tempe producido, ya que un exceso o una cantidad insuficiente pueden provocar una fermentación incompleta (Rahayu y otros, 2015).

2.5.2 Cámara de colonización

Para la selección de la cámara de colonización se basó en el trabajo de Mitchell y otros (2006). Los biorreactores para SSF se dividen en cuatro grupos (Figura 2.2.) según la agitación y la aireación:

Grupo I - Biorreactores tipo bandejas: El sustrato permanece estático o se mezcla con muy poca frecuencia y el aire circula alrededor del sustrato, pero no se fuerza su paso a través de él.

Grupo II - Biorreactores de lecho empacado: El lecho es estático o se mezcla con muy poca frecuencia y se sopla aire con fuerza.

Grupo III – Biorreactores de tambor agitado o rotatorio: Donde el lecho se mezcla de forma continua o intermitente con bastante frecuencia. El aire circula alrededor del lecho, pero no se fuerza su paso a través de él.

Grupo IV: Biorreactores agitados y aireados: El lecho se agita y, simultáneamente, se fuerza la circulación del aire a través de él. Se clasifican en dos grupos, mezcla continua y mezcla intermitente. Varios reactores cumplen con este diseño, lechos fluidizados gas-sólido, tambor oscilante y otros biorreactores agitados-aireados.

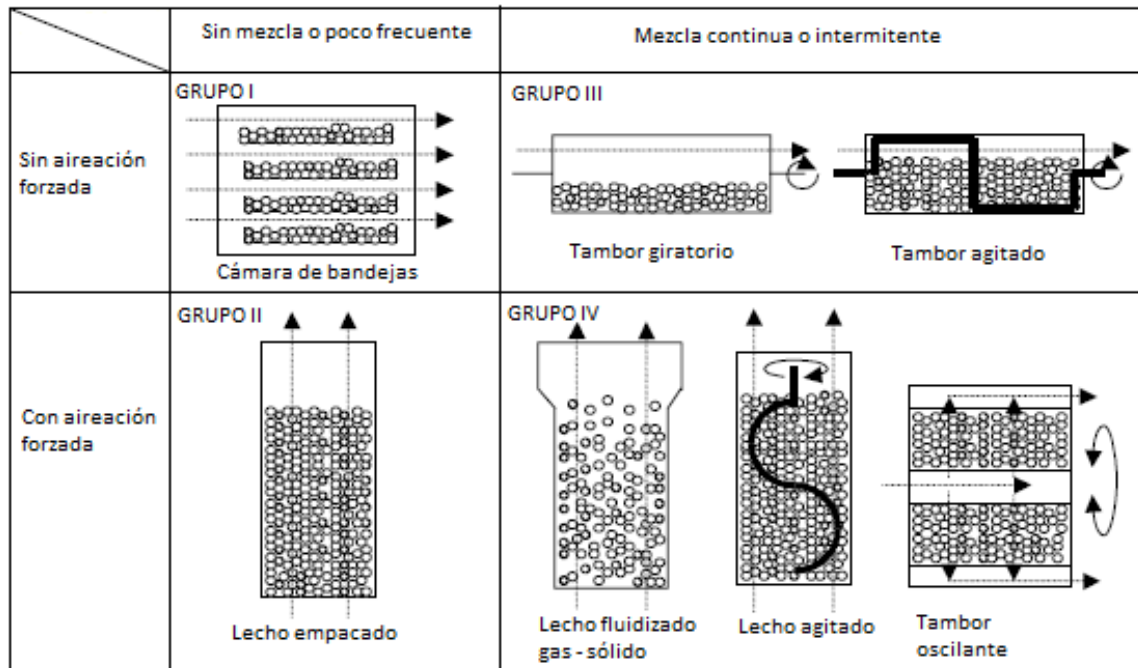


Figura 2.2. Tipos de biorreactores. Adaptada de Mitchell y otros (2006).

Considerando el mecanismo de funcionamiento de los distintos tipos de biorreactores, en la Tabla 2.1. se analiza como estos afectan al hongo filamentoso empleado en este trabajo para la elaboración de tempe.

Tabla 2.1. Efectos del mecanismo del biorreactor en el *R. oligosporus*.

Biorreactores	Nivel de daño al microorganismo	¿Qué mecanismo afecta negativamente al microorganismo?
Sin agitación y sin aireación forzada (Grupo I)	Bajo	Ninguno
Con agitación y sin aireación forzada (Grupo II)	Medio	Agitación
Sin agitación y con aireación forzada (Grupo III)	Medio	Secado
Con agitación y con aireación forzada (Grupo IV)	Alto	Agitación y Secado

El tipo de biorreactor que se selecciona para este proceso es el de bandeja, ya que opera sin agitación, evitando el daño de las hifas fúngicas y la formación del producto. Además, cumple con la condición de aireación descrita en la Sección 1.5.2.

2.5.3 Biorreactor tipo bandeja

Consiste en una cámara que contiene varias bandejas apiladas con espacio entre ellas. Dentro de la cámara circula aire acondicionado, con control de humedad y temperatura, que pasa alrededor de las bandejas abiertas por la parte superior y perforadas en el fondo para aumentar el acceso al oxígeno (Mitchell y otros, 2006).

2.6 ETAPA 4: CONSERVACIÓN

Esta etapa busca prolongar la vida útil del tempe y mantener su calidad, mediante procesos como el escaldado, el envasado al vacío y el almacenamiento a baja temperatura. Previo a estas operaciones el tempe que sale de la cámara de colonización se corta en porciones para su comercialización.

2.6.1 Cortado

Consiste en dividir los bloques de tempe obtenidos de la cámara de colonización en porciones uniformes, adaptadas al tamaño de presentación comercial. El procedimiento facilita el envasado, estandariza el producto y asegura practicidad en su distribución y consumo.

2.6.2 Escaldado

El escaldado es una operación unitaria que se realiza comúnmente para inactivar enzimas, sin modificar la textura, preservar el color, sabor y valor nutricional. Suprime la actividad metabólica de los hongos, así como de las enzimas proteolíticas y lipolíticas, que son las

principales responsables del deterioro del tempe fresco y también, demuestra ser efectivo para suprimir el crecimiento microbiano en alimentos (Astawan y otros, 2016).

2.6.3 Envasado

La vida útil de un producto alimenticio se puede definir como el período entre su producción y el momento de su compra minorista, durante el cual el producto conserva una calidad satisfactoria o mantiene sus características sensoriales, químicas, físicas y microbiológicas deseadas.

El tempe se categoriza como un alimento altamente perecedero, con una vida útil de menos de dos días a temperatura ambiente, de modo que el envasado al vacío se aplica con la expectativa de extender la vida útil del mismo, expulsando el aire del envase sin introducir otro gas por lo que actúa como una buena barrera al oxígeno y al agua (Astawan y otros, 2016).

2.6.4 Almacenamiento del producto final

Se propone conservar el tempe mediante envasado al vacío y almacenamiento a baja temperatura, esta estrategia ha demostrado ser eficaz para prolongar su vida útil (Astawan y otros, 2016). Según lo establecido en la Sección 1.1.5, el producto final se almacenará entre 2 y 4°C, alcanzando una vida útil de 32 días.

CAPÍTULO III: PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Este capítulo aborda la determinación de la demanda de mercado y la oferta a cubrir, lo que permite definir las cantidades requeridas de materia prima. En cuanto a la localización de la planta de producción de tempe, se propone su instalación en una localidad del interior de la provincia de Tucumán, en una zona con acceso logístico y cercana a los productores de soja. Considerando que la temporada de cosecha de soja en la provincia se extiende de marzo a junio y de acuerdo al diagrama de Gantt propuesto, la planta llevará adelante su producción durante 288 días al año, es decir, 12 meses, 6 días a la semana.

3.1 DIAGRAMA DE GANTT

Para estimar la cantidad de días de operación anual de la planta, se elaboró un diagrama de Gantt, el cual es una herramienta de gestión de proyectos que permite representar gráficamente el cronograma de actividades del proceso mediante barras horizontales. Este tipo de diagrama ofrece flexibilidad para ajustar los tiempos de inicio y finalización del proceso completo, asegurando coordinación de las tareas.

La Tabla 3.3. presenta la duración de cada una de las actividades y fue elaborada a partir de la información contenida en la Tabla 1.5 del Capítulo I que especifica el tiempo de colonización, el tiempo de cocción de 2 hs (Steinkraus y otros, 1965) y el tiempo de hidratación y acidificación de 12 hs (Rahayu y otros, 2015). El resto de las actividades se estimaron en función de la capacidad de producción de los equipos, incorporando tiempos de limpieza y mantenimiento.

De acuerdo a la Figura 3.2 se determinó que una tanda de producción de tempe requiere 48 hs, equivalente a 2 días. En base a este resultado, se decidió programar tres tandas por semana, operando 6 días a la semana, lo que representa un total de 288 días de operación anual.

Tabla 3.3. Tiempo de duración de las actividades

ACTIVIDADES	DURACIÓN [h]
Pesaje	01:00
Limpieza	01:00
Descascarado	01:00
Hidratación y Acidificación	12:00
Cocción	02:00
Ecurrido	00:30
Centrifugación	00:30
Cámara de inoculación	03:00
Cámara de colonización	20:00
Cortado	02:00
Escaldado	01:00
Envasado y almacenado	03:00
Parada y arranque	01:00

3.2 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA

De acuerdo con el análisis de mercado presentado en el Capítulo I y tomando como referencia el consumo per cápita de derivados de soja en Argentina, estimado en 9,1 kg por persona por año (Ministerio de Economía y Producción, 2004), se realizó una estimación preliminar de la demanda potencial de tempe en el país.

Según el INDEC (2022), la población argentina asciende a aproximadamente 46 millones de habitantes. De ellos, el 12% se identifica como vegetariano o vegano, es decir, 5,5 millones de personas. Considerando que el tempe es un alimento en etapa de introducción, se asume que el 5% de este grupo adoptará el consumo del producto en una primera etapa, lo que equivale a aproximadamente 280 mil de personas.

A partir de este valor, se estima la demanda anual de tempe de la siguiente manera

$$5\% * 5,5 \text{ millones} \approx 280 \text{ mil personas veganas o vegetarianas}$$

$$\text{Demanda anual de tempe} = \frac{280 \text{ mil personas} * 9,1 \frac{\text{kg}}{\text{persona.año}}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{t}}} \approx 2500 \text{ t/año}$$

3.3 PRODUCCIÓN PROPUESTA

Dado que el tempe aún se encuentra en fase de incorporación en el mercado nacional, se propone que la planta proyectada cubra inicialmente el 6% de dicha demanda, lo que representa aproximadamente 150 toneladas por año.

Considerando que la planta operará 288 días al año, la producción estimada de tempe sería de 500 kg por día.

$$\frac{150 \text{ t/año}}{288 \text{ días/año}} \approx 0,500 \frac{\text{t}}{\text{día}} \approx 500 \frac{\text{kg}}{\text{día}} = G_{12}$$

3.4 REQUERIMIENTOS DE MATERIA PRIMA Y SUPUESTOS OPERATIVOS

3.4.1 Granos de soja

Según el autor Shurtleff (1980) la producción de tempe se puede adaptar a distintas escalas, desde la elaboración doméstica hasta procesos industriales (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Diferentes escalas de producción de tempe. Adaptada de Shurtleff (1980).

TIPO DE PLANTA	SOJA (kg/día)	TEMPE FRESCO (kg/día)
Elaboración Doméstica	4-9	6-16
Planta Piloto	14-204	24-358
Planta semi-industrial	136-907	239-1588

De acuerdo a lo anterior, se estima el rendimiento del proceso, entendido como la relación entre la cantidad de tempe obtenida y el sustrato utilizado, el cual es de aproximadamente 1,75.

$$\text{Rendimiento del proceso} = \frac{\text{Cantidad de tempe fresco obtenido}}{\text{Cantidad de sustrato}} = 1,75$$

Dado que producción propuesta de tempe es de 500 kg/día, se puede determinar la cantidad de sustrato seco requerido a partir del rendimiento:

$$\text{Cantidad de sustrato seco necesaria} = \frac{500 \text{ kg/día}}{1,75} \approx 300 \frac{\text{kg}}{\text{día}} = G_4$$

Esa es la cantidad requerida de soja comercial que se debe pesar para dar inicio al proceso. La soja comercial adquirida llega al depósito sin humedad de acuerdo a la Norma de calidad para la comercialización de la soja (Resolución 151/2008). Por lo tanto, los granos ingresan secos al proceso.

3.4.2 Iniciador de tempe

Se propone inocular los granos de soja siguiendo la proporción recomendada por Maqsood.Ul.Haque y otros (2023), equivalente a 2 gr de iniciador por kilogramo de granos de soja. Según las indicaciones de la empresa Circulo 11 recomienda que sea en base a sustrato seco. Es decir, inocular con un 0,2% de iniciador en base del peso del sustrato seco. Por lo tanto, el requerimiento de iniciador de tempe se calcula como:

$$\text{Requerimiento de iniciador de tempe} = 0,2\% * 300 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \approx 0,5 \frac{\text{kg}}{\text{día}} = G_{IT}$$

A través de dicha empresa argentina será adquirido el iniciador de tempe, especializados en la venta de alimentos asiáticos e iniciadores como el starter de esporas de *R. oligosporus*.

3.4.3 Hidratación y Acidificación

Para la hidratación los granos de soja se remojan con tres veces su peso en agua durante 12 hs (Usmani & Noorani, 1986). Es decir:

$$G_{\text{agua1}} = 3 * \text{cantidad de sustrato seco}$$

Por lo tanto, el agua necesaria para la hidratación es de:

$$G_{\text{agua1}} = 900 \text{ kg/día}$$

$$Q_{\text{agua1}} = 900 \text{ L/día}$$

Además, se añade ácido láctico en una proporción de 30 ml de ácido láctico al 85% por cada 1000 gr de granos secos por cada 3000 ml de agua de remojo (Steinkraus y otros, 1965), lo que equivale a una concentración del 1%v/v de ácido láctico al 85% en base al volumen total de agua utilizada.

$$Q_{\text{ácido1}} = 1\% * 900 \frac{\text{L}}{\text{día}} = 9 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Como la densidad del ácido láctico al 85% es de 1,2 kg/L, entonces:

$$G_{\text{ácido1}} = 9 \frac{\text{L}}{\text{día}} * 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \approx 10 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

3.4.4 Limpieza y Descascarado

Según la Norma de calidad para la comercialización de la soja (Resolución 151/2008), el contenido de impurezas es del 1,5%. Dado que al equipo de limpieza ingresan 300 kg/día, la cantidad de soja limpia obtenida a la salida se determina mediante un balance de masa, considerando la Figura 3.1.

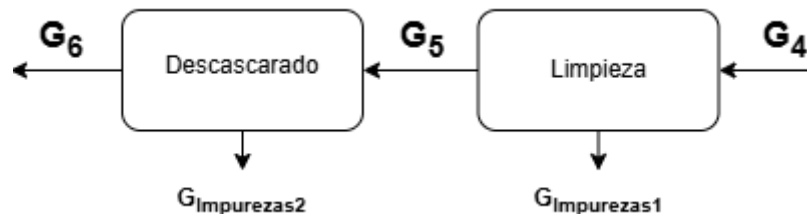


Figura 3.1. Flujos máxicos de entrada y salida de los procesos de limpieza y descascarado.

$$G_5 = G_4 - G_{impurezas1} = 295 \text{ kg/día}$$

Siendo la soja libre de impurezas igual a 295 kg/día.

Durante el proceso de descascarado se asume que la pérdida de materia prima es mínima, por lo que la masa se mantiene prácticamente constante.

$$G_5 = G_6 = 295 \text{ kg/día}$$

3.4.5 Cantidad de sustrato acondicionado requerido

Una vez completadas las etapas de limpieza, descascarado, remojo, cocción, escurrido y centrifugado. De acuerdo a Ahnan Winarno y otros (2020) la soja debe salir parcialmente seca, con una humedad del 62%.

Con el objetivo de calcular la cantidad de sustrato con 62% de humedad, es necesario establecer primero la definición de humedad en función de su base de referencia.

- Humedad en base húmeda: es la fracción máxica de agua respecto a la masa total del sustrato húmedo.

$$w_{sh} = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa de sustrato húmedo}} = \text{fracción máxica del agua}$$

- Humedad en base seca: es la fracción máxica de agua respecto a la masa del sustrato seco.

$$w_{ss} = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa de sustrato seco}} = \text{fracción máxica del sustrato seco}$$

Para convertir la cantidad de sustrato seco en base húmeda, se utiliza la siguiente relación:

$$\frac{w_{ss}}{w_{sh}} = \frac{(1 - 0,62)}{0,62} = 1,6 \frac{\text{kg sh}}{\text{kg ss}}$$

$$G_{10} = G_5 \left(\frac{\text{kg ss}}{\text{día}} \right) * 1,6 \left(\frac{\text{kg sh}}{\text{kg ss}} \right)$$

$$G_{10} \approx 500 \frac{kg}{día}$$

Las cantidades obtenidas son en kilogramos por día. Sin embargo, cada lote de producción de tempe se realiza en dos días. En la tabla 3.2. se detallan los resultados obtenidos por día y por lote.

Tabla 3.2. Cantidades del proceso por día y por lote.

NOMENCLATURA	COMPONENTES	kg/día	kg/lote
G ₁₂	Tempe fresco	500	1000
G ₅	Sustrato comercial	300	600
G _{IT}	Iniciador	0,5	1
G _{agua1}	Agua	900	1800
G _{ácido1}	Ácido láctico 85%	10	20
G ₁₀	Sustrato acondicionado	500	1000

3.5 UBICACIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN

Para determinar la ubicación más conveniente de la planta piloto de producción de tempe, se aplicó el método del centro de gravedad (Carro & Gómez, 2012) que se basa en identificar un punto geográfico que minimiza la distancia entre los centros de suministros de materias primas y los puntos de destino del producto elaborado. Este método considera la cantidad de material transportado, por lo que los puntos con mayor masa influyen en la ubicación de la planta. Para determinar las coordenadas X e Y correspondientes a la localización se aplican las siguientes ecuaciones:

$$X = \frac{\sum(x_i * w_i)}{\sum w_i}$$

$$Y = \frac{\sum(y_i * w_i)}{\sum w_i}$$

Donde:

X_i: Coordenada X de cada ubicación.

W_i: Peso a transportar.

Y_i: Coordenada Y de cada ubicación.

Las ubicaciones de los centros de suministros de materia prima y los destinos del producto, junto con los flujos máxicos correspondientes, se detallan en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Ubicaciones de los centros de materias primas y destinos del producto.

	X	Y	FLUJOS MÁSICOS [kg/lote]
SOJA	-34,31179	-60,2954	600
ÁCIDO LÁCTICO	-34,5154	-58,5294	1
INICIADOR DE TEMPE	-34,55105	-58,46709	20
SUPERMERCADOS	-34,76145	-58,36435	200
	-34,51875	-58,56091	200
	-34,67066	-58,45738	200
	-34,59035	-58,39963	200
	-34,71348	-58,34872	200

Como resultado de la aplicación del método, se determinó que la planta será ubicada en Luján, Buenos Aires. Para ser más específico las coordenadas obtenidas son (-34.524091, -59.118635). En la Figura 3.2 se señala la localización de la planta.

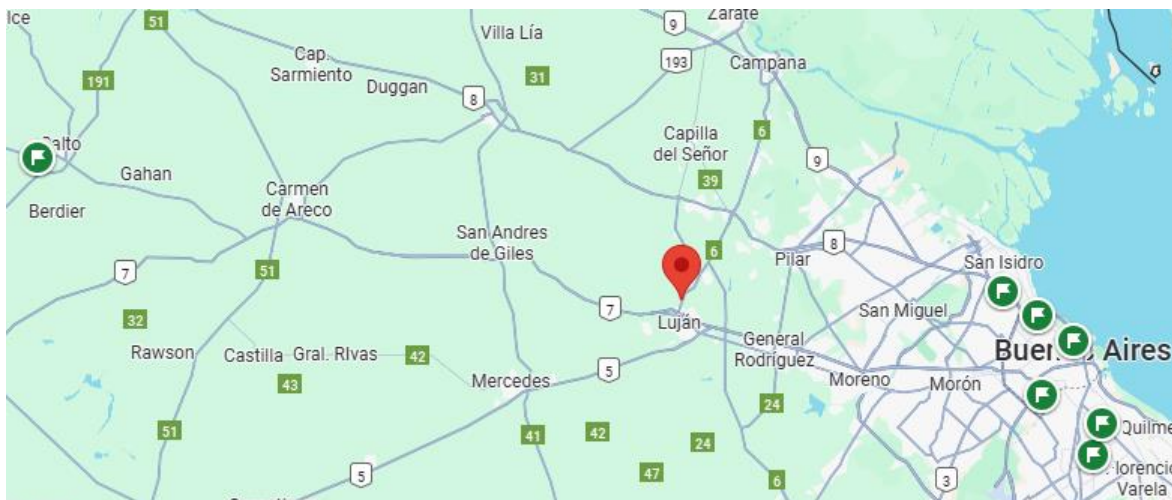


Figura 3.2. Ubicación en el mapa de la planta de producción de tempe. El pin rojo señala la localización de la planta y los pines verdes con banderas señalan los centros de suministros de materia prima y los comercios para la venta de tempe.

CAPÍTULO IV: DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

4.1 ALMACENAMIENTO DEL SUSTRATO

Considerando que la cantidad de soja a procesar es de 90 t/año aproximadamente, se propone utilizar big bags (Figura 4.1) para cubrir el stock anual, que permiten conservar la soja en condiciones aptas hasta su uso. Estas se adquieren de la empresa Grupo Ap. Estos contenedores están fabricados de polipropileno, cuentan con una boca abierta y válvula de descarga, tienen capacidad de 1200 kg y sus dimensiones son de 1,2m x 90cm x 90cm.



Figura 4.1. Big Bag. Fuente: <https://www.mercadolibre.com.ar/>

4.2 BALANZA PARA EL PESAJE DEL SUSTRATO

Se seleccionó una balanza de plataforma tradicional (Figura 4.2.) de la empresa Gregorutti S.A tiene una superficie de 1200x1200mm y una de capacidad de 1500 kg, adecuada para pesar los 600 kg de soja que se procesan.

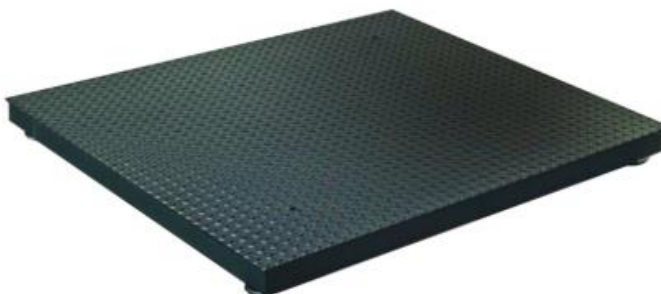


Figura 4.2. Balanza de plataforma. Fuente: <https://gregoruttisa.com.ar/>

4.3 EQUIPO DE LIMPIEZA

Se decidió utilizar una criba de tamices (Figura 4.3.) de la empresa Zhengzhou Leabon Machinery Equipment Co., el equipo tiene una capacidad de 1 t/h, suficiente para cubrir la

cantidad de soja a procesar. Según la información técnica del fabricante su funcionamiento se basa en eliminar impurezas de diferentes tamaños y cuenta con dos tamices. El primer tamiz limpia principalmente impurezas grandes como piedras y ramas, el segundo tamiz retiene los granos, mientras que el polvo y las partículas finas caen a la parte inferior de la caja que son arrastrados por un ventilador y descargados por la salida de impurezas.



Figura 4.3. Criba de tamices. Fuente: <https://es.made-in-china.com>

4.4 MÁQUINA DESCASCARADORA

Se optó por dos máquinas descascaradoras (Figura 4.4.) adquiridas a través de Taizy Farm Equipment. La capacidad de cada máquina es de 300 kg/h. Según las especificaciones del fabricante su funcionamiento se basa en dos discos abrasivos que giran en direcciones opuestas, provocando la fricción necesaria para desprender la cascara del grano. A continuación, la soja ingresa a una cámara de separación, donde un flujo de aire arrastra la piel y el polvo residual hacia la salida de impurezas. El grano pelado, libre de restos, se deposita en la caja de descarga.



Figura 4.4. Descascaradora de soja. Fuente: <https://taizyfarmequipment.com>

4.5 CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL HERVIDOR

El mismo equipo es utilizado tanto para la hidratación como para la cocción de los granos de soja, evitando la necesidad de transferirlos. Para su dimensionamiento, se procede a plantear inicialmente un balance de masa total, teniendo en cuenta la Figura 4.5.

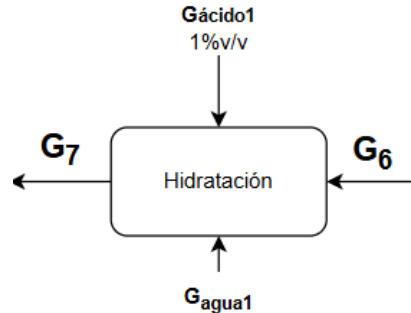


Figura 4.5. Flujos máscicos de entrada en el proceso de hidratación.

$$G_6 + G_{agua1} + G_{ácido1} = G_7$$

Donde:

- G_6 : masa de soja [kg/día]
- G_{agua1} : masa de agua de remojo [kg/día]
- $G_{ácido1}$: masa de ácido láctico [kg/día]
- G_7 : masa total de la mezcla 1 [kg/día]

Sabiendo que:

$$G_5 = G_6 = 295 \text{ kg/día}$$

$$G_{agua1} = 900 \text{ kg/día}$$

$$G_{ácido1} = 10 \text{ kg/día}$$

Se tiene:

$$G_7 = 295 + 900 + 10 \approx 1200 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

A continuación, se plantea un balance de masa de agua para calcular la fracción máscica de este componente en la mezcla 1:

$$G_{agua1} * w_{agua1} = G_7 * w_{aguaG7}$$

Donde:

- w_{agua1} : fracción máscica de agua en G_{agua1}
- w_{aguaG7} : fracción máscica de agua en la mezcla 1
- $w_{agua1}=1$ (agua pura)

Despejando:

$$w_{aguaG7} = \frac{G_{agua1}}{G_7} = 0,75$$

De forma análoga, se calculan las fracciones másicas del sustrato y del ácido láctico en la mezcla 1.

Donde:

- w_{sG7} : fracción másica del sustrato en la mezcla 1
- $w_{ácidoG7}$: fracción másica del ácido láctico en la mezcla 1

$$w_{sG7} = \frac{G_6}{G_7} = 0,24$$

$$w_{ácidoG7} = 1 - w_{sG7} - w_{aguaG7} = 0,009$$

Para estimar el volumen requerido, se utiliza la expresión de densidad media de la mezcla 1:

$$\rho_{G7} = \left(\sum \frac{w_i}{\rho_i} \right)^{-1}; i = 1, \dots, n; n = n^\circ \text{ de componentes}$$

$$\rho_{G7} = \left(\frac{w_{aguaG7}}{\rho_{agua}} + \frac{w_{sG7}}{\rho_{soja\ seca}} + \frac{w_{ácidoG7}}{\rho_{ácido\ láctico}} \right)^{-1}$$

Siendo:

$$\rho_{agua} = 1 \frac{kg}{L}$$

$$\rho_{soja} = 0,8 \frac{kg}{L}$$

$$\rho_{ácido\ láctico} = 1,2 \frac{kg}{L}$$

La densidad aparente de la soja se obtuvo de <https://www.fao.org/> y la densidad del ácido láctico se obtuvo del distribuidor del producto.

Finalmente, aplicando esta densidad en el balance total:

$$G_6 + G_{agua1} + G_{ácido1} = Q_7 * \rho_{G7}$$

$$Q_7 = \frac{G_7}{\rho_{G7}} = \frac{(G_6 + G_{agua1} + G_{ácido1})}{\rho_{G7}}$$

$$Q_7 = 1300 \frac{L}{día} \approx 3000 \frac{L}{lote}$$

Por lo tanto, el volumen de la mezcla a hervir es de 3000 L. Se optó por instalar hervidores autónomos (Figura 4.6.) de la empresa Zhucheng Longmai Machinery Co. El fabricante ofrece equipos con capacidad máxima de 1000 L, por lo tanto, para cumplir con los

requerimientos del proceso se decidió utilizar tres hervidores. Cada equipo es de acero inoxidable con camisa de vapor e incluye una canasta de acero inoxidable y un polipasto eléctrico de alta resistencia, que permite elevar la canasta para escurrir la soja y depositarla directamente en la centrifuga.



Figura 4.6. Hervidor autónomo, canasta y polipasto eléctrico. Fuente: <https://es.made-in-china.com>

4.6 CENTRÍFUGA

Se seleccionó una centrifuga de canasta (Figura 4.7) de la empresa Huada Centrifuge. Dada la información técnica del fabricante este equipo se utiliza para procesos de separaciones solido-liquido, así como granos de soja y agua. Se decidió elegir una centrifuga de carga máxima de 1000 kg, la cual satisface el peso del sustrato. Además, tiene un tambor de diámetro de 1600 mm y un volumen de trabajo de 800L.



Figura 4.7. Centrifuga de canasta. Fuente: <https://es.made-in-china.com>.

4.7 MEZCLADOR INÓCULO-SUSTRATO ACONDICIONADO

Para asegurar una distribución uniforme del iniciador de tempe en el sustrato, se requiere el uso de un equipo de mezclado, con el fin de dimensionarlo, se plantea en primer lugar un balance de masa total a partir de la Figura 4.8.

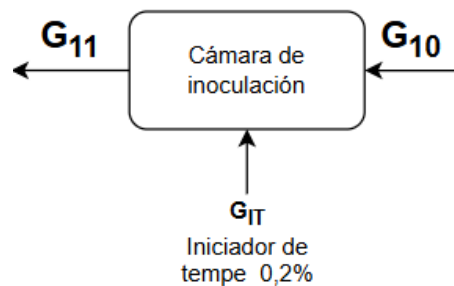


Figura 4.8. Flujos máxicos de entrada de la cámara de inoculación.

$$G_{10} + G_{IT} = G_{11}$$

Donde:

- G_{10} : masa del sustrato acondicionado [kg/día]
- G_{IT} : masa del iniciador de tempe [kg/día]
- G_{11} : masa de la mezcla 2 [kg/día]

Dado que:

$$G_{10} = 500 \frac{kg}{día}$$

$$G_{IT} = 0,5 \frac{kg}{día}$$

Se obtiene:

$$G_{11} = 500,5 \frac{kg}{día}$$

Se procede a realizar un balance de masa del sustrato para determinar la fracción másica en la mezcla 2.

$$G_{10} * w_{s10} = G_{11} * w_{sG11}$$

Donde:

- w_{s10} : fracción másica de sustrato en G_{10}
- $w_{s10}=1$ (sustrato puro)
- w_{sG11} : fracción másica de sustrato en la mezcla 2

Despejando:

$$w_{sG11} = \frac{G_{10}}{G_{11}} = 0,999$$

Por diferencia, se obtiene que:

$$w_{ITG11} = 1 - w_{sG11} = 0,001$$

Donde:

- w_{ITG11} : fracción másica del iniciador de tempe en la mezcla 2.

Con el objetivo de estimar el volumen requerido, se debe conocer la densidad media del flujo másico del sustrato G_{10} , el cual se calcula con la siguiente expresión:

$$\rho_{G10} = \left(\frac{w_{sh}}{\rho_{agua}} + \frac{w_{ss}}{\rho_{soja\ seca}} \right)^{-1}$$

Obteniendo como resultado:

$$\rho_{G10} = 0,9 \frac{kg}{L}$$

También, se necesita saber la densidad media de la mezcla 2.

$$\rho_{G11} = \left(\frac{w_{sG11}}{\rho_{G10}} + \frac{w_{ITG11}}{\rho_{IT}} \right)^{-1}$$

Donde se considera que la densidad del iniciador de tempe es 0,001 kg/L.

De esta forma, la densidad media de la mezcla 2, es:

$$\rho_{G11} = 0,4 \frac{kg}{L}$$

Finalmente, aplicando esta densidad en el balance total:

$$G_{10} + G_{IT} = Q_{11} * \rho_{G11}$$
$$Q_{11} = \frac{G_{11}}{\rho_{G11}} = \frac{(G_{10} + G_{IT})}{\rho_{G11}}$$
$$Q_{11} = 1124 \frac{L}{\text{día}} \approx 2500 \frac{L}{\text{lote}}$$

Se requiere mezclar un volumen aproximado de 2500 L. Para ello, se seleccionaron tres mezcladoras de doble cono (Figura 4.9.) de la empresa Wuxi Wiscon Mechanical and Electrical Equipment Co., Ltd. De acuerdo con las especificaciones técnicas, este equipo permite la mezcla homogénea de materiales secos y granulados, presenta un diseño cónico que facilita la carga y descarga. El fabricante dispone únicamente de un modelo con capacidad de 1000 L, inferior al volumen requerido, por lo que se propone la adquisición de tres unidades idénticas. Este sobredimensionamiento no solo cubre las necesidades actuales, sino que también garantiza una capacidad adicional para futuros incrementos en la demanda.



Figura 4.9. Mezcladora de doble cono. Fuente: <https://es.made-in-china.com/>.

Una vez finalizada la inoculación, la mezcla se transfiere a carros de acero inoxidable (Figura 4.10). A continuación, se utilizan palas del mismo material, se toman porciones de la mezcla y se colocan sobre bandejas perforadas de acero inoxidable vacías de dimensión 40 cm x 60 cm x 5 cm de altura (Figura 4.11). El contenido se distribuye manualmente evitando compactarlo (Usmani & Noorani, 1986). Finalmente, las bandejas se colocan en los carros lateros para su traslado a la cámara de colonización.



Figura 4.10. Carros de acero inoxidable. Fuente: <https://www.mercadolibre.com.ar/>



Figura 4.11. Bandeja perforada de acero inoxidable. Representa el formato, solo difiere en las mediciones. Fuente: <https://www.mercadolibre.com.ar/>

4.8 DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE COLONIZACIÓN

Se seleccionó un módulo climático (Figura 4.12.) adquirido de Cuben S.A. Esta empresa fabrica y comercializa cámaras incubadoras para cultivo, diseñadas para generar y mantener condiciones estables y controladas. Se trata de unidades herméticas con alta aislación térmica y capacidad de regulación de temperatura, humedad y aireación. Sus dimensiones son de 6 m de largo, 2,5 m de ancho y 2,6 m de alto.



Figura 4.12. Módulo climático. Fuente: <https://www.tienda.cuben.com.ar/>.

La producción de tempe fresco es de 1000 kg. Para su distribución, se propone colocar 3 kg de tempe por bandeja, lo que requiere un total de 350 bandejas. Cada carro latero (Figura 4.13.) tiene capacidad para 15 bandejas, por lo tanto, son necesarios 24 carros en total. La dimensión de cada carro es de 40 cm x 65 cm x 1,7 m de altura. Con esta configuración, los 24 carros ocupan el 40% del espacio del módulo, considerando un 20% adicional entre carros y un 40% destinado a la circulación y manipulación por parte de los operarios, se puede decir que el espacio del módulo resulta adecuado y eficiente para el proceso de fermentación.



Figura 4.12. Carro latero. Fuente: <https://www.mercadolibre.com.ar/>

4.9 CORTADORA

Se optó por dos máquinas cortadoras (Figura 4.13.) de la empresa Henan Topp Machinery Co., Ltd., de acuerdo con la ficha técnica cada una tiene una capacidad de 100 a 300 kg/h, especial para cortar materiales duros o blandos y es de operación sencilla.



Figura 4.13. Cortadora. Fuente:

4.10 EQUIPO DE ESCALDADO

De acuerdo con Astawan y otros (2016), el escaldado al vapor a 80°C es un método efectivo y beneficioso para aumentar la vida útil del tempe, ya que previene la pérdida excesiva de nutrientes, sin generar una textura similar a la cocida. Por ello, se seleccionaron dos máquinas de escaldado al vapor (Figura 4.14) de la empresa Henan Welly Machinery Equipment Co., Ltd., cada una con una capacidad de 500 kg/h. Según las especificaciones del fabricante, el alimento se introduce en la máquina y se expone al vapor de agua a alta temperatura por un tiempo determinado, después del escaldado, el producto se enfría rápidamente con agua, para detener el proceso de cocción y preservar la calidad.



Figura 4.14. Escaldadora al vapor. Fuente: <https://es.made-in-china.com>

4.11 MÁQUINA ENVASADORA

Se seleccionó una envasadora al vacío (Figura 4.15) comercializada por la Tienda Lo Quiero Acá. El equipo cuenta con una carcasa y cámara de vacío de acero inoxidable, doble barra de sellado y un sistema que permite programar de forma práctica y precisa los parámetros de envasado.

Para el envasado se utilizará polietileno (PE), un material común en este tipo de procesos debido a sus propiedades: translúcido u opaco, resistente, prácticamente irrompible y flexible (Astawan y otros, 2016).



Figura 4.15. Envasadora al vacío. Fuente: <https://www.mercadolibre.com.ar/>.

4.12 ALMACENAMIENTO REFRIGERADO

Una vez envasado, el producto se almacena en dos refrigeradores (Figura 4.16) adquiridos de la empresa Lareu reconocida por ofrecer equipos confiables y eficientes. Cada uno tiene una capacidad de 500 L y trabajan a temperaturas de 2 a 6 °C, ideal para almacenar el tempe.



Figura 4.16. Refrigerador. Fuente: <https://lareu.com/>

CAPÍTULO V: EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para determinar si el proyecto propuesto es rentable se hará un análisis con un indicador de rentabilidad, denominado VAN (Valor Actual Neto) que permite determinar si los flujos de caja, son suficientes para recuperar la inversión inicial en el periodo de vida útil del proyecto, un valor positivo indica que el proyecto es rentable. Se representa de la siguiente forma:

$$VAN = \sum_{j=0}^n \frac{NFC_j}{(1+i)^j}$$

Donde:

- NFC_j : Flujos Netos de Caja en el periodo j .
- j : Número de periodos.
- i : Taza de corte.
- n : Duración del proyecto en años.

Los Flujos Netos de Caja (NCF : *Net Cash Flow*) son la base para calcular los ingresos, costos y gastos de la empresa, se calculan de la siguiente manera:

$$NCF = (-I - CCN + R) + (V - C - D)(1 - t) + D$$

Donde:

- I : Inmovilizado.
- CCN : Capital Circundante Neto.
- R : Valor Residual.
- V : Ingreso por ventas anuales.
- C : Costos anuales.
- D : Depreciación anual.
- t : Taza de impuestos a las ganancias.

Para determinar la inversión total inicial, que está compuesta por el “Capital fijo o Inmovilizado” y “Capital Circundante Neto” que incluye la compra de equipos y el capital necesario para el funcionamiento de la planta, correspondientemente. Se parte del costo FOB de los equipos, a este se le adicionan los costos de flete, seguros internacionales y envío a destino, estimados en un 30% del costo FOB. La evaluación de este proyecto se realizará en dólares; a la fecha 12/08/2025 la cotización es de 1 USD=1330 ARS.

5.1 COSTOS DE EQUIPOS

Los costos de los equipos se obtuvieron a partir de presupuestos proporcionados por los proveedores y de la información publicada en los sitios web donde comercializan sus productos. En la Tabla 5.1. se detallan los costos de los equipos con entrega en el domicilio de la planta.

Tabla 5.1. Costos de equipos.

EQUIPOS	COSTO [USD]
CARRO DE ACERO INOXIDABLE	\$ 12.000
BANDEJAS	\$ 24.000
CARRO LATERO	\$ 13.000
BALANZA	\$ 2.000
LIMPIADORA	\$ 1.000
DESCASCARADORA	\$ 9.000
HERVIDOR, POLIPASTO Y CESTA	\$ 65.000
CENTRÍFUGA	\$ 39.000
MEZCLADORA	\$ 41.000
CORTADORA	\$ 6.500
MÓDULO CLIMÁTICO	\$ 40.000
ESCALDADORA	\$ 21000
ENVASADORA	\$ 1.700
REFRIGERADOR	\$ 1.500
TOTAL	\$ 278.000

5.2 ESTIMACIÓN DE LA INVERSIÓN TOTAL DE CAPITAL

La estimación de la inversión total inicial se realizará mediante el método de factores relativos propuesto por Peters & Timmerhaus (1978). Este enfoque consiste en tomar como referencia el costo de los equipos entregados y, a partir de él, calcular los costos directos e indirectos que integran el capital fijo. En la Tabla 5.2. Se presentan los factores aplicables a este tipo de planta, dedicada al procesamiento de sólidos.

Tabla 5.2. Factores relativos para la estimación del capital fijo.

COSTOS	PORCENTAJE	VALOR \$USD
Equipo adquirido y entregado	100	\$ 278.000
Instalación de equipo adquirido	45	\$ 125.000
Cañerías y tuberías	16	\$ 45.000
Instalaciones eléctricas	10	\$ 28.000
Obras civiles	25	\$ 70.000
Mejoras de terreno	13	\$ 36.000
Instalaciones de servicios	40	\$ 111.000
Terreno	6	\$ 17.000
COSTO DIRECTO TOTAL	255	\$ 709.000
COSTOS INDIRECTOS		
Ingeniería y supervisión	33	\$ 92.000
Gastos de construcción	39	\$ 108.000
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS	327	\$ 909.000
Honorarios de contratistas	17	\$ 47.000
Eventuales	34	\$ 94.000
Inversión del capital fijo	378	\$ 1.051.000
Capital de trabajo o CCN	68	\$ 189.000
INVERSION DE CAPITAL TOTAL	446	\$ 1.240.000

5.3 COSTOS DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN

Representa el desembolso anual que cubre los gastos esenciales para el funcionamiento de la planta de producción, incluyendo materias primas, mano de obra, servicios auxiliares y mantenimiento de equipos.

5.3.1 Costo de materia prima

En la Tabla 5.3. se presentan las materias primas utilizadas con sus respectivos costos. El precio de los granos de soja se obtuvo de la Cámara Arbitral de Cereales (CAC), el iniciador de tempe de la empresa argentina Círculo 11 y el ácido láctico de Mercado Libre S.R.L.

Tabla 5.3. Materias primas y costos.

MATERIA PRIMA	COSTO[USD/t]	CANTIDAD [t/año]	COSTO[USD/año]
GRANOS DE SOJA	\$ 300	86	\$ 26.000
INICIADOR DE TEMPE	\$ 1.100.000	0,2	\$ 220.000
ÁCIDO LÁCTICO 85%	\$ 10.000	3	\$ 30.000
		TOTAL	\$ 276.000

5.3.2 Costo de mano de obra

La planta opera 6 días a la semana, las 24 hs, los 12 meses del año. Por lo tanto, el personal se distribuye en 3 turnos de 8 hs. En la Tabla 5.4 se detalla el costo de mano de obra.

Tabla 5.4. Costos del personal operativo. Fuente: www.elsalario.com.ar

COSTE DE MANO DE OBRA			
PUESTO	CANTIDAD	SUELDO MENSUAL [USD/MES]	SUELDO ANUAL
OPERARIOS	9	\$ 400	\$ 43.000
INGENIEROS	2	\$ 700	\$ 17.000
ANALISTAS DE CALIDAD	2	\$ 400	\$ 10.000
TÉCNICOS	2	\$ 500	\$ 12.000
ADMINISTRACIÓN	1	\$ 400	\$ 5.000
MAESTRAZA	2	\$ 300	\$ 7.000
TOTAL [USD/AÑO]			\$ 94.000

5.3.3 Costo de mantenimiento de equipos

El mantenimiento se estima como un porcentaje del costo de los equipos, considerando un 5% de dicho valor. De esta manera, el costo total anual de mantenimiento es de **\$ 14.000 USD**.

5.3.4 Costo de servicios auxiliares

Los costos de servicios auxiliares, como energía eléctrica, gas, agua, etc., son esenciales para el funcionamiento de la planta de producción. Se considera que representa el 30% de los costos total de producción, lo que equivale a un costo anual de **\$ 167.000 USD**.

5.3.5 Costo de bolsas de almacenamiento de la soja

De acuerdo a la Sección 4.1 se van a requerir 75 big bags, según el proveedor el precio total anual es de **\$ 3.400 USD**.

5.3.6 Costo del transporte del producto hacia los puntos de comercio

El producto final debe ser trasladado en un flete refrigerado para continuar con la cadena de frío. Para ello, la empresa Fletes Refrigerados y Congelados se encargará de llevar el producto hacia los lugares de destino a un precio anual de **\$ 7.600 USD**.



Figura 5.1. Camión de productos refrigerados. Fuente: <https://servicio.mercadolibre.com.ar/>

5.4 DEPRECIACIÓN

La depreciación, que es la pérdida de valor de los bienes, se calcula mediante el método lineal conforme lo establecido por la legislación argentina. Este método consiste en aplicar una proporción fija al valor del capital fijo depreciable, siendo dicha proporción el inverso de la vida útil del proyecto:

$$D = p * I_D$$

$$p = \frac{1}{VU}$$

Donde:

- D: Depreciación.
- p: Factor de proporción.
- VU: Vida útil del proyecto.
- I_D : Capital fijo depreciable.

La vida útil del proyecto es de 10 años. El capital fijo depreciable, es decir, la parte del capital fijo que se desgasta con el uso y el paso del tiempo, se determina como la diferencia entre el inmovilizado y el valor del terreno (I_{Terreno}), dado que este último no sufre depreciación.

$$I_D = I - I_{\text{Terreno}}$$

$$I_D = \$ 1.034.00$$

Por lo tanto, la depreciación anual es de **\$ 104.000 USD.**

5.5 VALOR RESIDUAL

Es el valor remanente del proyecto una vez alcanzada su vida útil. En este caso, se asume como valor residual el valor del terreno, porque puede conservar o aumentar su precio. Por lo tanto, el valor residual es **\$ 17.000 USD.**

5.6 INGRESOS POR VENTA DEL PRODUCTO

El producto elaborado por la empresa Tempeh Ar (Figura 5.1) se ofrece en porciones de 200 g y se comercializa a un precio de mil cuatrocientos pesos argentinos en la tienda Almacén Aurelia, ubicada en Mar del Plata, Argentina. En este proyecto se adoptará un precio similar y el mismo formato de venta de 200 g.



Figura 5.1. Tempe de soja. Fuente: <https://almacenaturalmelipal.mitiendanube.com/>

El ingreso por ventas anuales (V), se calcula de la siguiente manera:

$$V = \text{Precio de tempe} \left[\frac{\text{USD}}{t} \right] * \text{Demanda anual} \left[\frac{t}{\text{año}} \right]$$

Donde:

- $\text{Precio de tempe} = 1500 \left[\frac{\text{USD}}{t} \right]$
- $\text{Demanda anual} = 150 \left[\frac{t}{\text{año}} \right]$

Por lo tanto, los ingresos por ventas anuales tienen un valor de **5.600 USD**.

5.7 FLUJO NETO DE CAJA (NCF)

La vida útil del proyecto es de 10 años, período durante el cual se espera recuperar la inversión inicial a través de los flujos netos de caja generados por la operación. El flujo neto de caja representa la diferencia entre los ingresos y egresos de efectivo de cada año, reflejando la capacidad del proyecto para generar dinero una vez cubiertos los costos operativos, impuestos y otros gastos.

Para su determinación se aplicó una tasa de impuesto a las ganancias del 30%, cuyos resultados se detallan en la Tabla 5.5. Considerando una tasa de corte del 12%, la

recuperación de la inversión se evaluó mediante los indicadores financieros Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR).

El VAN resultó positivo, lo que demuestra la viabilidad económica del proceso propuesto. La TIR obtenida fue del 18%, valor superior a la tasa de corte del 12%. Dado que supera la rentabilidad mínima requerida, el proyecto se considera económicamente viable y rentable, generando un retorno adicional sobre la inversión realizada.

Tabla 5.5. Flujos de caja Neto.

AÑO	I [USD]	CCN [USD]	R [USD]	V [USD]	C [USD]	D [USD]	NCF [USD]	ACF [USD]
0	-\$ 1.051.000	-\$ 189.000					-\$ 1.240.000	-\$ 1.240.000
1				\$ 840.000	\$ 567.000	\$ 104.000	\$ 273.000	\$ 244.000
2				\$ 840.000	\$ 567.000	\$ 104.000	\$ 273.000	\$ 218.000
3				\$ 840.000	\$ 567.000	\$ 104.000	\$ 273.000	\$ 194.000
4				\$ 840.000	\$ 567.000	\$ 104.000	\$ 273.000	\$ 173.500
5				\$ 840.000	\$ 567.000	\$ 104.000	\$ 273.000	\$ 155.000
6				\$ 840.000	\$ 567.000	\$ 104.000	\$ 273.000	\$ 138.000
7				\$ 840.000	\$ 567.000	\$ 104.000	\$ 273.000	\$ 123.500
8				\$ 840.000	\$ 567.000	\$ 104.000	\$ 273.000	\$ 110.000
9				\$ 840.000	\$ 567.000	\$ 104.000	\$ 273.000	\$ 98.500
10			\$ 17.000	\$ 840.000	\$ 567.000	\$ 104.000	\$ 290.000	\$ 93.500
11			\$ 189.000				\$ 189.000	\$ 55.000
							VAN	\$ 308.000
							TIR	18%

CONCLUSIÓN

Se diseñó una planta piloto para la producción de tempe a partir de granos de soja y *Rhizopus oligosporus*. El proceso propuesto es de cuatro etapas: acondicionamiento del sustrato, fermentación en estado sólido, conservación y envasado.

La estrategia propuesta permite sostener una producción estimada de 1000 kg/lote de tempe fresco, con un rendimiento de 1,75 respecto a la soja procesada. La evaluación económica demostró la viabilidad del proyecto, con una inversión inicial accesible.

La elección de la soja como sustrato abundante y económica en Argentina, junto con la creciente demanda de alimentos de origen vegetal, posiciona al tempe como producto con alto potencial de aceptación y crecimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahnan Winarno, A., Cordeiro, L., Winarno, F., Gibbons, J., & Xiao, H. (2020). Tempeh: A semicentennial review on its health benefits, fermentation, safety, processing, sustainability, and affordability. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 20(2), 1722,1725-1728,1730,1731,1737,1739,1740.
- Astawan, M., Hermanianto, J., Suliantari, & Sugiyanto, G. (2016). Application of vacuum packaging to extend the shelf life of. *International Food Research Journal* 23(6), 2572-2577.
- Berenjian, A. (2019). *Essentials in Fermentation Technology*. Hamilton, Waikato, New Zealand: Springer.
- Biology Notes Online. (13 de Abril de 2024). Obtenido de <https://biologynotesonline.com/rhizopus-oligosporus-overview/>
- Bolsa de Comercio de Rosario (BCR). (16 de Diciembre de 2024). Exportaciones, demanda interna, poroto, harina, aceite, biodiesel: cuál es el destino de toda la soja que produce y procesa la Argentina. Infobae.
- Carro, R., & Gómez, D. A. G. (2012). *Localización de instalaciones*. Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Económicas y Sociales.
- Castro, G., Eugenio, G., Girón, C., Hernández, F., Manríquez, R., & Monreal, R. (1998). Análisis de prefactibilidad para la industrialización de hamburguesas de tempeh. *UAM*, 74,75.
- Douglas, J. M. (1988). *Conceptual Design of Chemical Processes*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Dwiatmaka, Y., Yuniarti, N., Lukitaningsih, E., & Wahyuono, S. (2022). Fermentation of soybean seeds using rhizopus oligosporus for tempeh production and standardization based on isoflavones content. *International Journal of Applied Pharmaceutics* 14, 133,134.
- Fellows, P. J. (2000). *Food Processing Technology. Principles and Practice. Second edition*. Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited.
- Ferrer, J. R., Machado, J. L., & Brieva, J. (2014). Fermentación en estado sólido: Una alternativa biotecnológica para el aprovechamiento de desechos agroindustriales. *Revista Tecnocientífica URU* (2).
- Gómez, O. (7 de Noviembre de 2023). *Gastronosfera*. Obtenido de El tempeh de soja: qué es, qué beneficios tiene y 15 recetas para cocinarlo: <https://www.gastronosfera.com/>
- Grand View Research. (2024). *Grand View Research*. Obtenido de Informe de análisis del tamaño, la participación y las tendencias del mercado de tempeh por tipo (fresco, congelado, listo para consumir), origen (soja, multigrano), canal de distribución,

región y pronósticos de segmento (2024-2030).:
<https://www.grandviewresearch.com/>

- Heath, M. (10 de Abril de 2025). *Usda mantiene estimaciones de cosechas de soja y maíz para argentina*. Obtenido de La Nación: <https://www.lanacion.com.ar/>
- Helal, S. H., M., A. H., Abou-Taleb, K. A., Hassan, M. G., & Amer, M. M. (2021). Lipase from *Rhizopus oryzae* R1: in-depth characterization, immobilization, and evaluation in biodiesel production. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology* 19(1), 1.
- INDEC. (2022). *CENDO 2022 República Argentina*. Obtenido de <https://censo.gob.ar/>
- Kantar Worldpanel. (28 de Septiembre de 2021). *Crece la producción y consumo de alimentos a base de plantas*. Obtenido de red alimentaria foodtech: <https://www.redalimentariafoodtech.com/>
- Kantar-Insights Division. (27 de julio de 2020). *Unionvegana.org*. Obtenido de <https://www.unionvegana.org/>
- Kristiadi, O., & Lunggani, A. (2022). Tempe kacang kedelai sebagai pangan fermentasi unggulan khas Indonesia: literature review. *Jurnal Andaliman: Jurnal Gizi Pangan, Klinik dan Masyarakat* 2(2), 47,48.
- Madigan, M. T. y otros. (2015). *Brock. Biología de los microorganismos 14° Edición*. Madrid, España: Pearson Educación, S.A.
- Maqsood.Ul.Haque, S., Kidani, E., Mohd.Jefri, N. J., & Mokhtar, S. A. (2023). A Comparative Study of 'Tempe' Produced from Different Beans as A Protein Source in Malaysia and Japan. *CET* 106, 1365.
- Mendoza Meza, D. L., Roa Mercado, C., & Ahumada Barraza, C. (2015). Efecto de las isoflavonas de la soja en la salud ósea de adultos y niños. *Salud Uninorte* 31(1), 138.
- Ministerio de Economía y Producción. (2004). *Alimentos Argentinos*. Obtenido de <https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/>
- Ministerio de Hacienda. (2019). *Informes de Cadenas de Valor*. Buenos Aires, Argentina.
- Mitchell, D. A., Krieger, N., & Berovic, M. (2006). *Solid-State Fermentation Bioreactors. Fundamentals of Design and Operation*. Berlin Heidelberg and New York: Springer-Verlag .
- Nout, M. J., & Rombouts, F. M. (1990). Recent developments in tempe research 69. *Journal of Applied Bacteriology*, 619,621,623.
- Nurholipah, N., & Ayun, Q. (2021). Isolasi dan Identifikasi *Rhizopus oligosporus* dan *Rhizopus oryzae* pada Tempe Asal Bekasi. *Jurnal Teknologi Pangan* 15(1), 100.
- Origlia, G. (2022). *Los productos a base de plantas se ganan un lugar en el mercado global*. Obtenido de La Nación: <https://www.lanacion.com.ar/>
- Peters, M., & Timmerhaus, K. (1978). *Diseño de plantas y su evaluación económica para ingenieros químicos. 2da. Edic.* España: Geminis .

- Rahayu, W. P., Pambayun, R., Santoso, U., Naraida, L., & Ardiansyah. (2015). *Tinjauan ilmiah teknologi pengolahan tempe kedelai*. Indonesia: Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI).
- Romulo, A., & Surya, R. (2021). Tempe: A traditional fermented food of Indonesia and its health benefits. *International Journal of Gastronomy and Food Science* 26, 1,7.
- Salinas, C. M., & López-Sobaler, A. M. (2017). Beneficios de la soja en salud femenina. *Nutrición Hospitalaria* 34(Supl. 4), 37.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. (2008). *Norma de calidad para la comercialización de soja-Resolución 151/2008*. Argentina.gob.ar.
- SISA. (2024). *Soja 2023-2024*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/>
- Sparringa, R. A., Kendall, M., Westby, A., & Owen, J. D. (2002). Effects of temperature, pH, water activity and CO₂ concentration on growth of *Rhizopus oligosporus* NRRL 2710. *Journal of Applied Microbiology* 92, 329.
- Steinkraus, K., Van Buren, J., Hackler, L., & Hand, D. (January de 1965). A pilot-plant process for the production of dehydrated tempeh. 63.
- Teoh, S., Chin, N., Chong, C., Ripen, A., How, S., & Lim, J. (2024). A review on health benefits and processing of tempeh with outlines on its functional microbes. *Future Foods* 9, 1-4.
- Usmani, N., & Noorani, R. (April de 1986). STUDIES ON SOY BEAN TEMPEH. Part 1: Optimization of Factors Effecting Fermentation in Commercial Production of Tempeh with Respect to Pilot Plant Studies. *PJSIR*. 29(2), 145,146,147.
- W. Shurtleff, A. A. (1980). *Tempeh production. A craft and technical manual*. United States of America: Soyfoods Center.
- Watanabe, N., Hara, Y., Tashiro, H., & Aoki, H. (2022). Antioxidant activity of tempe fermented with three different *Rhizopus* species . *Food Science and Technology Research*, 29 (2), 143.

Páginas web consultadas:

- <https://www.argentina.gob.ar/>
- <https://www.unionvegana.org/>
- <https://www.redalimentariafoodtech.com/>
- <https://censo.gob.ar/>
- <https://www.fao.org/>
- <https://www.lanacion.com.ar/>
- <https://www.grandviewresearch.com/>
- <https://www.gastronosfera.com/>

<https://biologynotesonline.com/>

<https://almacennaturalmelipal.mitiendanube.com/>

<https://elsalario.com.ar/>

<https://lareu.com/>

<https://www.mercadolibre.com.ar/>

<https://www.tienda.cuben.com.ar/>

<https://es.made-in-china.com/>

<https://gregoruttisa.com.ar/>