


Artículo Científico

Desarrollo de un simulador de matrices alimentarias para la elaboración de alimentos terapéuticos listos para consumir

Development of a food matrix simulator for the preparation of ready-to-use therapeutic foods

 Aracely Lorena Sandalio Choque ¹

1. Tesista. Carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Universidad Privada del Valle. Cochabamba. Bolivia. arylore@gmail.com

RESUMEN

Los alimentos terapéuticos listos para consumir están diseñados específicamente para niños de 6 a 59 meses de edad que padecen desnutrición infantil aguda. Debido a su uso medicinal estos productos deben cumplir con los requerimientos nutricionales precisos, asegurando una adecuada ingesta de nutrientes esenciales para favorecer la recuperación. En este contexto, la investigación tuvo como objetivo desarrollar un simulador de matrices alimentarias que permita el desarrollo de estos alimentos terapéuticos. Para alcanzar este fin, se diseñó una arquitectura de software que mejore la experiencia del usuario, permitiendo la elaboración de diversas matrices alimentarias que cumplieran con los pasos necesarios para el desarrollo de alimentos terapéuticos listos para el consumo y las normativas nacionales e internacionales, específicamente adaptados al contexto de Bolivia. El resultado final fue la creación de un sistema que no solo optimiza el diseño de alimentos terapéuticos, sino que también facilita la manipulación de variables clave que influyen en la formulación de los productos.

Palabras clave: Alimento medicinal. ATLC. Desarrollo de productos. Desnutrición infantil. Formulador de alimentos.

ABSTRACT

The ready-to-use therapeutic foods are designed specifically for children 6 to 59 months of age suffering from acute childhood malnutrition. Due to their medicinal use, these products must meet the precise nutritional requirements, ensuring adequate intake of essential nutrients to promote recovery. In this context, the research aimed to develop a food matrix simulator that allows the development of these therapeutic foods. To achieve this goal, software architecture was designed to improve the user experience, allowing the development of various food matrices that complied with the necessary steps for the development of ready-to-eat therapeutic foods and national and international regulations, specifically adapted to the context of Bolivia. The end result was the creation of a system that not only optimizes the design of therapeutic foods, but also facilitates the manipulation of key variables that influence the formulation of the products.

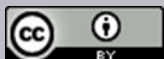
Keywords: Medicinal food. RUTF. Product development. Child malnutrition. food formulator.

Citar como: Sandalio Choque, A. L. (2024). Desarrollo de un simulador de matrices alimentarias para la elaboración de alimentos terapéuticos listos para consumir. *Journal Boliviano De Ciencias*, 20(56) 6-14. <https://doi.org/10.52428/20758944.v20i56.1213>

Recepción: 16/10/2024
Aprobación: 04/12/2024
Publicado: 30/12/2024

Declaración: Derechos de autor 2024 Aracely Lorena Sandalio Choque. Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Los autores/as declaran no tener ningún conflicto de intereses en la publicación de este documento.



1. INTRODUCCIÓN

Los simuladores son herramientas digitales que permiten la recreación de escenarios y procesos reales mediante modelos matemáticos y computacionales. En el contexto del desarrollo de productos alimenticios, los simuladores son utilizados para agilizar la formulación de productos al proporcionar un entorno controlado donde se pueden modificar variables clave como los ingredientes, proporciones y características nutricionales. Según Zhan y Li (2019), los simuladores ofrecen una plataforma eficiente para probar y ajustar recetas alimentarias sin la necesidad de realizar costosos y repetitivos ensayos físicos, lo que resulta en una optimización del tiempo y recursos invertidos en el desarrollo de productos.

Las matrices alimentarias, por otro lado, son combinaciones estructuradas de ingredientes que forman la base de un alimento. En el desarrollo de productos, una matriz alimentaria incluye la selección y proporción de ingredientes, así como sus interacciones para obtener un producto con características nutricionales y sensoriales específicas. De acuerdo con García y Pérez (2020), las matrices alimentarias son fundamentales para garantizar que los productos cumplan con los requisitos nutricionales, especialmente en casos de productos funcionales o terapéuticos, como los alimentos destinados para tratar la desnutrición infantil. La correcta formulación de estas matrices es clave para garantizar la calidad y seguridad del producto final.

El proceso de desarrollo de productos alimentarios implica una serie de etapas complejas que requieren tiempo considerable y una inversión económica elevada. Desde la fase de investigación inicial, hasta la formulación, pruebas sensoriales y ajustes. Según Lee y Johnson (2020), el desarrollo de productos alimentarios nuevos puede tardar entre uno y tres años, dependiendo de la complejidad del producto y de la cantidad de recursos dedicados al proyecto.

Como indican Smith y Brown (2018), las empresas del sector alimentario suelen invertir entre el 10% y el 20% de su presupuesto anual en el desarrollo de nuevos productos, lo que refleja la magnitud de la inversión necesaria para competir en el mercado. Esto puede suponer un reto importante, especialmente para las pequeñas y medianas empresas, que deben gestionar cuidadosamente sus recursos para llevar sus innovaciones al mercado sin comprometer su viabilidad económica.

La Encuesta de Demografía y Salud (EDSA) llevada a cabo en Bolivia por el Instituto Nacional de Estadística (INE) y el Ministerio de Salud en 2016 muestra una prevalencia del 3,4% de desnutrición aguda (peso/talla) (EL DEBER, 2021). El total de niños con desnutrición crónica asciende al 16%; de este porcentaje la más alta desnutrición se encuentra en el Altiplano (22,2%), Valles (17,1%) y Llanos (9,7%) (EDSA, 2016). Los ATLC han demostrado un impacto significativo en la reducción de la desnutrición infantil al proporcionar nutrición esencial de forma rápida y efectiva. Sin embargo, como Bolivia los importa, su costo es elevado, limitando su acceso a quienes más los necesitan.

Por las razones explicadas anteriormente, este trabajo tiene como objetivo diseñar un sistema de generación de matrices alimentarias específicamente orientado a la creación de alimentos terapéuticos listos para consumir que permita reducir tanto el tiempo como los costos involucrados en el desarrollo de productos alimenticios. Este sistema busca garantizar que los productos finales cumplan con los requerimientos nutricionales necesarios para contribuir al tratamiento de la

desnutrición infantil, al mismo tiempo que se adaptan a las necesidades y contextos específicos de Bolivia.

2. METODOLOGÍA

Arquitectura del Software

La arquitectura del simulador estuvo compuesta por tres capas fundamentales: la capa de presentación, la capa de negocio y la base de datos. En primer lugar, la capa de presentación gestionó la interfaz del usuario, proporcionando la experiencia visual y funcional durante la interacción con el simulador. Esta capa también presentó los resultados de las matrices alimentarias de forma clara y comprensible para el usuario final.

En segundo lugar, la capa de negocio concentró la lógica de cálculo; donde se estructuraron los parámetros y se implementaron las fórmulas necesarias para generar resultados precisos en la formulación de alimentos terapéuticos listos para el consumo. Finalmente, la base de datos almacenó la información esencial para el desarrollo de productos, incluyendo datos sobre ingredientes, valores nutricionales y otros insumos críticos.

El simulador permitió realizar una simulación determinista, lo que facilitó la manipulación de variables específicas, como alimentos utilizados y sus cantidades en gramos, para obtener resultados nutricionales. Los parámetros de comparación estuvieron preestablecidos y su cumplimiento se evaluó mediante un indicador tipo semáforo. Además, el simulador incluyó opciones para ingresar los datos necesarios para completar el etiquetado del producto.

Diseño del software

El simulador contó con inicio de sesión y seis apartados en el menú. Su diseño se basó en un análisis detallado de dos simuladores existentes en otros países. En primer lugar, se estudiaron sus funcionalidades y, posteriormente, se desarrolló un modelo que combinó las mejores características de ambos. A este modelo inicial se le añadieron apartados adicionales para hacerlo más completo y adecuado a las necesidades del proyecto, integrando los lineamientos establecidos por la Comisión Codex Alimentario (REP22/NFSDU) (2021) y la norma de CXS 1-1985 (2021).

Para los cálculos realizados con la simulación de matrices alimentarias, se implementaron ecuaciones y modelos matemáticos que permitieron realizar los cálculos nutricionales necesarios para la formulación de 100 gramos de producto. Además, se utilizó como referencia la guía del Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria (SENASAG) N° 0140/2017, para el desarrollo de la etiqueta nutricional.

Desarrollo del software de simulación

El software de aplicación fue desarrollado en la plataforma Visual Studio 2022. Según muestra la Figura N°1, el simulador se estructuró en cuatro etapas clave: recepción de información, base de datos, simulador y resultados de simulación. En la primera etapa, se ingresaron los datos iniciales, como normativas y la revisión bibliográfica, que guiaron el desarrollo del simulador. La segunda etapa se centró en la base de datos, donde se incorporó la programación utilizada para la aplicación.

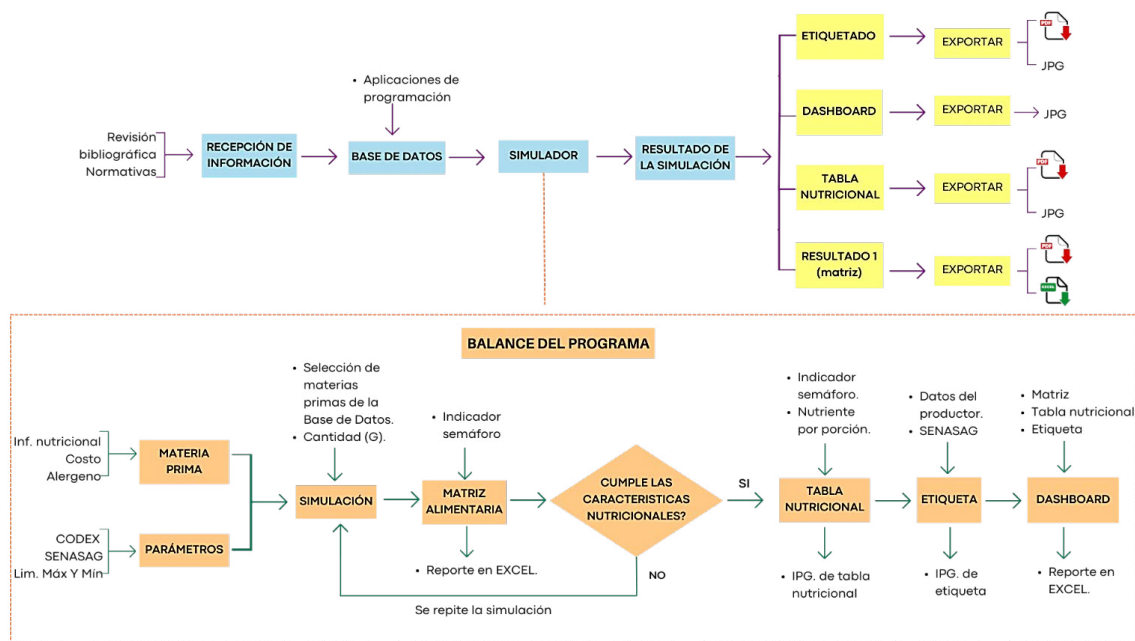


Figura N°1. Proceso del desarrollo del software de simulación. Fuente: Elaboración propia, 2024

La tercera etapa, correspondiente al simulador, se enfocó en un balance específico denominado “Balance del programa”. En esta etapa, se identificaron dos entradas principales: las materias primas y los parámetros, cuyos datos se extrajeron de la base de datos. Posteriormente se realizó la simulación, donde el usuario introdujo manualmente los datos de selección. A partir de esta información, se desarrolló una matriz en un tercer paso, a la cual se aplicó una condicional para determinar si cumplía con los requisitos nutricionales establecidos.

Cuando los parámetros no se cumplían, la simulación se repetía; al cumplirse, se procedía a generar la tabla nutricional, la etiqueta y el *Dashboard* completo de la formulación, concluyendo así el balance del programa. En la cuarta etapa, se presentaron los resultados finales del simulador, que pudieron ser exportados en formatos PDF, EXCEL o JPG, permitiendo una documentación detallada de los pasos realizados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo del simulador para la formulación de alimentos terapéuticos listos para consumir (ATLC), denominado en adelante como SMADI, arrojó resultados positivos en cuanto a la funcionalidad y eficiencia del sistema. Se obtuvo una plataforma con un menú interactivo que incluyó el registro de materias primas (Figura N° 2), lo que permitió a los usuarios crear y gestionar una base de datos ilimitada con todos los alimentos disponibles y sus respectivos parámetros nutricionales. Esta base de datos facilitó el acceso rápido y preciso a la información necesaria para la formulación de productos, lo que optimizó el proceso de selección de ingredientes.

PRODUCTO MATERIALES GUÍA SIMULACIÓN ETIQUETADO DASHBOARD

SSMADI

REGISTRO DE MATERIAS PRIMAS

Formulario de PARÁMETROS

Nombre:

Costo (Bs/Kg):

Alogeno: LECHE HUEVO SOJA FRUTOS SECOS C

Grupo: A (alto en grasa) B (alto en proteína) C (Alto en Carbohidratos) D (vitam mine)

Características Nutricionales (Porción 100 g)

Macronutrientes

Humedad (g):

Energía (Kcal):

Proteína (g):

Grasa (g):

Carbohidratos (g):

Micronutrientes

Ácido graso omega 6 (mg)

Ácido graso omega 3 (mg)

Niacina (mg)

Ácido pantotéico (mg)

Sodio (mg)

Potasio (mg)

Calcio (mg)

Fósforo (mg)

Magnesio (mg)

Hierro (mg)

Zinc (mg)

Vitamina A (µg)

Vitamina D (µg)

Vitamina E (mg)

Vitamina K (µg)

Vitamina B1 (mg)

Vitamina B2 (mg)

Vitamina C (mg)

Vitamina B6 (mg)

Vitamina 12 (µg)

Cobre (mg)

Selenio (mg)

Lista de Materias Primas

| Nombre | Costo | Alogeno | Grupo | Humedad | Energía | Proteína | Grasa | Carbhidrat | VitaminaA | VitaminaC | VitaminaB1 | Hierro | Sodio | Potasio |
|------------|-------|---------|-------|---------|---------|----------|-------|------------|-----------|-----------|------------|--------|-------|---------|
| Producto A | | | | | | | | | | | | | | |

Figura N°2. Simulador SMADI– Materias primas. Fuente: Elaboración propia, 2024

Dado que el simulador se enfocó en alimentos terapéuticos, los parámetros nutricionales estuvieron preestablecidos de acuerdo con los requisitos de la normativa del Codex Alimentario (FAO y OMS, 2021). Además, el sistema incluyó un indicador de tipo “semáforo” que permitió al experimentador verificar si los nutrientes esenciales cumplían con las exigencias normativas. Este indicador visual facilitó el control de la formulación y aseguró que los productos cumplieran con los requisitos nutricionales establecidos para el tratamiento de la desnutrición infantil.

Las tablas nutricionales utilizadas en el simulador no requirieron autorización, ya que tienen alcance internacional y son de uso gratuito. En este caso, las tablas se basaron en la Tablas de composición de Alimentos de Centroamérica, elaborada por el INCAP y la OPS en 2012. Además, el precio de cada alimento fue introducido manualmente por el usuario.

En la pestaña de simulación (Figura N° 3), el usuario pudo seleccionar los alimentos que utilizaría e introducir las cantidades correspondientes. Con esta información, el sistema generó automáticamente el perfil nutricional del producto y verificó si cumplía con los requisitos establecidos para los ATLC. Estos requisitos se basaron en el programa conjunto con la FAO y la OMS sobre normas alimentarias, específicamente en las directrices elaboradas por la Comisión del Codex Alimentario (2021) en el ante proyecto CX/NFSDU 19/41/6. Dicho informe especificó los parámetros analíticos, nutricionales y microbiológicos necesarios para la producción de los ATLC; los cuales se contribuyeron en los pilares de la investigación para estandarizar la matriz alimentaria.



Figura N°3. Simulador SMADI - Simulación. Fuente: Elaboración propia, 2024

Una vez que se identificó una matriz adecuada, el simulador permitió generar el etiquetado nutricional de manera automática, completando una etiqueta predeterminada con las aclaraciones necesarias según lo estipulado en la normativa para ATLC (FAO y OMS, 2021). Solo es necesario completar los espacios en blanco requeridos por el SENASAG N° 042/2023 para obtener una etiqueta lista para su uso, conforme a la normativa boliviana NB 314001 (2001).

La integración de la normativa nacional boliviana NB 314001 con el anteproyecto internacional del Codex Alimentario (CX/NFSDU 19/41/6, 2019) permitió desarrollar un enfoque integral para la elaboración de etiquetas nutricionales de Alimentos Terapéuticos Listos para Consumir (ATLC) en Bolivia. La normativa NB 314001 y la resolución administrativa Senasag N°042/2023 estableció los lineamientos específicos para el etiquetado en el contexto local, mientras que el anteproyecto del Codex proporcionó directrices globales que garantizaron la seguridad y calidad nutricional de los productos destinados al tratamiento de la desnutrición infantil aguda.

Finalmente, al concluir la simulación, el sistema ofreció la posibilidad de descargar un *dashboard* (Panel) (Figura N°4) que presentó un resumen detallado de todos los parámetros necesarios para el control de los ATLC. Este recurso facilitó la gestión y documentación de cada formulación desarrollada, al incluir información crítica tanto para el cumplimiento normativo como para la optimización del proceso productivo.

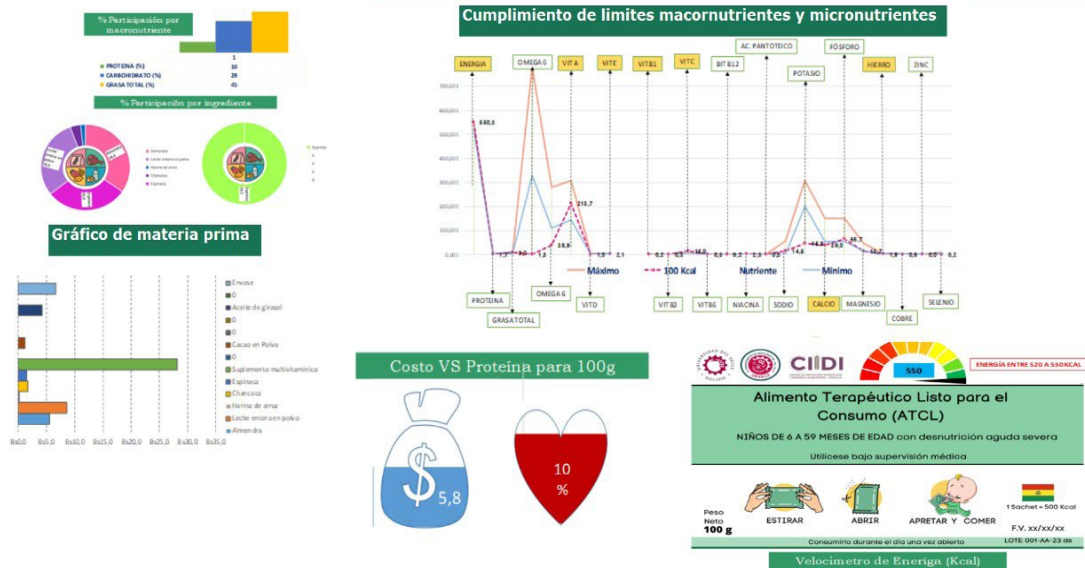


Figura N°4. Simulador SMADI – Dashboard. Fuente: Elaboración propia, 2024

Este simulador fue probado en la simulación de matrices alimentarias para Alimentos Terapéuticos Listos para el Consumo (ATLC) utilizando 15 materias primas producidas en territorio nacional, y se obtuvieron un total de 84 matrices que cumplieron con el perfil nutricional requerido. Para seleccionar la mejor formulación, se aplicaron tres filtros: el primero evaluó el cumplimiento de los macronutrientes, el segundo se centró en los micronutrientes, y el tercero consideró los costos de las materias primas.

Al finalizar el proceso, de las 84 matrices formuladas se logró identificar siete formulaciones que cumplía con el perfil nutricional necesario para un ATLC y se eligió una (Figura N° 5) a la cual se llevó a realizar los análisis bromatológicos, microbiológicos y sensoriales. Los análisis bromatológicos revelaron una similitud entre los datos obtenidos en el laboratorio y los valores teóricos del simulador. Las discrepancias se manifiestan en la concentración de proteína con una variación del 0,98% y la grasa con 1,77%.

| Macronutrientes | % | Nombre del Alimento | Grupo | Cantidad (g) | Participación (%) | Información Nutricional | | | |
|---|---------|----------------------------|-------|--------------|-------------------|--|------|------------------------------|--|
| Proteína | 10,9 | Almendra | A | 184 | 18,4 | Tamaño por porción (g) | 100 | | |
| Carbohidrato | 29,0 | Leche entera en polvo | B | 160 | 16,0 | Porciones por envase | 1 | | |
| Gas a total | 45,0 | Harina de arroz | C | 10 | 1,0 | Cantidad por porción | | | |
| Humedad | 2,0 | Chancaca | C | 20 | 2,0 | Calorías | 550 | Calorías de Grasa 398 | |
| Cenizas | 1,0 | Espinaca | | 160 | 16,0 | Valor Diario* | | | |
| Micronutrientes, Energía y fibra dietaria | | | | | Suprelac | 147 | 14,7 | | |
| Vitamina A (UI) | 39157,2 | | | | 0,0 | Grasa Total (g) | 44 | 68% | |
| Vitamina B1 (mg) | 10,9 | | | | 0,0 | Grasa Saturada (g) | 1 | 4% | |
| Vitamina C (mg) | 825,3 | | | | 0,0 | Colesterol (mg) | 0 | 0% | |
| Hierro (mg) | 107,2 | | | | 0,0 | Sodio (mg) | 80 | 5% | |
| Energía (Kcal) | 5502,9 | | | | 0,0 | Carbohidrato Total (g) | 28 | 9% | |
| Fibra dietaria (g) | 35,1 | | | | 0,0 | Fibra Dietaria (g) | 4 | 25% | |
| Omega 6 (mg) | 72,9 | | | | 0,0 | Azúcares (g) | 0 | 0% | |
| Omega 3 (mg) | 2138,5 | | | | 0,0 | Proteína (g) | 10 | 53% | |
| Vitamina D (mg) | 2756,6 | | | | 0,0 | Vitamina A (mg) | 1,1 | | |
| Vitamina E (mg) | 118,2 | Aceite de girasol | | 299 | 29,9 | Vitamina C (mg) | 82,5 | | |
| Vitamina K (mg) | 772,8 | | | | 0,0 | Vitamina B1 (mg) | 1,1 | | |
| Vitamina B2 (mg) | 14,2 | Cacao en polvo | | 20 | 2,0 | Hierro (mg) | 10,7 | | |
| Vitamina B6 (mg) | 13,8 | | | | 0,0 | Calcio (mg) | 214 | | |
| Vitamina B12 (mg) | 0,0 | | | | 0,0 | *Los porcentajes de Valores Diarios están basados en una dieta de 2000 calorías. | | | |
| Ácido Pantoteico (mg) | 0,2 | | | | 0,0 | | | | |
| Niacina (mg) | 127,2 | | | | 0,0 | | | | |
| Sodio (mg) | 797,3 | | | | 0,0 | | | | |
| Potasio (mg) | 2522,4 | | | | 0,0 | | | | |
| Calcio (mg) | 2143,6 | PERDIDAS EN PROCESO | | | | | | | |
| Fósforo (mg) | 3614,4 | TOTAL PRODUCTO | | 1000 | 100,0 | | | | |

Figura N°5. Resultados de la simulación - Formulación elegida. Fuente: Elaboración propia, 2024.

4. CONCLUSIONES

El simulador SMADI desarrollado para la formulación de alimentos terapéuticos listos para consumir (ATLC) ha demostrado ser una herramienta eficaz para acortar el tiempo de desarrollo de productos, particularmente en la etapa del desarrollo de formulaciones. Una de sus principales ventajas es la capacidad de crear una base de datos personalizada con los alimentos que se utilizarán en las formulaciones, lo que facilita el acceso a los ingredientes y sus parámetros nutricionales.

Este sistema permite adelantar varios pasos clave en el proceso de diseño, ofreciendo múltiples matrices alimentarias que cumplen con los requerimientos nutricionales necesarios para los productos a desarrollar. Gracias a los indicadores del sistema, es posible aplicar filtros que permiten seleccionar la formulación más adecuada, optimizando el proceso de desarrollo.

Una vez seleccionada la matriz, el simulador proporciona la fórmula teórica del producto y genera automáticamente la etiqueta nutricional conforme a la norma boliviana NB 314001 y la resolución administrativa Senasag N°042/2023, permitiendo que el producto esté listo para su comercialización. Este enfoque no solo acelera el proceso de formulación, sino que también reduce significativamente los costos asociados a la experimentación, la compra de materias primas y los análisis de laboratorio repetitivos.

El simulador puede contribuir significativamente a mejorar la accesibilidad de estos productos al permitir la experimentación y generación de diversas formulaciones utilizando alimentos disponibles en el país, además, se plantea que el simulador sea de acceso abierto ampliando su impacto, sin embargo, esta apertura aún está en proceso de evaluación.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Jhoel Espíndola por su apoyo en este proyecto.

6. REFERENCIAS

Comisión Codex Alimentario (CX/NFSDU). (2019). *Anteproyecto de directrices para los alimentos terapéuticos listos para el consumo* (CX/NFSDU 19/41/6). FAO/OMS.

Comisión Codex Alimentario (REP22/NFSDU). (2021). *Informe de la cuadragésima segunda reunión del comité del Codex sobre nutrición y alimentos para regímenes especiales* (REP22/NFSDU). Codex Alimentarius Commission.

EL DEBER. (2021, julio 19). Hasta 50 niños se salvan de la desnutrición cada mes en un centro especializado de la capital cruceña. *EL DEBER*. https://eldeber.com.bo/salud-y-bienestar/hasta-50-ninos-se-salvan-de-la-desnutricion-cada-mes-en-un-centro-especializado-de-la-capital-cruceña_239627

FAO, & OMS. (2021). *Informe de la cuadragésima segunda reunión del comité del Codex sobre nutrición y alimentos para regímenes especiales*. Codex Alimentarius Commission.

García, L., & Pérez, M. (2020). Formulation of food matrices: Nutritional and sensory optimization. *Journal of Food Science and Technology*, 55(4), 123-130. <https://doi.org/10.1007/s11483-020-02255-6>

IBNORCA. (2001). *Norma Boliviana NB 314001 - Etiquetado de los alimentos preenvasados*. IBNORCA.

Lee, A., & Johnson, P. (2020). Product development in the food industry: Time, complexity, and innovation. *Food Research Journal*, 45(2), 233-248. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.04.002>

Senasag. (2023). *Resolución administrativa SENASAG N° 042/2023*. SENASAG.

Siles, A. (2020). *Desnutrición de niños en Bolivia, pandemia invisible*. Opinión.

Smith, R., & Brown, T. (2018). Costs and challenges of new product development in food industry. *Journal of Food Economics*, 12(1), 95-110. <https://doi.org/10.1016/j.foodeco.2018.03.001>

Zhang, X., & Li, J. (2019). Simulation tools in food product development: A comprehensive review. *International Journal of Food Engineering*, 15(3), 45-52. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2018-0103>