



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**“ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO DE PANIFICACIÓN A  
BASE DE HARINAS DE LEGUMINOSAS Y CEREALES  
COMPLEMENTADO CON *TRÜB*”**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
QUÍMICO DE ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**PHILOS JONAS HERNÁNDEZ PÉREZ**



**CDMX**

**2022**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** Profesora Olga del Carmen Velázquez Madrazo

**VOCAL:** Profesor Rodolfo Fonseca Larios

**SECRETARIO:** Profesora María Soledad Córdova Aguilar

**1er. SUPLENTE:** Profesor Armando Conca Torres

**2° SUPLENTE:** Profesor Karla Mercedes Díaz Gutiérrez

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: LABORATORIO DE INGENIERÍA DE PROCESO, INSTITUTO DE CIENCIAS APLICADAS Y TECNOLOGÍA, UNAM**

**ASESOR DEL TEMA:**

Dra. María Soledad Córdova Aguilar

---

**SUPERVISOR TÉCNICO:**

QFB Agustín Reyo Herrera

---

**SUSTENTANTE (S):**

Philos Jonas Hernández Pérez

---

# ÍNDICE

<b>Índice de tablas .....</b>	<b>5</b>
<b>Índice de figuras.....</b>	<b>6</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>7</b>
<b>1 Introducción.....</b>	<b>9</b>
<b>2 Objetivo .....</b>	<b>11</b>
2.1 Objetivos específicos .....	11
<b>3 Marco teórico.....</b>	<b>12</b>
3.1 Trüb .....	12
3.2 Malnutrición.....	14
3.3 Desnutrición .....	14
3.4 Sobrepeso y obesidad.....	15
3.5 Suplementación proteica .....	16
3.6 Proteína vegetal .....	16
3.7 PDCAAS.....	18
3.8 Suplementos alimenticios.....	19
3.9 Normatividad .....	20
3.10 Alimentos funcionales.....	21
3.11 Panificación .....	23
<b>4 Antecedentes.....</b>	<b>29</b>
<b>5 Materiales y metodología .....</b>	<b>37</b>
<b>5.1 MATERIALES.....</b>	<b>37</b>
5.1.1 Harinas.....	37
5.1.2 Trüb.....	38

5.1.3 Agua potable .....	38
5.1.4 Sal .....	38
5.1.5 Aceite.....	38
5.1.6 Levadura .....	39
<b>5.2 METODOLOGÍA .....</b>	<b>39</b>
5.2.1 Humedad y aw .....	39
5.2.2 Densidad total .....	39
5.2.3 Densidad aparente y compactada .....	39
5.2.4 Solubilidad .....	40
5.2.5 pH.....	40
5.2.6 Sedimentación .....	41
5.2.7 Formulaciones de panificación .....	41
5.2.8 PDCAAS .....	41
5.2.9 Pruebas de panificación .....	43
5.2.10 Pruebas de textura y reología .....	45
5.2.11 Cálculo de G* (Modulo de elasticidad complejo).....	45
5.2.12 Diseños de experimentos.....	46
5.2.13 Variables y formulaciones .....	46
5.2.14 Análisis estadístico.....	47
<b>6 Resultados y discusión .....</b>	<b>49</b>
6.1 Caracterización de harinas .....	49
6.2 Pan ordinario y con masa madre.....	51
6.3 Formulaciones con leguminosas, sin harina de trigo y trüb.....	52
6.4 Pruebas de panificación .....	54
6.5 Elaboración de pan .....	55
6.6 Características sensoriales.....	56
6.7 Perfil de textura .....	56
6.8 Análisis estadístico.....	62
<b>7 Conclusiones.....</b>	<b>66</b>
<b>8 Perspectivas .....</b>	<b>67</b>
<b>9 Referencias .....</b>	<b>68</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de suplementos según la Hellenic Medicine Organization (EOF) .....	19
<b>Tabla 2.</b> Caracterización fisicoquímica de las harinas de avena, leguminosas y trüb .....	49
<b>Tabla 3.</b> Caracterización fisicoquímica del trüb.....	49
<b>Tabla 4.</b> Características sensoriales del producto control.....	51
<b>Tabla 5.</b> Formulaciones teóricas sin harina de trigo.....	52
<b>Tabla 6.</b> Formulación control con harina para panificación .....	53
<b>Tabla 7.</b> Formulaciones de panificación con sustitución de harina de trigo por leguminosas .....	53
<b>Tabla 8.</b> Formulaciones de panificación con sustitución de harina de trigo por avena, frijol, lenteja y trüb .....	53
<b>Tabla 9.</b> Formulaciones de panificación con sustitución de harina de trigo por lenteja, haba y trüb.....	54
<b>Tabla 10.</b> Formulaciones para panificación .....	54
<b>Tabla 11.</b> Características sensoriales de los productos de panificación utilizando harinas de leguminosas, cereales y trüb. ....	56
<b>Tabla 12.</b> Análisis de varianza entre las formulaciones 1 y 2.....	62

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Ejemplo de etiqueta de suplemento alimenticio (COFEPRIS, 2016). ...	21
<b>Figura 2.</b> Comparación del producto con y sin “trüb”, mostrando el incremento de proteína y fibra en las diferentes formulaciones (Santos, 2019).....	29
<b>Figura 3.</b> Comparación del producto con y sin “trüb”, mostrando el incremento de proteína y fibra en las diferentes formulaciones (Santos, 2019).....	30
<b>Figura 4.</b> Estrategia experimental.....	37
<b>Figura 5.</b> Proceso de obtención de harina de leguminosa: (a) Limpieza y remojo, (b) cocción, (c) secado (d) molienda. ....	38
<b>Figura 6.</b> Hoja de cálculo para determinar el PDCAAS de las formulaciones. ....	43
<b>Figura 7.</b> (a) Mezcla y amasado de los ingredientes, (b) primera fermentación de la masa, (c) formado y segunda fermentación de la masa y (d) horneado de la masa (pan). ....	44
<b>Figura 8.</b> Módulo complejo de cizallamiento (Rojas, et.al. 2012).....	46
<b>Figura 9.</b> Cuadro de variables de leguminosas y trüb. ....	48
<b>Figura 10.</b> Pan elaborado con la formulación control, (a) corteza del pan y (b) miga interna.....	51
<b>Figura 11.</b> Características culinarias del pan elaborado con las formulaciones de la tabla 9: [A] harina de trigo (control), [B] trüb 6.2 %, [C] trüb 7.1%; (a) corteza del pan y (b) miga interna. ....	56
<b>Figura 12.</b> Perfil de textura del pan elaborado con las formulaciones de la tabla 9. ....	57
<b>Figura 13.</b> Perfil de textura de las masas de panificación con las formulaciones de la tabla 9.....	58
<b>Figura 14.</b> Módulo complejo de las masas de panificación con las formulaciones de la tabla 9.....	59

## Resumen

El *trüb* es un subproducto de proceso de elaboración de cerveza cuya composición presenta predominantemente aminoácidos ácidos, aminoácidos alifáticos, taninos y compuestos polifenólicos. Por tanto, en el presente proyecto se propone utilizar el *trüb* para complementar la calidad proteica e incrementar el PDCAAS (*protein digestibility corrected amino acid score*) de un producto de panificación a base de harinas de cereales y leguminosas.

Se utilizaron fuentes de proteínas de alta tolerancia como las harinas de algunas leguminosas y cereales, las cuales se obtuvieron conforme al proceso establecido en el Laboratorio de Ingeniería de Proceso del Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología. El *trüb* fue obtenido de los tanques de fermentación de la planta piloto ubicada en la Facultad de Química, UNAM, posteriormente acondicionado y secado. Tanto al *trüb* como a las harinas, se les realizó un análisis bromatológico y una caracterización en función de solubilidad, pH, % humedad, actividad de agua ( $a_w$ ) y densidad total, aparente y compactada; adicionalmente, al *trüb* se le realizó una prueba de sedimentación.

Se propuso un diseño de mezclas para las formulaciones del producto de panificación, utilizando un diseño de programación no lineal con restricciones utilizando el programa *FrontlineSolvers*, tomando como variables de decisión diferentes proporciones de *trüb* y las harinas; como función objetivo, la calidad proteica (PDCAAS) que se espera obtener en el producto final y, como restricciones, los aminoácidos limitantes del *trüb* y las harinas. Se realizaron pruebas de panificación para determinar el tiempo y fuerza de amasado a fin de obtener una consistencia óptima en la masa, así como las condiciones estandarizadas de horneado (T, t). En todas las formulaciones, la adición de la harina de trigo fue mediante harina de trigo y masa madre. Se realizaron pruebas de reología y textura tanto a la masa madre y las masas obtenidas de las formulaciones como a los productos finales. A los productos se les evaluaron sus características de textura, sensoriales, fisicoquímicas y de contenido nutrimental.



Se logró desarrollar un producto de panificación que con 8 a 10 % de *trüb*, su PDCAAS aumentó entre 16 a 19 % respecto a una formulación con sólo harina de trigo. Se obtuvieron productos de panificación con textura y estabilidad aceptables y calidad nutricional que permite proporcionar al consumidor la proteína requerida.

# 1 Introducción

El síndrome de malabsorción se define como una alteración en la asimilación de nutrientes que puede ser producida por la hidrólisis defectuosa de nutrientes o la alteración de la absorción mucosa de los nutrientes (Pérez et al., 2008). El síndrome de malabsorción causa diferentes alteraciones, fundamentalmente pérdida de peso, anemia y desnutrición. Esta condición se presenta por disminución de la capacidad digestiva, por incremento de la motilidad intestinal o por disminución de la superficie digestivo-absortiva, como en el caso de la cirugía bariátrica. Estos pacientes requieren de dietas que les proporcionen todos los requerimientos nutrimentales, principalmente de proteína, la cual es el nutrimento más importante que ayuda a mantener la masa magra (*Johnson-Stoklossa and Atwal, 2013*). Sin embargo, los alimentos que contienen proteínas de alta calidad (carne, huevo, etc.), en muchos casos, no son tolerados o son poco accesibles. Promover una alimentación equilibrada resulta complicado en la mayoría de los casos, pues se tiene baja capacidad gástrica o puede presentarse inapetencia. Una alternativa para evitar la desnutrición severa en estos pacientes y alcanzar los requerimientos nutrimentales, es el uso de fórmulas sin lactosa y sacarosa, o bien, fórmulas oligoméricas que en la mayoría de los casos deben administrarse por medio de una sonda de alimentación, dada su pobre aceptación por vía oral. Todos estos suplementos implican un elevado costo para el paciente. Por otra parte, durante el proceso de elaboración de cerveza se generan varios residuos. Uno de ellos, obtenido de la etapa de pasteurización y lupulado del mosto es un residuo con un alto contenido de fibra y proteína que puede aprovecharse incorporándolo total o parcialmente, a una formulación enriquecida nutricionalmente.

El *trüb* es un subproducto de proceso de elaboración de cerveza, obtenido después de la maduración de la cerveza, el cual puede utilizarse para complementar alimentos funcionales, debido a que su composición presenta predominantemente aminoácidos ácidos, así como sus amidas, aminoácidos alifáticos, taninos y compuestos polifenólicos derivados de la adición de lúpulo (*Yeow, 1978*).

Se han desarrollado productos funcionales de panadería, los cuales han sido complementados con diferentes sustancias nutritivas y protectoras que permiten disminuir la incidencia de diversos tipos de patologías asociadas con alimentos (Montero, et al., 2015). Debido a sus características de vida de anaquel, su bajo costo de manufactura y formulación, los productos de panificación pueden ser enriquecidos al adicionar proteínas de origen vegetal, como concentrados o aislados proteicos de diversas leguminosas (Güemes, et al., 2009).

En la actualidad el método sugerido para evaluar la calidad proteica es el PDCAAS en el cual se valora hasta qué punto la fuente de proteína puede satisfacer la demanda de aminoácidos permitiendo la predicción de la proteína en la dieta (FAO Y FINUT, 2017).

## 2 Objetivo

Desarrollar un producto de panificación a base proteína vegetal: harinas de leguminosas y cereales complementado con *trüb*, subproducto de la fermentación de cerveza, como una alternativa para favorecer el balance nitrogenado positivo y reducir la pérdida de masa magra de pacientes con mal nutrición.

### 2.1 Objetivos específicos

- Caracterización fisicoquímica de las harinas de leguminosas, cereales y *trüb* utilizadas en la elaboración del producto de panificación.
- Selección de las formulaciones donde el PDCAAS de las mezclas sea mayor al obtenido con harina de trigo.
- Elaborar un producto de panificación a partir de la formulación más adecuada que satisfaga la condición de PDCAAS.
- Realizar pruebas de reología a las masas de panificación para determinar el tiempo y fuerza de amasado idóneo para la elaboración del producto.
- Analizar el perfil de textura (TPA) de los productos obtenidos con las diferentes formulaciones.
- Determinar el PDCAAS teórico del producto elaborado.

## 3 Marco teórico

### 3.1 Trüb

En la cerveza, las proteínas (sustancias albuminoideas) se encargan de la espuma y de la formación de turbidez, pero también de la nutrición de la levadura. Dado que las proteínas tienen una gran afinidad con los polifenoles (taninos), se debe considerar este complejo de forma conjunta. Los taninos del lúpulo y de la malta se disuelven completamente en el mosto y se combinan con las sustancias albuminoideas complejas del mosto. Los taninos de la malta tienen aquí una inercia de reacción algo mayor que los del lúpulo. Dado que los taninos se encuentran parcialmente en forma oxidada y que las sustancias albuminoideas tienen diferentes tamaños moleculares, resultan diferentes compuestos con propiedades diferentes:

1. *Trüb* de cocción; son flóculos formados en el mosto durante la cocción y está compuesto de proteínas (albúmina) y taninos oxidados los cuales son insolubles en el calor y precipitan durante la cocción.
2. *Trüb* en frío; formado por productos de degradación de proteínas y de taninos que permanecen en solución durante la cocción del mosto y precipitan durante el enfriamiento del mosto (Wolfgang, 2006).

En la formación de estos complejos se encuentran presentes otros compuestos que favorecen su formación como lo son cationes, particularmente de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) los cuales pueden influir en la neutralización de cargas negativas de las proteínas y péptidos.

Algunas otras partículas que también favorecen la formación de estos complejos con algunos compuestos solubles del lúpulo, los cuales pueden experimentar interacciones electrostáticas con las proteínas insolubles causando su precipitación. El *trüb* puede contener también proteínas de bajo peso molecular que presentan aminoácidos específicos de prolina los cuales pueden interactuar con polifenoles y carbohidratos presentes en el medio.

En general la composición del *trüb* puede describirse como (en materia seca): proteínas (50-70%), sustancias amargas de lúpulo no isomerizadas (10-20%), polifenoles (5-10%), carbohidratos (4-8%), los cuales son pectinas, glucanos y almidón, minerales (3-5%) y ácidos grasos (1-2%). En cuanto a uso, en general el *trüb* formado se mezcla con los granos gastados de la cervecera u otros ingredientes para la preparación de alimentos para animales; sin embargo, su rica composición tiene un potencial significativo para la aplicación de bioprocesos, específicamente la explotación de su concentración de proteínas (Dos Santos, et al., 2014).

El *trüb* caliente o *trüb* grueso, está compuesto por partículas grandes de 30 a 80  $\mu\text{m}$ , que son algo más pesadas que el mosto y que, por lo general, sedimentan bien y firmemente, si se les da el tiempo suficiente, la extracción se realizaba a través de la bandeja de enfriamiento o de la cuba de sedimentación, pero hoy en día es usual realizarla por medio del Whirlpool, a veces también con la centrifuga o por filtración.

Por debajo de aproximadamente 60 °C, el mosto anteriormente brillante comienza a enturbiarse. Este enturbiamiento consiste en minúsculas partículas de aproximadamente 0.5  $\mu\text{m}$  de diámetro denominadas *trüb* frío o *trüb* fino, el cual está compuesto de proteínas y taninos, los cuales se separan más intensamente en un medio más frío y se disuelven nuevamente, de forma parcial, al calentar. Esto significa que el mosto contiene aún un 14% del *trüb* total en frío en forma disuelta, en caso de un enfriamiento a 5 °C. Para realizar su extracción, se utilizan los siguientes métodos:

- Filtración por medio de perlita (Filtro por *kieselgur*)
- Flotación del mosto
- Separación del mosto frío

La mayoría de las fábricas de cerveza el mosto de *trüb* a la cuba de filtración para usarlo en el riego a los efectos de recuperar este mosto y simultáneamente convertir el *trüb* rico en proteínas para una aplicación útil, dado que éste tiene un valor nutritivo para el ganado.

La levadura de desecho que se encuentra en los fondos del tanque se ha destinado principalmente a su comercialización debido a su alto contenido de proteínas y vitaminas como alimento para ganado. Otra posibilidad de aplicación está dada en la industria farmacéutica en la recuperación de vitaminas (*Wolfgang, 2006*).

### **3.2 Malnutrición**

La malnutrición se define como la deficiencia, exceso o desequilibrio de un amplio intervalo de nutrientes, lo que deriva en efectos adversos en tejidos, masa corporal, forma del cuerpo y función física; por ejemplo: pérdida de masa, índice de masa corporal (IMC), y pérdida de apetito. Esta puede incluir tanto hiponutrición como hipernutrición, por lo que se puede dividir en tres grandes grupos de afecciones:

- La desnutrición, que incluye la emaciación (una masa insuficiente respecto a la talla), el retraso del crecimiento (una talla insuficiente para la edad) y la insuficiencia ponderal (una masa insuficiente para la edad);
- La malnutrición relacionada con micronutrientes, que incluye las carencias de micronutrientes (la falta de vitaminas o minerales importantes) o el exceso de micronutrientes; y
- El sobrepeso, obesidad y enfermedades no transmisibles relacionadas con la alimentación (como las cardiopatías, la diabetes y algunos tipos de cáncer) (*Soto, 2019*).

### **3.3 Desnutrición**

La desnutrición es la condición en la que no se logra cubrir los requisitos nutrimentales del cuerpo debido a un subconsumo o absorción deteriorada, ya sea como falta de acceso a una alimentación adecuada o como consecuencia de alguna enfermedad. La desnutrición se refiere a un déficit en la ingesta energética y deficiencia de micronutrientes, por lo que este tipo de malnutrición suele asociarse con un mayor índice de morbilidad y mortalidad; y puede dividirse en desnutrición aguda (si afecta a la masa del paciente) o desnutrición crónica (si afecta a la masa y altura del paciente) (*Soto, 2019*).

### **3.4 Sobrepeso y obesidad**

Una persona tiene sobrepeso o es obesa cuando pesa más de lo que corresponde a su altura. Una acumulación anormal o excesiva de grasa puede afectar a la salud.

El sobrepeso y la obesidad pueden ser consecuencia de un desequilibrio entre las calorías consumidas (demasiadas) y las calorías gastadas (insuficientes). A escala mundial, las personas cada vez consumen alimentos y bebidas más calóricos (con alto contenido en azúcares y grasas), y tienen una actividad física más reducida (OMS, 2020).

La condición de malnutrición se debe a un conjunto de varios factores dentro de los cuales se encuentran las transiciones demográficas, epidemiológicas y nutricionales. En cuanto a las transiciones nutricionales refiriéndose esto a una modificación de una etapa donde se presente una mayor prevalencia de desnutrición a una con sobrepeso y obesidad; esta transición es determinada por la interacción con los cambios económicos, demográficos, medioambientales, culturales y de actividad física que ocurren en la sociedad.

Para poder explicar la situación epidemiológica y nutricional regional un elemento a considerar es el cambio brusco que han tenido los estilos de vida, asociado a un crecimiento en la urbanización, especialmente en lo referido a dieta, actividad física, consumo de alcohol, tabaco y drogas, estrés y problemas de salud mental; lo anterior se ha convertido en factores para un incremento de riesgo para enfermedades no transmisibles (Fernández, et al., 2017).

En busca de una solución contra todas las formas de malnutrición, el Decenio de las Naciones Unidas de Acción sobre la Nutrición hizo un llamado para que se adopten políticas en seis esferas de acción las cuales son:

- Crear sistemas alimentarios sostenibles y resilientes en favor de dietas saludables.
- Proporcionar protección social y educación nutricional para todos.
- Armonizar los sistemas de salud y las necesidades de nutrición y proporcionar cobertura universal de las medidas nutricionales esenciales.



- Velar por que las políticas de comercio e inversión mejoren la nutrición.
- Crear entornos seguros y propicios para la nutrición en todas las edades.
- Fortalecer y promover la gobernanza y la rendición de cuentas en materia de nutrición en todos los lugares (OMS, 2020).

### **3.5 Suplementación proteíca**

El soporte nutricional consiste en la administración de nutrientes y de otras sustancias terapéuticas coadyuvantes necesarias, por vía oral o directamente en el estómago o en el intestino y/o por vía parental, con el propósito de mejorar o mantener el estado nutricional de un paciente. Este soporte se indica a pacientes que se encuentran en diferentes situaciones clínicas como limitación de ingesta, deglución, tránsito, digestión, absorción y/o metabolismo de nutrientes, o que presentan unos requerimientos especiales de energía y/o nutrientes que no pueden cubrirse con la alimentación natural.

Existen diferentes opciones de tratamiento nutricional siendo una de éstas la indicación de suplementos nutricionales. Los suplementos calórico-proteicos son fórmulas nutricionales que se mezclan macro y micronutrientes, completos o no en cuanto a su composición, que se ingieren vía oral por parte de pacientes que no cubren sus necesidades nutricionales con la dieta convencional ni con la dieta, con el fin de mejorar su estado nutricional o prevenir la aparición de malnutrición.

Los suplementos nutricionales devienen una fuente nutricional adecuada como complemento de la dieta, que es efectiva, puesto que permiten aumentar de manera significativa el aporte calórico-proteico sin que por ello cause desplazamiento de la ingesta si se administra en las condiciones apropiadas (Gómez, et. al., 2010).

### **3.6 Proteína vegetal**

En cuanto a las proteínas alimentarias estas se clasifican como “completas” o “incompletas”, según el contenido de sus aminoácidos. Las proteínas completas son aquellas que contienen los nueve aminoácidos indispensables en concentraciones suficientes para cubrir los requerimientos de los seres humanos. Las proteínas

incompletas son deficientes en uno o más de los nueve aminoácidos indispensables que deben proporcionar los alimentos. El concepto de proteínas complementarias está basado en la obtención de los nueve aminoácidos indispensables por la combinación de alimentos que tomados aisladamente son considerados como proteínas incompletas; un ejemplo de combinación de proteínas es la mezcla de proteínas alimentarias de soya y maíz o de la harina de trigo y caseína. En estos casos la calidad de las proteínas de la mejor combinación excede a la de las fuentes proteicas proporcionadas individualmente, por lo que el efecto de combinarlas es sinérgico (González, 2007).

Las proteínas vegetales constituyen una fuente de nutrimentos e ingredientes funcionales de interés por su variedad, disponibilidad y costo, explotándose tanto las propiedades funcionales como los beneficios nutricionales de cada grupo de proteínas. Inclusive, se pueden emplear ya para el diseño de empaques biodegradables. Las proteínas vegetales se obtienen principalmente de semillas de leguminosas, cereales, oleaginosas y en baja proporción de hojas verdes. Existe una gran variabilidad de niveles de proteína aun en variedades de la misma especie, lo que depende de factores genéticos, climáticos y ecológicos. Las posibilidades de aprovechamiento en la industria de alimentos dependen tanto de su resistencia al procesamiento como de la presencia de compuestos anti nutricionales en la fuente vegetal de interés.

Los ingredientes vegetales ocupan un lugar importante en la dieta de la población menos favorecida en términos económicos, y por otro lado entre quienes por diferentes razones (filosóficas, religiosas, económicas, visión de salud) optan por regímenes alimentarios libres de productos animales. Su valor agregado puede incrementarse al obtener y explotar componentes por su composición y funcionalidad, rubro en el que han adquirido gran importancia los aislados proteínicos de diferentes fuentes, en especial los de soya.

A pesar de la gran cantidad de plantas utilizables para alimentación, en el mercado hay pocas variedades que se explotan ampliamente; existen alternativas de

aislados proteínicos de especies como chícharo, canola, lupinos y ajonjolí, entre otros, por los altos contenidos proteínicos que poseen las semillas (Badui, 2006)

### **3.7 PDCAAS**

Existe un interés creciente sobre los efectos metabólicos de los aminoácidos individuales específicos de la dieta, por esta razón es importante disponer de una información exacta de las cantidades contenidas en las proteínas alimentarias de aminoácidos digeribles o preferiblemente biodisponibles. Se recomienda, por tanto, que los aminoácidos de la dieta se traten como nutrientes individuales y, hasta donde sea posible, que los datos sobre los aminoácidos digeribles o biodisponibles sean proporcionados en las tablas de alimentos sobre la base de su individualidad.

En el contexto de las dietas completas y la adecuación nutricional de una proteína de un alimento o de una mezcla de proteínas alimentarias, la cuantificación del valor nutricional de una proteína debe reflejar su capacidad para satisfacer las necesidades metabólicas de los aminoácidos individuales y del nitrógeno. Una vez más, la proteína de la dieta debería considerarse como una fuente de aminoácidos en su calidad de nutrientes individuales. El objetivo de la Puntuación de Aminoácidos es predecir la calidad de las proteínas en términos de su capacidad potencial para proporcionar el patrón adecuado de los aminoácidos indispensables de la dieta. La capacidad real de la proteína para satisfacer las necesidades de aminoácidos requiere la corrección por su digestibilidad y disponibilidad.

En 1989 la consulta conjunta de expertos FAO/WHO sobre la evaluación de la calidad de las proteínas recomendó el uso de los PDCAAS (puntuación de aminoácidos corregida por la digestibilidad de la proteína) para la evaluación de la calidad de las proteínas en los humanos. Al calcular los PDCAAS, la puntuación del aminoácido limitante se multiplica por la digestibilidad de la proteína con la intención de valorar hasta qué punto la fuente de proteína puede satisfacer la demanda de aminoácidos y permitir la predicción de la proteína en la dieta (FAO y FINUT, 2017).

### 3.8 Suplementos alimenticios

Los suplementos alimenticios son productos de consumo enfocados en proveer nutrimentos que no se encuentran en la dieta o cuya cantidad sea insuficiente. Además de incluir vitaminas y minerales, pueden contener aminoácidos, enzimas, fibra y ácidos grasos. La presentación puede variar incluyendo tabletas, cápsulas, polvos, bebidas y barras energéticas. Además, están elaborados a base de hierbas, extractos vegetales, alimentos tradicionales deshidratados, o concentrados de frutas, que pueden ser adicionados con vitaminas o minerales (siempre y cuando no rebasen los límites establecidos), cuya finalidad de uso es exclusivamente incrementar, complementar o suplir alguno de los componentes que se adquieren a través de la dieta. El marco jurídico de la legislación mexicana contempla la figura de suplemento alimenticio independiente a un fármaco o producto alimenticio.

En la actualidad, gran parte de la población tiene una dieta no equilibrada, rica en grasa y calorías y baja en proteína, vitaminas y minerales, por ello, se busca que el suplemento alimenticio sea capaz de proveer el soporte nutrimental adecuado; el siguiente cuadro muestra la clasificación de suplementos alimenticios (Soto, 2019).

**Tabla 1.** Clasificación de suplementos según la Hellenic Medicine Organization (EOF)

<i>Tipo</i>	<i>Descripción</i>
<i>Suplementos de vitaminas y minerales</i>	Incluyendo mezcla multivitamínica y/o multimineral
<i>Suplementos proteínicos</i>	En forma de bebida o tableta, pudiendo combinarse con carbohidratos, lípidos y vitaminas y minerales
<i>Suplementos de aminoácidos</i>	En cualquier forma y composición
<i>Suplementos de carbohidratos</i>	Incluyendo o no electrolitos y vitaminas
<i>Suplementos de ácidos grasos</i>	Antioxidantes mono y poliinsaturados
<i>Incrementadores de masa muscular</i>	En cualquier etapa de uso

<i>“Activadores de hormonas”</i>	Suplementos para hormonas de crecimiento
<i>Anabólicos permitidos</i>	Efecto anabólico natural y permitido por la legislación
<i>Sustitutos de comida</i>	En forma de polvo, barras, batidos, entre otros
<i>A base de alimentos</i>	Por ejemplo: levadura, ajo, microalgas
<i>A base de hierbas</i>	Incluyendo raíces y flores

### 3.9 Normatividad

El marco jurídico de la legislación mexicana contempla la figura de suplemento alimenticio independiente a un fármaco o producto alimenticio.

Los suplementos alimenticios no deben contener: procaína, efedrina, yohimbina, germanio, hormonas animales o humanas, sustancias de acción farmacológica, ni aquellas que presenten un riesgo a la salud, las plantas que no se permiten para infusiones o té, según el punto de acuerdo por el que se determinan las plantas prohibidas o permitidas para tés, infusiones y aceites vegetales comestibles (COFEPRIS, 2016).

En general la legislación internacional obliga a indicar la declaración del producto como suplemento alimenticio, la recomendación de la dosis diaria del mismo, declaración del uso responsable del mismo y leyendas de advertencia (Soto, 2019). La figura 1 detalla la información mínima necesaria que se debe de indicar en una etiqueta de suplemento alimenticio de acuerdo con la legislación mexicana, dicha información debe evitar confusión o engaño de las propiedades de este (COFEPRIS, 2016).

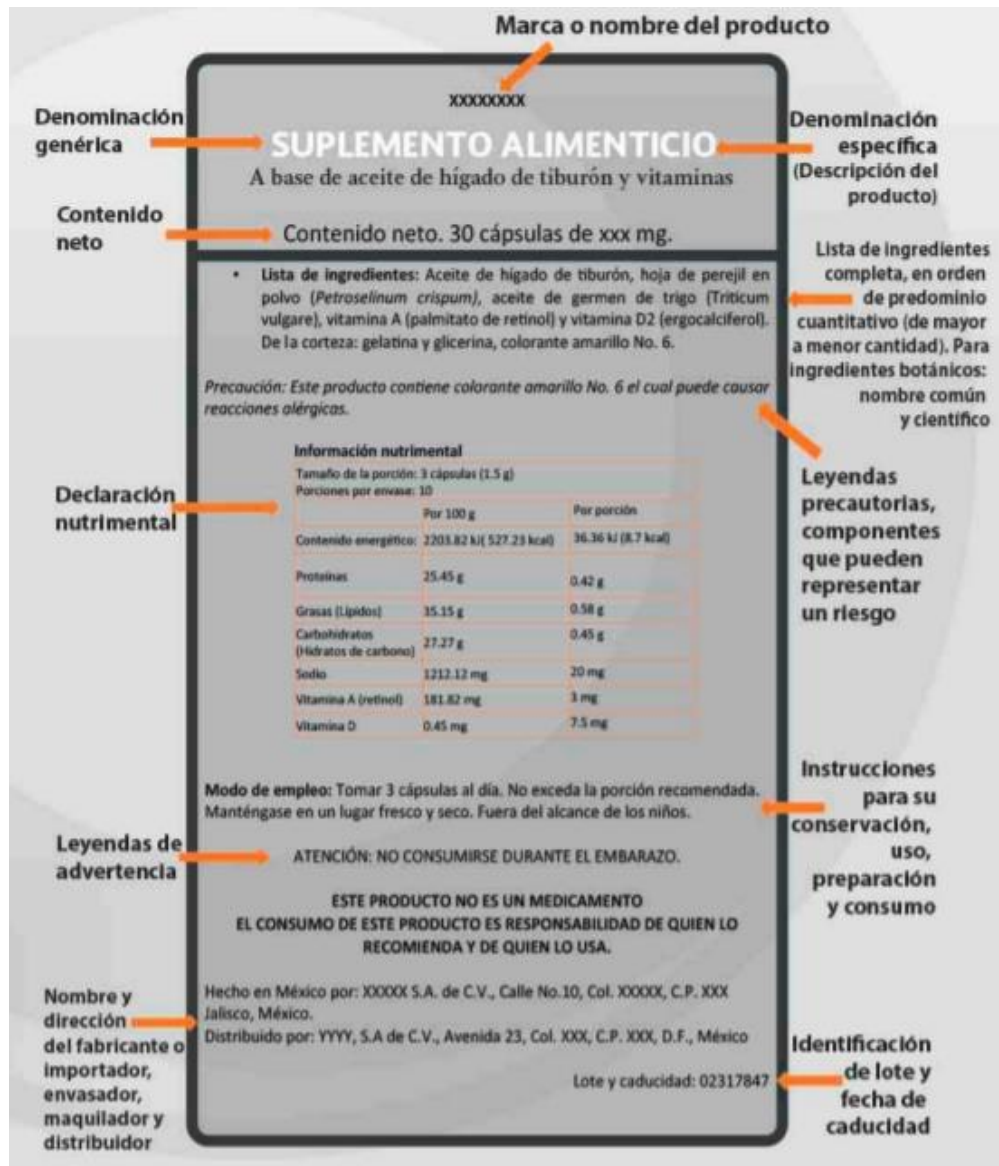


Figura 1. Ejemplo de etiqueta de suplemento alimenticio (COFEPRIS, 2016).

### 3.10 Alimentos funcionales

El concepto de alimentos funcionales nació en Japón, a comienzos de 1980, con la intención de garantizar una mejor calidad de vida de las personas de edad avanzada. A partir de su puesta en escena pasan a denominarse alimentos FOSHU (Alimentos para Uso Dietético Especial), en el marco de una normativa general de alegaciones sanitarias.

De acuerdo con el Instituto Internacional de Ciencias de la Vida en Europa, ILSI-Europe (Ashwell, 2002): “Un alimento puede considerarse funcional si ha demostrado que afecta de manera beneficiosa a una o más funciones del organismo, más allá de sus efectos nutricionales, de manera que es relevante tanto para mejorar el estado de salud y bienestar como para reducir alguno de los factores de riesgo de enfermedades”

Incluyen macronutrientes con efectos fisiológicos concretos (fibra, omega-3, calcio, etc.); micronutrientes esenciales, en ocasiones con ingestas funcionales superiores a las ingestas recomendadas (IR). Pueden ser nutrientes o no nutrientes, esenciales o no esenciales, naturales o modificados, pero siempre debe seguir siendo un alimento con formato convencional en el contexto de una dieta equilibrada. Es muy importante el concepto de que el efecto beneficioso debe conseguirse en las cantidades que habitualmente se consumen del alimento de referencia. Este concepto excluye por lo tanto a los denominados nutracéuticos, que se asimilan a suplementos dietéticos que incorporan una fuente concentrada de un componente saludable.

Cabe diferencias distintos tipos de alimentos funcionales (Ashwell, 2002) :

- a) Alimentos o bebidas naturales
- b) Alimentos o bebidas a los que se ha añadido un componente (p. ej.: omega-3, CLA, fibra, etc.)
- c) Alimentos o bebidas a los que se ha reducido o eliminado un componente (p. ej.: lácteos descremados, reducidos en sodio, sin azúcar, sin lactosa, etc.)
- d) Alimentos o bebidas en los que se ha variado la naturaleza de uno o más componentes (p. ej.: leche con fitoesteroles).
- e) Alimentos en los que se ha modificado la biodisponibilidad de uno o más de sus componentes.
- f) Alimentos o bebidas que reúnen más de una de las características mencionadas anteriormente.

Según ILSI, los alimentos funcionales no constituyen una entidad única, bien definida y correctamente caracterizada abarcando diversos componentes, nutrientes y no nutrientes, que afectan a toda una gama de funciones corporales relacionadas con el estado de bienestar y salud, la reducción del riesgo de enfermedad, o ambas cosas. Todos son alimentos o productos alimenticios comercializados con mensajes que destacan sus propiedades saludables.

Existe evidencia científica continuada de que la dieta y la nutrición son factores muy importantes en la promoción y el mantenimiento de una buena salud durante todo el ciclo vital de las personas. En este contexto, los alimentos funcionales no deben sustituir a ningún alimento natural, sino que deben incorporarse a nuestros aportes sobre la base de una dieta equilibrada y variada, complementada con la práctica habitual de ejercicio físico gratificante (Aranceta, et. al., 2011).

### 3.11 Panificación

El pan es el producto alimentario elaborado mediante la mezcla de harina, agua, levadura y sal, en unas proporciones concretas. Esta mezcla es amasada, fermentada y cocida al horno (Gimeno, 2012).

Con base en la NOM-247-SSA1-2008, existen tres tipos de pan en México:

- a) **Pan blanco**, al producto que resulta de hornear una masa obtenida de harina fermentada, agua y sal, acondicionadores y mejoradores de masa, adicionado o no de aceites y grasas comestibles, leche, otros ingredientes y aditivos para alimentos.
- b) **Pan de harina integral**, al producto que resulta de la panificación de la masa fermentada, preparada con mezclas de harina de trigo integrales, harinas de cereales integrales o harina de leguminosas, agua, sal, azúcares, grasas comestibles, otros ingredientes opcionales y aditivos para alimentos.
- c) **Pan dulce**, al producto que puede ser elaborado con harina, agua, huevo, azúcares, grasas o aceites comestibles, levaduras, al que se le pueden o no incorporar aditivos para alimentos, frutas en cualquiera de sus



presentaciones, sal y leche; amasado, fermentado, moldeado y cocido al horno o por fritura en grasas o aceites comestibles.

Y también dos tipos de productos:

- 1) **Productos de bollería**, a los que son cocidos por horneado de la masa fermentada preparada con harina de trigo, u otros cereales, agua, sal, azúcares, grasas comestibles, leudante, aditivos para alimentos e ingredientes opcionales.
- 2) **Productos de panificación**, a los obtenidos de las mezclas de harinas de cereales o harinas integrales o leguminosas, agua potable, fermentados o no, que pueden contener: mantequilla, margarina, aceites comestibles, grasas vegetales, sal, leudantes, polvo de hornear y otros aditivos para alimentos, especias y otros ingredientes opcionales tales como, azúcares, mieles, frutas, jugos, granos y semillas comestibles, entre otros; sometidos a proceso de horneado, cocción o fritura; con o sin relleno o con cobertura, pueden ser mantenidos a temperatura ambiente, en refrigeración o en congelación según el caso.

El pan debe presentar volumen, capacidad para producir y retener gas, adecuada estabilidad de la masa; además, debe presentar una miga suave y blanda, y corteza crocante, que para obtenerlos se debe lograr que parte del agua que se evapora de la superficie durante la cocción, quede retenida en la miga. Así mismo, estas características deben mantenerse durante el almacenamiento (Quezada, 2011)

La calidad sensorial del pan se percibe a través de los sentidos de la vista, olfato, gusto, oído y tacto y juega un papel en la dimensión de la calidad total del producto. Mediante pruebas organolépticas hedónicas se ha comprobado que los consumidores suelen preferir panes con largas fermentaciones ya que a cuanto menor dosis de levadura y de la temperatura de fermentación, mayor es la generación de compuestos responsables del aroma final del pan y la actuación de las enzimas sobre la masa, lo que se traduce en productos con mayor aroma y vida útil (Gómez, et.al. 2007).

En muchos países, el consumo de pan está incrementando continuamente y en la mayoría de estos la elaboración del pan y productos derivados del trigo ha generado la necesidad de importar este grano, dado que la producción interna no es suficiente, ya sea por condiciones climáticas y/o de suelo que no permiten el crecimiento del grano adecuadamente o representa dificultades en para su desarrollo. Por esta razón es que surge la necesidad de reemplazar el trigo con otras harinas obtenidas en las propias regiones.

Pero, la sustitución de harina de trigo por otras puede traer cambios importantes a considerar; dado que se ha observado que la sustitución de harina de trigo disminuye la elasticidad de la masa, esto debido a que el gluten sufre una dilución. Sin embargo, a pesar de la sustitución muchas harinas alternativas tienen propiedades que complementan al gluten (Vásquez, et.al. 2016)

De acuerdo con la revista FORBES, México. (2018) “el 20 % de los mexicanos son vegetarianos o veganos”; siendo el 60 a 70% de quienes practican esta dieta mujeres en busca de una mejor alimentación.

El veganismo es un estilo de vida acogido por personas que por voluntad propia eligen dejar el consumo de cárnicos y derivados animales, este estilo de vida tiene aristas vinculadas con su adopción, las mismas pueden clasificarse en personas que se alimentan netamente de plantas, quienes consumen una dieta crudívegana, así como los que han optado por involucrar en su dieta desde un aspecto filosófico-espiritual, con la dieta macrobiótica (Abad y Espinoza, 2018).

Para llevar una dieta vegana no es necesario realizar demasiados cambios, pues la mayoría de los ingredientes se pueden obtener en mercado como frutas, cereales, frutos secos, verduras y legumbres. Pero es de suma importancia saber cuáles alimentos sí se pueden consumir y cuáles no, pues algunos productos dentro del área de pastelería se eliminan como los lácteos y sus derivados, la gelatina con o sin sabor, ya que es elaborado a partir de huesos de animales, el azúcar no se debe usar cuando no se sepa su procedencia pues en el proceso de refinamiento en algunos casos se usa huesos para abaratar costos (Abad y Espinoza, 2018)

Entre los ingredientes más versátiles y utilizados están los frutos secos que son alimentos con poco contenido de agua y ricos en grasas, pueden ser de cáscara dura como nueces, almendras, pistachos, avellana, etc., o frutas desecadas como dátiles, pasas, higos, etc. Son una fuente excelente de vitaminas, calcio y omega 3 o 6 dependiendo el fruto. Se pueden obtener con estas cremas, salsas, pastas y leches vegetales (Abad y Espinoza, 2018)

Para la sustitución de las propiedades que aportan lácteos y cremas, existen diferentes alternativas que incluso son una mejor fuente de grasa que la de la leche de vaca, producen menos intolerancias y son de fácil digestión, estas de aquí son ideales para la elaboración de postres, las más utilizadas son la de coco y de almendra por su alto contenido en grasa. Otro ingrediente muy utilizado es el agar-agar como sustituto de gelatina que se obtiene de la mezcla de algas y gelatiniza de forma rápida, así mismo se puede utilizar estabilizantes químicos (Abad y Espinoza, 2018)

Otro de los elementos más importantes son las leguminosas como la soya y el garbanzo, son alimentos altos en proteína y fibra, ambos pueden servir como harina, la soja como leche vegetal y crema, y el garbanzo con el aquafaba para la sustitución de huevos; a más de este, para reemplazar los huevos también se puede utilizar banana, granos, semillas de chía, entre otros (Abad y Espinoza, 2018).

Uno de los primeros procesos biotecnológicos aplicados al proceso de panificación, que contribuyo de manera notable a la mejora de la calidad del pan, es el uso de masas madre. Este proceso consiste en dejar fermentar por un periodo de tiempo relativamente largo (típicamente 24 horas) a temperatura moderada, una mezcla de harina con agua. Luego, y con fines prácticos, de la misma mezcla se deja una porción de masa para generar la fermentación de las masas posteriores, de ahí su nombre (*Lancetti, 2017*).

La mayoría de las propiedades de la masa madre derivan de la actividad metabólica de las BAL (bacterias ácido-lácticas): fermentación láctica, proteólisis, síntesis de

compuestos volátiles, antimoho y antihilamiento, defecto producido por el crecimiento de *Bacillus*.

El proceso de fermentación modifica la reología del producto final. Cuando la masa madre fermenta, da lugar a disminución de elasticidad y viscosidad de las redes de gluten y al ser añadidas a otras masas, produce masas menos elásticas y más suaves. También influyen factores endógenos derivados de los cereales y otras materias primas utilizadas, así como factores exógenos presentes durante el proceso. Estos últimos pueden ser modificados o controlados e influyen de manera directa sobre la microbiota presente en la masa madre y las características de los productos horneados con levadura (Cortés, 2016).

Las masas madre se dividen en tres tipos:

- **Masa madre tipo I o proceso tradicional:** Producidas mediante técnicas tradicionales, se caracterizan por realizar refrescos diarios manteniendo así los microorganismos metabólicamente activos. El refresco consiste en mezclar parte de la masa original con agua y harina, y dejarlo fermentar. Con este método se asegura la regulación del crecimiento de los microorganismos como la producción de sus metabolitos. Este tipo de masas consiguen buenas fermentaciones por lo que no precisan la adición de levaduras de panadería.
- **Masa madre tipo II o tipo industrial:** Se obtienen mediante una única fermentación de 15-20 horas con posterior almacenaje durante largos periodos de tiempo. Suelen ser líquidas y no suelen ser adecuadas para levar, sino son utilizadas para acidificar y mejorar características organolépticas. La composición de BAL y levaduras puede ser elegida por la industria en función del producto a desarrollar. Es necesaria la adición de levaduras de panadería ya que las propias de la masa están inhibidas.
- **Masa madre tipo III o proceso industrial:** Masa madre seca ó deshidratada. Usada principalmente por la industria panadera por su rápida elaboración y constante calidad en los productos finales, asemejándolos a los producidos

por las masas madre tipo I. Es necesaria la adición de levaduras de panadería.

En algunos casos se incluye un tipo de masa madre denominado masa de esponja. Este método pretende mejorar la calidad final de los productos mediante la aclimatación de la levadura panadera.

La adición de masa madre durante la elaboración de pan, supone no solo la adición de una serie de microorganismos ajenos a dicha elaboración, sino también un aumento de metabolitos derivados de la acción de estos durante varias fermentaciones y que producen cambios a diversos niveles. Se pueden apreciar cambios en las propiedades de la masa a nivel tecnológico (mejora de la mecanización), nivel nutritivo (se produce la hidrólisis de fitatos), nivel de propiedades organolépticas (volumen, textura de la miga y sabor) y de vida útil (conservación de las propiedades durante mayor tiempo) (Cortés, 2016).

En estos últimos años se ha producido un incremento de la elaboración de panes con masa madre, fundamentalmente asociado a la concienciación de la sociedad sobre los beneficios y mejoras que conlleva este procedimiento (Cortés, 2016). En la actualidad, la masa madre se emplea en la fabricación de una variedad de productos como panes, pasteles y galletas saladas, y su aplicación se encuentra en aumento. Uno de los países que se destaca por su uso para la producción panadera es Italia donde, se pueden encontrar más de 200 tipos diferentes de panes de masa fermentada (*Lancetti, 2017*).

## 4 Antecedentes

Para Santos (2019), el *trüb* es un subproducto que representa aproximadamente más de 90,000 toneladas en base seca entre producción industrial y producción artesanal de cerveza. El *trüb* es un polvo con astringencia notoria; con el fin de aprovechar de las características composicionales del *trüb*, se propuso su incorporación a productos de chocolate en barra y al proceso de producción de pastelillos conocidos como *brownies*.

Para la elaboración de chocolate amargo utilizando el *trüb*, se seleccionó el chocolate como materia prima debido a que su predominante sabor enmascara la nota astringente del *trüb*, para esto se realizaron pruebas con chocolate de leche, semi-amargo y amargo siendo el chocolate amargo el elegido debido a que permitía una mayor adición.

Las formulaciones fueron diseñadas buscando un producto que fuera agradable al paladar del consumidor en lugar de un producto con alto contenido de proteína y fibra obteniendo los siguientes resultados:

Producto	Presentación	Con “trüb”	Sin “trüb”	Incremento
Chocolate 20% de “trüb”	10g	Proteína: 1.46g Fibra: 1.28g	Proteína: 0.7g Fibra: 0.6g	Proteína: 52% Fibra: 53%
Chocolate 25% de “trüb”	10g	Proteína: 1.65g Fibra: 1.53g	Proteína: 0.7g Fibra: 0.6g	Proteína: 58% Fibra: 60%
Chocolate 30% de “trüb”	10g	Proteína: 1.84g Fibra: 1.63g	Proteína: 0.7g Fibra: 0.6g	Proteína: 62% Fibra: 63%

**Figura 2.** Comparación del producto con y sin “trüb”, mostrando el incremento de proteína y fibra en las diferentes formulaciones (Santos, 2019).

Las pruebas sensoriales se efectuaron comparando productos que tuvieran un proceso de fabricación similar al producto final obtenido en el laboratorio; las pruebas se realizaron para determinar la frecuencia de consumo, diferencias y atributos (sabor y textura) de los productos y finalmente la preferencia entre los productos, obteniendo que:

- Más de un 70 % de los consumidores no frecuentan este tipo de productos.
- Existe una diferencia significativa entre las muestras con 30%-25% de *trüb* y las muestras con 20-30% de *trüb*.
- La muestra con 20% de *trüb* en su composición fue la que tuvo mayor gusto por los consumidores, tanto con sabor como en textura.
- Finalmente, el chocolate con mayor preferencia fue que contenía 20% de *trüb*.

Para la elaboración de un panqué tipo *brownie* formulado con *trüb* se decidió el producto por su sabor a chocolate, el cual como se mostró con el chocolate en barra permite la reducción de la percepción del sabor astringente del *trüb*; además de experimentar con una textura opuesta para determinar si habría un cambio más o menos notorio. Las formulaciones para establecer las concentraciones de *trüb* fueron delimitadas de manera que el sabor fuera agradable al paladar, obteniendo los siguientes resultados:

Producto	Formulación	Con “ <i>trüb</i> ”	Sin “ <i>trüb</i> ”	Incremento
“ <i>Brownie</i> ” 20% de “ <i>trüb</i> ”	1	Proteína: 16.52g Fibra: 4.99g	Proteína: 14.07g Fibra: 2.23g	Proteína: 14% Fibra: 55%
“ <i>Brownie</i> ” 40% de “ <i>trüb</i> ”	2	Proteína: 18.99g Fibra: 7.76g	Proteína: 14.07g Fibra: 2.23g	Proteína: 26% Fibra: 71%

**Figura 3.** Comparación del producto con y sin “*trüb*”, mostrando el incremento de proteína y fibra en las diferentes formulaciones (Santos, 2019).

De la misma manera que con el chocolate, las pruebas sensoriales se realizaron comparando un producto obtenido mediante un proceso similar efectuado en el laboratorio, las pruebas se efectuaron para precisar el consumo y frecuencia, diferencia significativa, atributos (sabor y textura) y nivel de agrado de los productos, obteniendo los siguientes resultados:

- El 86% de consumidores frecuentan este tipo de productos, el 92% de los consumidores adquieren este producto al menos una vez a la semana.
- No existe diferencia significativa entre los *brownies* con 20%-40% de *trüb*.

- El *brownie* con 40% de *trüb* tiene mayor preferencia.
- En cuanto a los atributos evaluados (sabor y textura) el *brownie* con 40% de *trüb* fue el mayor agrado.

La incorporación de *trüb* a este tipo de productos puede generar un mayor aporte de fibra y proteína a la dieta; la adición de *trüb* modificó el sabor y textura de los productos siendo más evidente en el chocolate ya que en el *brownie* la textura depende del conjunto de todos los ingredientes. El aprovechamiento de subproductos de la industria cervecera puede impactar positivamente en el medio ambiente ya que el destino del *trüb* obtenido de cervecerías artesanales es incierto.

El uso del *trüb* en la suplementación alimenticia se enfoca más en alimentos para animales; en el estudio realizado por (Mattioli, et. al., 2020) se enfocó en investigar el efecto de la suplementación dietética con *trüb* de cerveza en el estado oxidativo in vivo y calidad de la carne de conejo (perfil de ácidos grasos y colesterol) en conejo. Al mismo tiempo la potencial protección antioxidante del *trüb* así como en combinación con la suplementación dietética de linaza por alto contenido de AGPI n-3 y su inestabilidad oxidativa.

Para dicho estudio se utilizaron 80 conejos blancos de Nueva Zelanda los cuales se dividieron en 4 grupos homogéneos (Peso y sexo 1:1) y alimentados con una de las siguientes dietas hasta los 80 días de edad.

- Control (C): Dieta estándar.
- Trub (T): Dieta estándar +2% de trub liofilizado.
- Linaza (L): Dieta estándar +3% de linaza extrusionada.
- Trub + Linaza (TL): Dieta estándar +2% de trub liofilizado y 3% de linaza extrusionada.

Al terminó de los 80 días los conejos fueron sacrificados para posteriormente realizar las determinaciones analíticas correspondientes obtenido como resultado que en las dietas L y TL enriquecieron el LTL (Longísimo torácico y lumbar) con ácidos grasos n-3 principalmente ácido  $\alpha$ -linolénico (ALA) y derivados de cadena larga (EPA, DPA y DHA). Caso contrario a los PUFA n-6, los cuales presentaron



niveles mayores en el control en comparación con los otros grupos, principalmente debido a los ácidos linoleico y araquidónico; esta tendencia afectó la relación n-6/n-3 que fue mayor en los grupos L y TL. El índice de trombogenicidad (TI) empeoró levemente cuando se adicionó *trüb* a la dieta.

La suplementación con *trüb* en dietas para conejos modificó ligeramente el perfil de ácidos grasos (PUFA) y redujo la estabilidad oxidativa de los lípidos de la carne. En comparación con la dieta de linaza, la suplementación con *trüb* no mostró efectos positivos sobre la calidad de la carne y la combinación con *trüb* no contrarrestó la inestabilidad oxidativa. Sin embargo, teniendo en cuenta las implicaciones potenciales para la salud humana del consumo de carne con un contenido de colesterol más bajo, se debe investigar la alimentación con *trüb* en otras especies animales, donde el contenido de colesterol se considere un factor importante.

El *trüb* al poseer altas cantidades de carbono y nitrógeno es una fuente potencial de azúcares reductores y nitrógeno para procesos biológicos, tal y como lo realizó (Corrêa Nazareth, et.al., 2021) donde investigó la producción de un biosurfactante utilizando *trüb* como sustrato de bajo costo y evaluando el impacto de las fuentes de nitrógeno y suplementación del medio de cultivo con soluciones metálicas en la producción; esto con el fin de mejorar la producción de biosurfactantes debido a la optimización del medio de cultivo contribuyendo al desarrollo sostenible de la industria cervecera.

El experimento se diseñó usando *trüb* como fuente de carbono y nitrógeno, además de adicionar extracto de levadura y peptona a diferentes concentraciones para que por medio de una fermentación utilizando *Bacillus subtilis* ATCC 6051 se determinará las condiciones de mayor concentración de biosurfactante producido. También se determinó la influencia de metales en la producción, esto se realizó mediante la adición de soluciones de hierro, potasio, magnesio y manganeso al medio de cultivo.

Como resultado se obtuvo que la adición de extracto de levadura mejora la producción de biosurfactantes además de reducir la tensión superficial; en cuanto a

la adición de metales se observó que el uso en conjunto de estos favorece la producción de biosurfactantes en vez de utilizarlos por separado.

Finalmente se realizó una producción a escala utilizando un biorreactor utilizando las condiciones óptimas de medio de cultivo y suplementación con minerales, obteniendo con éxito un extracto concentrado de biosurfactante (surfactina).

Con respecto al uso harinas de cereales y leguminosas para el desarrollo de productos de panificación se tiene registrados varios proyectos, por ejemplo, el realizado por (Ramírez, 2013) en el cual tuvo como finalidad el uso de subproductos del proceso cervecero, en este caso grano agotado (afrecho), para la obtención de barras energéticas. Para efectuar la obtención de las barras se realizó la evaluación nutricional, así como propiedades fisicoquímicas y biológicas del afrecho para posteriormente diseñar las mezclas tomando en cuenta los cambios de las características organolépticas al introducir el afrecho en las harinas de soya y maíz. El diseño de mezclas obtenido fue adicionar 0, 5, 10, 15 y 25 % de afrecho a la mezcla de harinas de maíz (70%) y soya (30 %), para posteriormente mediante un análisis proximal determinar la mezcla óptima que presentará un mayor beneficio nutricional además de las características físicas, químicas y organolépticas de mayor aceptación y adecuadas para la elaboración de las barras; teniendo como resultado que la adición de afrecho incrementa en el rango de 10.30-24.84% el contenido de fibra y un 16.85-19.41% el contenido de proteína, mejorando considerablemente el aporte nutricional de la mezcla de harina de maíz y soya.

La mezcla elegida fue la que contenía un 15% de afrecho, debido a que tuvo la mayor aceptación en la prueba hedónica de 9 puntos efectuada en la cual se evaluaron las propiedades de sabor, color, textura y olor. Para la obtención de las barras se mezclaron las harinas de maíz, soya, afrecho, azúcar, miel, mantequilla, y frutos secos.

El proyecto realizado por Rojas (2014) tuvo como objetivo el desarrollo de un producto (galleta de avena tipo pasta blanda) con efecto hipercolesterolémico adicionando quitosán conocido por inhibir la absorción de grasa y tener efectos hipercolesterolémicos y avena presenta propiedades reductoras de colesterol. La

formulación control se eligió mediante evaluación sensorial, misma que se le adiciono quitosán para obtener la formulación modificada. A las dos formulaciones se les realizó un análisis químico proximal, microbiológico y de textura para comparar y determinar la influencia del quitosán en la composición química final. Se realizó un estudio a un paciente masculino de 45 años con elevados niveles de colesterol sin ningún tratamiento médico o dieta especial; al cual se le suministró una dosis diaria de 1.5 g de quitosán y 6 g de avena por medio de tres galletas antes de desayunar y tres antes de comer por 30 días. Se monitoreo su perfil lipídico tomando en cuenta colesterol total, colesterol HDL y colesterol LDL antes de comenzar el estudio, a los 15 y 30 días.

Como resultados se obtuvo que en la formulación modificada aumentaron de forma significativa los lípidos, fibra, y nitrógeno total; en cuanto al análisis microbiológico el producto cumplió con la NOM-147-SSA1-1996 y el análisis de textura mostró que la adición de quitosán permite una textura más dura, menos frágil, más firme y resistente a la ruptura, pero menos crujiente. En el perfil lipídico del paciente se observó un decremento en los niveles de colesterol total y colesterol LDL y un aumento en el nivel de colesterol HDL; concluyendo que el uso de quitosán en conjunto con avena adicionada a una galleta ayuda a reducir los niveles de colesterol total y colesterol LDL en sangre y aumentar los niveles de colesterol HDL, lo cual puede contribuir a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares.

González (2018) tuvo como finalidad el desarrollo de dos productos empleando cereales y leguminosas para mejorar la calidad nutrimental con un mayor contenido proteico comparado con algunas botanas comerciales, así como su diseño de etiqueta y planta procesadora. Para el desarrollo de los productos se llevó a cabo el diseño de 8 formulaciones utilizando maíz y amaranto como cereales y lenteja y frijol como leguminosas, dividiéndolas en 4 formulaciones saladas (queso, adobo, sal y limón y mochi) y 4 dulces (nuez, ciruela, canela y chocolate).

Para la elaboración de los productos salados se utilizó harina de maíz nixtamalizada, amaranto reventado, calabaza, carragenina, sal, leche en polvo, edulcorante Stevia, frijol pinto y semilla de chía; para los productos dulce se utilizó

harina de maíz nixtamalizada, lenteja, amaranto reventado, plátano macho, carragenina, sal, leche en polvo, edulcorante Stevia, saborizante de vainilla, Saborizante de nuez, chocolate, betabel, linaza y ciruela. Obteniendo como resultado que los dos productos más aceptados fueron los de mochi y chocolate los cuales se eligieron mediante pruebas sensoriales. Los productos fueron sometidos a análisis químico proximal, análisis microbiológicos; obteniendo que la combinación de cereales y leguminosas aumentó el contenido de proteínas y fibra en comparación con productos comerciales hechos a base de cereales; esto debido a la naturaleza de las materias primas extras utilizadas en la elaboración de los productos. De acuerdo con el análisis químico proximal la cantidad de grasa de los productos finales les permite denominarse como bajo en grasa, además de denominarse como adicionadas en fibra en comparación con las botanas comerciales; respecto al análisis microbiológico los productos obtenidos son inocuos y aptos para consumo humano. Finalmente, el diseño de la planta se presentó, desde la elección de terreno hasta las hojas de especificaciones de los equipos adecuados a las necesidades de producción.

Para poder ofrecer a la industria panificable una calidad constante y adecuada se ha optado por la utilización de hidrocoloides y emulsificantes en la elaboración del mismo, por lo cual (Soto, 2012) realizó la determinación de la influencia de interacción gluten-grenetina, gluten-goma de mezquite y gluten-lecitina al 0.3, 0.5 y 0.7% para evaluar los cambios físicos y texturales además de un análisis térmico mediante calorimetría diferencial de barrido, en el cual se obtuvo la energía necesaria para la formación de diversos enlaces presentes a los niveles de variación propuestos en las interacciones presentes.

Respecto a la caracterización gluten-grenetina se obtuvo que a una concentración de 0.7% se perdió la menor cantidad de componentes volátiles al someterse la masa de pan a calentamiento, en cuanto al incremento volumétrico de la masa madre al pan con grenetina fue directamente proporcional a la concentración de grenetina en el sistema, así como la pérdida volumétrica en vida de anaquel, sin embargo, la pérdida de masa por día fue menor a la concentración de 0.7%, referente al perfil

de textura la formulación con 0.5% de fue la que mejoró los parámetros de dureza y fracturabilidad en el lado superior, punto medio y lado inferior del pan.

En cuanto a las propiedades en las interacciones gluten-goma de mezquite el análisis térmico indico una pérdida menor de compuestos volátiles a la concentración de 0.7% referente al gluten patrón. Los incrementos volumétricos de la masa madre al pan, así como la perdida volumétrica fue directamente proporcional a la concentración de goma de mezquite en el sistema, mientras que la pérdida de masa en vida de anaquel fue menor a una concentración de 0.5%; en cuanto al análisis de textura la concentración de 0.5% no presenta un punto de dureza en el sistema alimenticio.

Finalmente las interacciones gluten-lecitina a una concentración de 0.3% existe una mayor conservación de compuestos volátiles; el incremento volumétrico fue proporcional a la concentración de lecitina en el sistema, la pérdida volumétrica de anaquel fue menor a una concentración de 0.5% de lecitina mientras que el decremento de masa en anaquel fue proporcional a la concentración de lecitina en el sistema; el análisis de textura no presento un valor de dureza en el lado superior, inferior y punto medio a las concentraciones de 0.5% y 0.7%.

## 5 Materiales y metodología

### Estrategia experimental

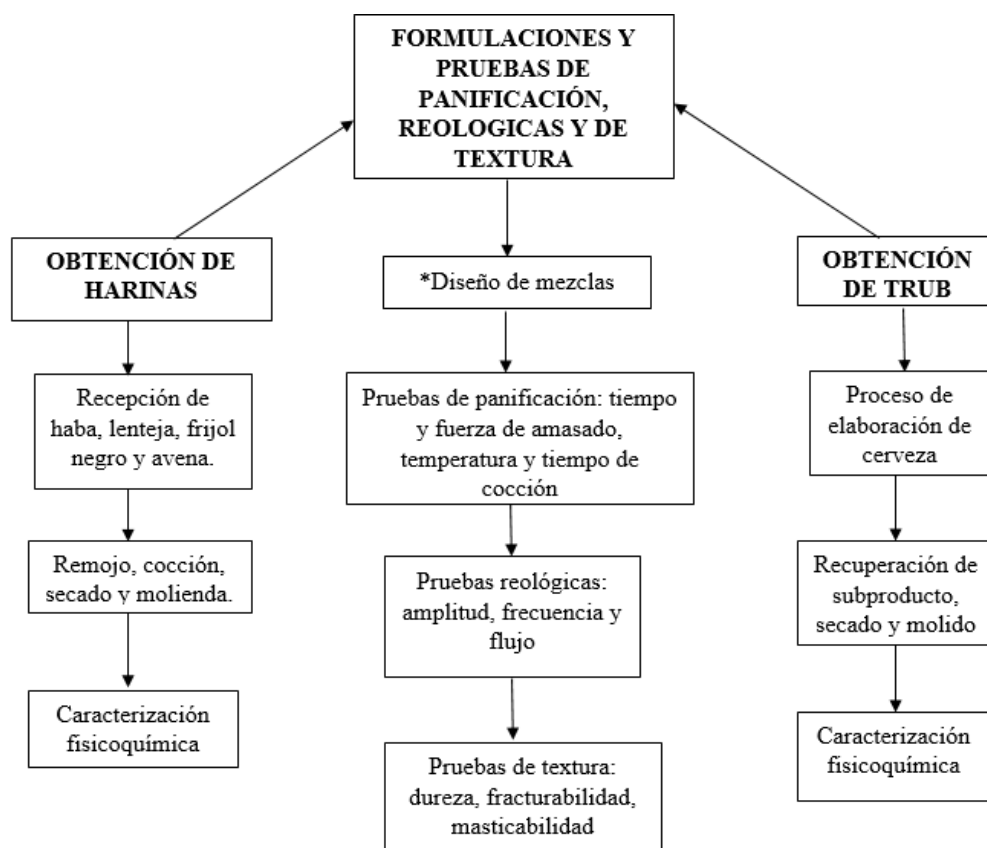


Figura 4. Estrategia experimental

### 5.1 MATERIALES

#### 5.1.1 Harinas

Se obtuvieron las harinas de leguminosas y cereales por el método establecido (Velázquez, 2019). La harina de trigo se obtuvo de un comercio local de la CDMX.

Se hace una evaluación de aspecto físico, color y tamaño; se descartan las semillas resacas o materias. Las legumbres se remojaron durante 24 horas a temperatura ambiente y se hace la cocción sin presión. Las legumbres cocidas fueron sometidas al proceso de secado en un equipo Industrial de charolas (*Avantco*) para su posterior molienda en seco para disminuir el tamaño de partícula



**Figura 5.** Proceso de obtención de harina de leguminosa: (a) Limpieza y remojo, (b) cocción, (c) secado (d) molienda.

En el caso de los cereales, la harina se obtiene por molienda y tamizado 80.

La caracterización de las harinas se hizo en función de: solubilidad, pH, % humedad, actividad de agua ( $a_w$ ) y densidad total, aparente y compactada.

#### **5.1.2 Trüb**

Se extrajo del tanque de fermentación el sedimento (*trüb*) de la planta piloto de elaboración de cerveza ubicada en la Facultad de Química, al término del proceso de elaboración de cerveza efectuado en el laboratorio de tecnología de alimentos (LABTEC), para posteriormente someterlo a secado y molienda.

Se le realizaron las mismas pruebas fisicoquímicas que las efectuadas a las harinas y adicionalmente se le realizó una prueba de sedimentación.

#### **5.1.3 Agua potable**

Se utilizó agua potable obtenida de filtro en cumplimiento con la NOM-127-SSA1-1994. Agua para uso y consumo humano (SSA, 1994).

#### **5.1.4 Sal**

Se utilizó sal como potenciador de sabor, además de que su uso está relacionado con las propiedades de la masa (Quitral, et. al., 2015).

#### **5.1.5 Aceite**

Se utilizó el aceite debido a su efecto en la masa como plastificante, mejora de la palatabilidad y prolonga la vida de anaquel; además de beneficios como el incremento de en el volumen de la masa y la suavidad de la miga (Magaña, et. al., 2011).

### 5.1.6 Levadura

Se utilizó levadura desarrollada por Tradi-Pan®, la cual lleva a cabo el proceso de fermentación de los azúcares presentes en la masa y cuyos productos influyen en el aroma final del pan (Gómez, et. al, 2007, Capítulo 1, p 54).

## 5.2 METODOLOGÍA

### 5.2.1 Humedad y $a_w$

Para la determinación de humedad en las distintas harinas obtenidas, así como en el *trüb*, se utilizó el método de termobalanza (NMX-F-428-1982), mediante una termobalanza (Sartorius Alemania MA37-1), en la cual fueron colocados 5 g de cada muestra a una temperatura de 135 °C. En el caso de la  $a_w$  se determinó pesando un gramo de muestra en un medidor de actividad de agua (*Aqualab Series 4TE*), el cual mide la  $a_w$  de las muestras siguiendo la metodología de los sensores de punto de rocío a 25 °C. Ambas pruebas fueron realizadas por triplicado a cada muestra (Velázquez. 2019).

### 5.2.2 Densidad total

A las muestras se les determinó su densidad total mediante un picnómetro de 5 mL. El volumen tomado fue de 4.8 mL que es el de la certificación del picnómetro. Se llenó el picnómetro con la muestra y se registró el peso. Esto se realizó por triplicado en cada muestra. Finalmente se calculó la densidad de las muestras mediante la siguiente ecuación:

$$Densidad\ total = \frac{m}{v}$$

Donde:  $m =$  masa (g)      y       $v =$  volumen (mL)

### 5.2.3 Densidad aparente y compactada

Para la densidad aparente se utilizó un volumen de 5 mL como medida estándar de una probeta de 10mL con graduación de 0.5mL, y se pesó la cantidad de harina que ocupaba el volumen sin compactar. La densidad aparente se determinó por



triplicado reportando los resultados en gramo por mL, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad aparente} = \frac{m}{v_0} \quad \text{Donde: } v_0 = \text{volumen sin compactar (mL)}$$

Después de observar el volumen inicial utilizado para la densidad aparente, se compacto la harina impactándola 150 veces sobre una superficie plana y suave, a ritmo constante llevando a una altura de 5 cm aproximadamente. El volumen compactado se determinó aproximando la medida a la unidad más cercana de la escala de la probeta. Para reportar los resultados en gramo por mL se utilizó la ecuación:

$$\text{Densidad compactada} = \frac{m}{v_f} \quad \text{Donde: } v_f = \text{volumen final por asentamiento (mL)}$$

#### 5.2.4 Solubilidad

Se evaluó de acuerdo con el método propuesto por (de Barros, et al., 2014), con modificaciones. Se pesó 1 g de las muestras y se aforo a 10mL con agua y se agitó 15 minutos a temperatura ambiente. Se centrifugó a 3000 rpm durante 15 minutos, posteriormente se tomó una alícuota de 2mL  $\pm$  0.5mL la cual se colocó en una termobalanza *Sartorius Alemania MA37-1*. Por medio de diferencia de peso se obtuvo el porcentaje de solubilidad. Para reportar los resultados se utilizó la siguiente ecuación (*Eastman y Moore method, 1984*):

$$\% \text{Solubilidad} = \frac{g \text{ sólidos secos}}{g \text{ muestra} * \frac{100 - \% \text{ Humedad}}{100}} * \frac{g \text{ aforo}}{g \text{ alícuota}} * 100$$

#### 5.2.5 pH

Las muestras utilizadas para la muestra de solubilidad, antes de ser sometidas a la centrifugación se les determino su pH mediante un potenciómetro (*Science, EUA, MED*) previamente ajustado son buffers pH 4 y 7 respectivamente.

### 5.2.6 Sedimentación

El porcentaje de sedimentación se determinó pesando 7 g de una suspensión homogénea en un tubo falcón, mediante una centrifugación a 100 rpm (*UnicoPower Spin Centrifuge EUA LX and FX*) a 25 °C durante un minuto y posterior filtrado a vacío. Se dejó a peso constante en una estufa a 80 °C y posteriormente pesado de la masa drenada. La determinación se realizó por duplicado (Toxtle, 2020).

### 5.2.7 Formulaciones de panificación

Las formulaciones de los productos de panificación se realizaron mediante un diseño de programación no lineal con restricciones utilizando el programa (*FronlineSolvers*), para llevar a cabo la determinación de las formulaciones se tomaron como variables de decisión el *trüb* y las harinas, como función objetivo el PDCAAS que se esperaba obtener en el producto final y como restricciones los aminoácidos limitantes del *trüb* y harinas; los PDCAAS fueron obtenidos de la base de datos de harinas de leguminosas del Laboratorio de Ingeniería de proceso del ICAT (*Soto, 2019*).

### 5.2.8 PDCAAS

El PDCAAS se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\frac{\text{mg de aminoácido limitante}}{\text{g de proteína de estudio}}}{\frac{\text{mg de aminoácido de referencia}}{\text{g de proteína de referencia}}} \times \% \text{Digestibilidad Fecal Verdadera} \times 100$$

(FAO y FINUT, 2017)

Debido a que el PDCAAS está referido a g de aminoácido por cada gramo de proteína digerible, en el diseño del producto de panificación resulta relevante el PDCAAS para garantizar la calidad proteínica del mismo y así optimizar su aprovechamiento, de tal manera que el modelo de optimización debe contemplar el porcentaje de proteína digerible y la cantidad de aminoácido esencial en la mezcla dentro se la función objetivo; a su vez, la elección de la variable de decisión debe contemplar los parámetros de proteína digerible y aminoácidos esenciales. Ya que el score de aminoácidos depende el aminoácido que esté en menor proporción a la proteína de referencia, fue necesario contemplar una ecuación de restricción para

cada aminoácido esencial minimizando esta diferencia. La variable de decisión seleccionada que controla el modelo y asocia a las harinas y sus combinaciones fue la masa de cada harina.

Debido a que el balance de materia de cada aminoácido esencial relaciona la masa y los parámetros de aminoácidos esenciales para posteriormente dividirse entre la cantidad de proteína digerible de la mezcla obtenida a través del balance de materia de proteína digerible

Para poder determinar las formulaciones se utilizaron la siguiente ecuación:

Ecuación de restricción:

$$= \left[ \left( \frac{g \text{ harina}}{100 * g \text{ aa}_1} \right) + \left( \frac{g \text{ harina}}{100 * g \text{ aa}_2} \right) + \dots + \left( \frac{g \text{ harina}}{100 * g \text{ aa}_n} \right) \right] * \frac{1}{g \text{ proteína total}} * 1000 - g \text{ referencia aa}_n$$

Donde:

g aa<sub>n</sub>= gramos de aminoácido esencial

En una hoja de cálculo (Figura 3) se establecieron las celdas de restricción correspondientes a las ecuaciones de los aminoácidos esenciales, así como la función objetivo que corresponde a la cantidad de aminoácidos esenciales y las variables de decisión correspondientes a los gramos de muestra para alimentar el modelo.

Cada columna representa un tipo de harina a utilizar, así como las recomendaciones de aminoácidos, cada fila muestra un parámetro fisicoquímico necesario para el cálculo de los valores nutrimentales del producto y la función objetivo. A su vez se añadió una columna para el score sin linealizar y PDCAAS con el fin de visualizar los resultados a través de las combinaciones del algoritmo.

Para resolver el algoritmo, se utilizó el programa *FrontlineSolvers* para determinar un mínimo local con el fin de establecer una solución óptima para encontrar aquella combinación que se ajustara mejor al modelo.

Tras obtener los gramos de harina se ajustaron a base 100 para establecer la formulación de las harinas en porcentaje (Soto, 2019).

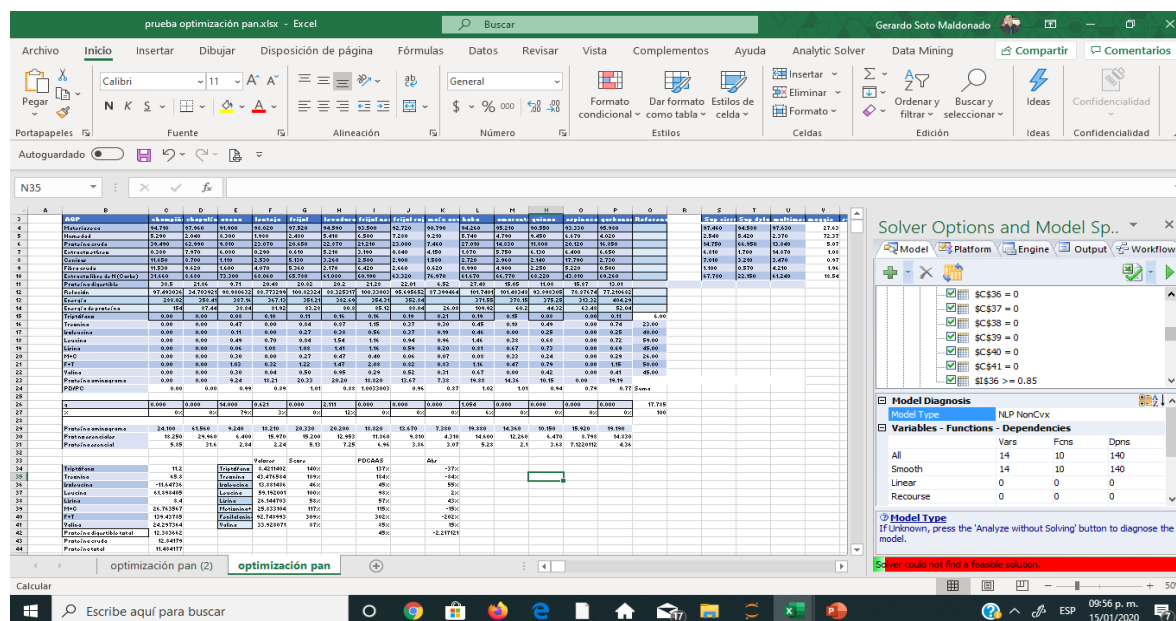


Figura 6. Hoja de cálculo para determinar el PDCAAS de las formulaciones.

Finalmente, para determinar el PDCAAS de cada aminoácido se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

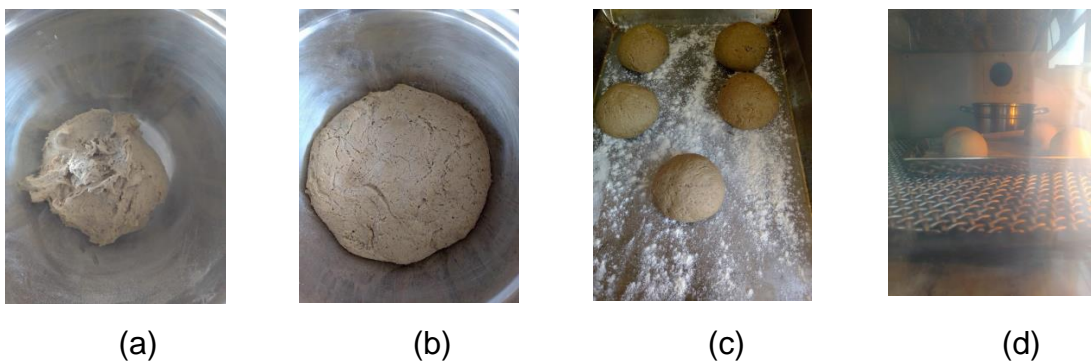
$$PDCAAS = Score aa_n * \frac{g \text{ proteína digerible}}{g \text{ proteína cruda}}$$

### 5.2.9 Pruebas de panificación

Las pruebas de panificación se realizaron en la Facultad de Química en el laboratorio 4B, en dichas pruebas se determinó el tiempo y la fuerza que se debía amasar las formulaciones obtenidas para lograr una consistencia óptima de la masa; inicialmente debido a la falta de una amasadora dichas pruebas se tuvieron que realizar a mano.

En todas las formulaciones obtenidas la porción de trigo a utilizar era adicionada mediante masa madre y harina de trigo. En la masa madre se utilizaron cantidades iguales de agua y harina, 136 g respectivamente, así como 0.14 g de levadura, una vez mezclados los ingredientes se dejó fermentar la masa en un recipiente de vidrio hermético a una temperatura de  $23 \pm 0.5$  °C durante 12, 15 y 20 horas, siendo la más idónea la obtenida al término de 15 horas de fermentación. Una vez transcurridas las 15 horas se mezclaban y amasaban los ingredientes faltantes de acuerdo con la formulación a realizar, el amasado a mano se realizó en tiempos de 10, 13, 15 y 20 minutos siendo el último tiempo el idóneo para obtener la consistencia deseada en la masa, posteriormente se dejó leudar la masa a  $34 \pm 2$  °C con ambiente húmedo en un fermentador para panificación durante 1 hora. Al término del tiempo de leudado, la masa se fraccionó en porciones de 92.5 g cada una y de les dio forma de bollo, acto seguido se realizó un segundo leudado con las mismas condiciones de temperatura, pero durante un tiempo de 20 minutos, para finalmente efectuar su horneado a una temperatura de 165, 180, 200 y 210 °C por 55, 35 y 25 minutos, siendo las condiciones más adecuadas 180 °C por 35 minutos.

En la figura 7 se observan los pasos del proceso de panificación realizado.



**Figura 7.** (a) Mezcla y amasado de los ingredientes, (b) primera fermentación de la masa, (c) formado y segunda fermentación de la masa y (d) horneado de la masa (pan).

### 5.2.10 Pruebas de textura y reología

A las masas obtenidas en cada formulación, incluyendo a la masa madre, se les realizó las pruebas de amplitud, frecuencia y flujo mediante un reómetro de esfuerzo controlado (*Anton Para Physica MCR 101*) a 32 °C para las masas de panificación y a 23 °C para la masa madre, utilizando una configuración plato-plato de 25 mm.

A los panes obtenidos y masas de panificación obtenidas se les realizaron pruebas de textura mediante un texturómetro (*Brookfield, CT3 25*), utilizando la sonda TA25/1000 para los panes y la sonda TA43 para las masas.

### 5.2.11 Cálculo de $G^*$ (Modulo de elasticidad complejo)

Un módulo de elasticidad complejo puede definirse como un tipo de comportamiento que puede ser descrito mediante números complejos; en tal sentido, el esfuerzo o deformación del fluido puede descomponerse en dos componentes, un componente en fase y un componente fuera de fase.

Para calcular  $G^*$  se utiliza la siguiente ecuación:

$$G^* = G' + i G''$$

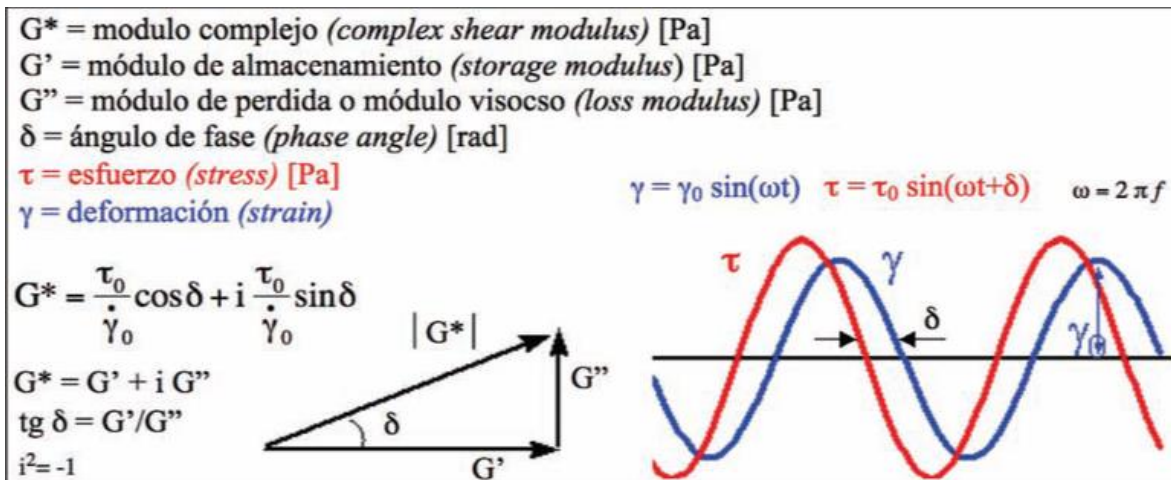
La señal en fase,  $G'$ , se denomina el módulo de almacenamiento (elástico), o energía almacenada por ciclo, y se calcula como

$$G' = \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}_0} \cos \delta$$

La señal fuera de fase,  $G''$ , o módulo de pérdida o módulo viscoso, o energía disipada por ciclo, y se expresa como

$$G'' = \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}_0} \sin \delta$$

Nótese que  $\tan \delta = G''/G'$ .



**Figura 8.** Módulo complejo de cizallamiento (Rojas, et.al. 2012).

### 5.2.12 Diseños de experimentos

Se realizaron dos diseños experimentales multifactoriales para validar tanto las condiciones de elaboración del pan como evaluar el efecto de las leguminosas y *trüb* en la corteza y miga del pan. Se hizo una réplica en cada bloque y un análisis estadístico mediante análisis de varianza (ANOVA) a cuatro vías con un porcentaje de confianza del 95%. Las determinaciones de las caracterizaciones fisicoquímicas, reología y textura fueron por triplicado.

### 5.2.13 Variables y formulaciones

En el cuadro mostrado en la figura 9 se muestra el diseño de formulaciones, tomando como variables las harinas de cereales (avena y trigo), las harinas de leguminosas (lenteja y frijol) y el *trüb*.

Las variables fueron seleccionadas con respecto a su valor de PDCAAS teórico que presentaban en la hoja de cálculo explicada anteriormente, las formulaciones fueron diseñadas de manera que se cumpliera el objetivo de incrementar el PDCAAS del producto final utilizando las harinas de leguminosas y *trüb* además que la percepción sensorial en cuanto a sabor fuera agradable, esto debido a que como lo menciona (Santos, 2019) el *trüb* presenta una nota astringente muy marcada y por la naturaleza de los componentes de la formulación sería complicada un enmascaramiento del sabor a concentraciones muy altas de *trüb*.

#### **5.2.14 Análisis estadístico**

Se realizó una prueba ANOVA de un factor con valor de significancia de 0.05 para determinar si existía diferencia significativa entre las formulaciones respecto a su PDCAAS.



PAN																					
MÉTODO 1.- PRODUCTO ORDINARIO		PRODUCTO ORDINARIO MÉTODO 1		MÉTODO 2.- VALORACIÓN DE INSUMO HARINA DE TRIGO			MÉTODO 3.- VALORACIÓN DE INSUMO HARINA DE AVEENA			MÉTODO 4.- VALORACIÓN DE INSUMO TRÜB			MÉTODO 5.- VALORACIÓN DE INSUMO HARINA LENTEJA			MÉTODO 6.- VALORACIÓN DE INSUMO HARINA FRIOL			MÉTODO 7.- MEZCLA HARINAS (TABLA DE PROPORCIONES)		
Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14							
	Harina trigo 136 g	Harina trigo 60%	Harina trigo 36.87%	Harina trigo 28.33%	Harina trigo 35.87%	Harina trigo 28.33%	Harina trigo 36.7%	Harina trigo 28.33%	Harina trigo 36.87%	Harina trigo 28.33%	Harina trigo 36.87%	Harina trigo 28.33%	Harina trigo 35.87%	Harina trigo 28.33%							
	Agua 156 g	Agua 37.72%	Agua 23.97%	Agua 26.73%	Agua 23.97%	Agua 26.73%	Agua 23.97%	Agua 26.73%	Agua 23.97%	Agua 26.73%	Agua 23.97%	Agua 26.73%	Agua 23.97%	Agua 26.73%							
	Levadura 0.14 g	Sal 1.31%	Sal 1.61%	Sal 1.56%	Sal 1.61%	Sal 1.56%	Sal 1.61%	Sal 1.56%	Sal 1.61%	Sal 1.56%	Sal 1.61%	Sal 1.56%	Sal 1.61%	Sal 1.56%							
	Azete 2.5 g	Azete 0.48%	Azete 0.67%	Azete 0.53%	Azete 0.67%	Azete 0.53%	Azete 0.67%	Azete 0.53%	Azete 0.67%	Azete 0.53%	Azete 0.67%	Azete 0.53%	Azete 0.67%	Azete 0.53%							
	Levadura 1.7 g	Levadura 0.33%	Levadura 0.43%	Levadura 0.42%	Levadura 0.43%	Levadura 0.42%	Levadura 0.43%	Levadura 0.42%	Levadura 0.43%	Levadura 0.42%	Levadura 0.43%	Levadura 0.42%	Levadura 0.43%	Levadura 0.42%							
	Masa molde 277.4 g				Harina avena 21.38%	Harina avena 24.80%	Trüb 6.26%	Trüb 7.12%	Harina lenteja 4.42%	Harina lenteja 5.13%	Harina friol 4.42%	Harina friol 5.13%	Harina avena 21.38%	Harina avena 24.80%							
													Trüb 5.06%	Trüb 7.12%							
													Harina lenteja 4.42%	Harina lenteja 5.13%							
													Harina friol 4.42%	Harina friol 5.13%							

Figura 9. Cuadro de variables de leguminosas y trüb.

## 6 Resultados y discusión

### 6.1 Caracterización de harinas

En las tablas 1 y 2 se presentan las características de humedad, actividad de agua ( $a_w$ ), pH, densidad y solubilidad de las harinas de leguminosas (frijol negro y lenteja), del cereal (avena) y del *trüb*; también en la tabla 2 se presenta la característica de sedimentación del *trüb*.

En cuanto a las harinas el  $a_w$  (con valores entre 0.1 y 0.4) representa el contenido de humedad donde pueden ocurrir reacciones químicas y enzimáticas en alimentos, así como del crecimiento de hongos, levaduras y bacterias; los valores mínimos para el crecimiento de los microorganismos anteriormente mencionados son: 0.80, 0.88 y 0.91 (Badui, 2006) respectivamente, por lo tanto, las harinas obtenidas al presentar valores inferiores se reduce la posibilidad del crecimiento microbiano.

**Tabla 2.** Caracterización fisicoquímica de las harinas de avena, leguminosas y *trüb*

	HUMEDAD (%)	$a_w$	pH	DENSIDAD (g/mL)			SOLUBILIDAD (%)
				Total	Aparente	Compactada	
Frijol negro	1.45	0.1722	6.28	0.8498	0.7321	0.9376	17.009
DE	0.25	0.0170	0.015	0.0149	0.0188	0.0379	0.6138
Lenteja	2.58	0.1425	6.59	0.8661	0.7569	0.8876	15.547
De	0.28	0.0253	0.010	0.0206	0.0141	0.0349	1.4532
Avena	8.59	0.4161	5.45	0.4299	0.2996	0.7753	3.387
De	0.07	0.0038	0.021	0.0194	0.0132	0.0129	0.1721

**Tabla 3.** Caracterización fisicoquímica del *trüb*

	HUMEDAD (%)	$a_w$	pH	DENSIDAD (g/mL)			SOLUBILIDAD (%)	SEDIMENTACIÓN (%)	
				Total	Aparente	Compactada		F1	F2
TRÜB	2.76	0.3740	5.12	0.8284	0.5965	0.8447	41.436	13.444	13.457
DE	0.01	0.0026	0.015	0.0041	0.0008	0.0273	1.5593	0.034	0.049

Con respecto al porcentaje de humedad de las harinas utilizadas (tabla 1) se observa que varía desde 1.45% a 8.59%, dichos valores entran en límite máximo de humedad que indica la NOM-247-SSA1-2008 (SSA, 2008) el cual es del 15%, respecto al *trüb* (Tabla 2) al no existir una normatividad específica para dicho producto se consideró como una harina por lo cual también entra dentro del límite de la norma.

El pH en las harinas y el *trüb* presenta valores entre 5 y 7, lo cual es favorable ya que el pH de la harina influye en la capacidad del gluten para formar una red esponjosa, un pH inferior a 3.4 puede provocar una alteración debido a microorganismos acéticos y butíricos. Para obtener un mayor desarrollo fermentativo y máxima producción de CO<sub>2</sub> en el pan formado, se deben tener valores de pH entre 5 y 6, siendo el mejor entre 5.4 y 5.8; sin embargo, estos valores de pH se logran obtener cuando se utiliza métodos de obtención de pan con fermentaciones largas, como es el caso del método esponja (Sarmiento, 2015).

Los valores de densidad aparente y compactada están relacionados entre sí y son indicativas de que mientras es mayor el volumen que ocupa el polvo, menor será su densidad (Cerezal, et. al, 2011); los valores altos de densidad indican que la granulometría que presentan las harinas es fina (Bressani, et al., 2001).

El porcentaje de solubilidad está relacionado con la cantidad de almidón dañado, este daño fue ocasionado por el tratamiento térmico y el tamaño de partícula; esto explica por qué la alta energía de molienda puede causar fragmentación del almidón y originar dextrinas, las cuales impactan en la cantidad de sólidos solubles (Contreras, et al. 2014)

En relación con los valores obtenidos en el parámetro de sedimentación, corresponden a los porcentajes de *trüb* en suspensión utilizados en las formulaciones 1 y 2 (tabla 9), dichos valores son similares debido a que la densidad de la harina se ve influenciada por su contenido y composición, a menor cantidad

de sólidos solubles en la harina, mayor será su resistencia para sedimentar (Toxtle, 2020).

## 6.2 Pan ordinario y con masa madre

Se elaboró un producto control o pan ordinario (figura 10), cuya formulación contiene masa madre, específicamente una masa madre de tipo II. Este tipo de masa madre se obtiene por una fermentación única de 15 a 20 horas con un posterior almacenaje por largos periodos de tiempo. Este tipo de masa madre es de consistencia líquida y no son adecuadas para leudar, sino que son utilizadas para acidificar y mejorar las propiedades organolépticas del pan.



(a)



(b)

**Figura 10.** Pan elaborado con la formulación control, (a) corteza del pan y (b) miga interna.

**Tabla 4.** Características sensoriales del producto control

FORMULACIÓN	COLOR	AROMA	SABOR	TEXTURA
<b>CONTROL</b>	Amarillo/dorado	Levadura y trigo	Salado y ligeramente dulce	Corteza dura, miga suave

La adición de masa madre aumentó el volumen de gas (CO<sub>2</sub>) retenido y modificó las propiedades organolépticas del producto control (miga y sabor). La masa madre por tanto permite obtener un pan de mayor volumen. Así mismo, la disminución del pH de la masa (acidificación) favorece que el sabor, aroma, textura y vida útil del producto se potencien, ya que comienza un nuevo proceso de fermentación, se

producen nuevos metabolitos ácidos, se favorece la acción de las proteasas y amilasas, la estabilidad de las proteínas y el almidón se reduce y se da lugar a una disminución del endurecimiento del producto final. También durante la fermentación se generan compuestos volátiles y no volátiles los cuales junto con los compuestos generados durante el horneado otorgan sabor y aroma al producto final. (Cortés, 2016)

### 6.3 Formulaciones con leguminosas, sin harina de trigo y trüb

A continuación, se presentan las formulaciones obtenidas (tabla 4) utilizando las harinas de leguminosas, avena y el *trüb*. Estas formulaciones no contienen harina de trigo y fueron obtenidas utilizando un modelo de programación lineal (*FrontlineSolvers*), tomando como función objetivo que el PDCAAS de la formulación 1 (pan ordinario con harina de trigo) se incrementara mediante la adición del *trüb*.

**Tabla 5.** Formulaciones teóricas sin harina de trigo

FORMULACIÓN	AVENA (%)	FRIJOL NEGRO (%)	LENTEJA (%)	HABA (%)	TRÜB (%)	PDCAAS (%)
1	70	15	15	0	0	31
2	58	12	12	0	17	57
3	0	0	16	28	56	69

Sin embargo, se trata de un producto de panificación, por lo que se requiere tener una proporción de harina de trigo que permita la presencia de gluten, el cual es responsable del desarrollo una red viscoelástica, al contener proteínas insolubles en agua (gliadinas y gluteninas), que retiene el aire y contiene los gránulos de almidón favoreciendo la formación de la estructura de la miga (*Sciarini, et al., 2016*). Por lo cual se reformularon las mezclas. En las tablas 6, 7 y 8 se presentan las reformulaciones propuestas en la tabla 4. Además, una proporción de harina de trigo ayuda a enmascarar parcialmente sabores poco agradables al paladar de la población mexicana, provenientes en su mayor parte del *trüb*. En las

reformulaciones, se buscó como función objetivo, incrementar el PDCAAS obtenido al utilizar sólo harina de trigo (tabla 4).

**Tabla 6.** Formulación control con harina para panificación

FORMULACIÓN	TRIGO (%)	PDCAAS (%)
CONTROL	100	33

**Tabla 7.** Formulaciones de panificación con sustitución de harina de trigo por leguminosas

Sustitución (%)	10	20	30	40	50	60
Lenteja (%)	1.5	3	4.5	6	7.5	9
Frijol (%)	1.5	3	4.5	6	7.5	9
Avena (%)	7	14	21	28	35	42
Trigo (%)	90	80	70	60	50	40
<b>PDCAAS (%)</b>	37	41	44	48	52	55

**Tabla 8.** Formulaciones de panificación con sustitución de harina de trigo por avena, frijol, lenteja y trüb

Sustitución (%)	10	20	30	40	50	60
Lenteja (%)	1.2	2.4	3.6	4.8	6	7.2
Frijol (%)	1.2	2.4	3.6	4.8	6	7.2
Avena (%)	5.8	11.6	17.4	23.2	29	34.8
<i>Trüb</i> (%)	1.7	3.4	5.1	6.8	8.5	10.2
Trigo (%)	90	80	70	60	50	40
<b>PDCAAS (%)</b>	37	40	43	46	49	52

**Tabla 9.** Formulaciones de panificación con sustitución de harina de trigo por lenteja, haba y trüb

Sustitución (%)	10	20	30	40	50	60
Lenteja (%)	1.6	3.2	4.8	6.4	8	9.6
Haba (%)	2.8	5.6	8.4	11.2	14	16.8
Trüb (%)	5.6	11.2	16.8	22.4	28	33.6
Trigo (%)	90	80	70	60	50	40
<b>PDCAAS (%)</b>	40	45	50	54	57	61

Al reformular las mezclas presentadas en la tabla 3, se obtiene lo que la FAO denomina harina compuesta; que son aquellas mezclas elaboradas para producir alimentos a base de trigo, como pan, pastas y galletas. Estas harinas pueden prepararse a base de otros cereales diferentes al trigo o de otras fuentes de origen vegetal, y pueden o no contener harina de trigo. Las condiciones generales de procesamiento y el producto final obtenido pueden ser comparables a los elaborados solo de trigo, pero también pueden presentar diferencias, entre ellas las características reológicas.

#### 6.4 Pruebas de panificación

En la tabla 9 se presentan las formulaciones utilizadas para elaborar el pan. Se tomaron como base las proporciones de la tabla 4, con porcentaje de sustitución de harina de trigo de 50 y 60%.

**Tabla 10.** Formulaciones para panificación

	TRIGO (%)	AVENA (%)	TRÜB (%)	LENTEJA (%)	FRIJOL NEGRO (%)	AGUA (%)	SAL (%)	ACEITE (%)	LEVADURA (%)
<b>CONTROL</b>	60	0	0	0	0	37.72	1.31	0.49	0.35
<b>FORMULACIÓN 1</b>	36.87	21.38	6.26	4.42	4.42	23.97	1.61	0.60	0.43
<b>FORMULACIÓN 2</b>	28.50	24.80	7.12	5.13	5.13	26.73	1.56	0.58	0.42

Estas formulaciones implican incorporar *trüb* en una proporción hasta 10%. Pruebas preliminares demostraron que una proporción mayor a 10% provocaban que el sabor del producto final fuese desagradable al paladar.

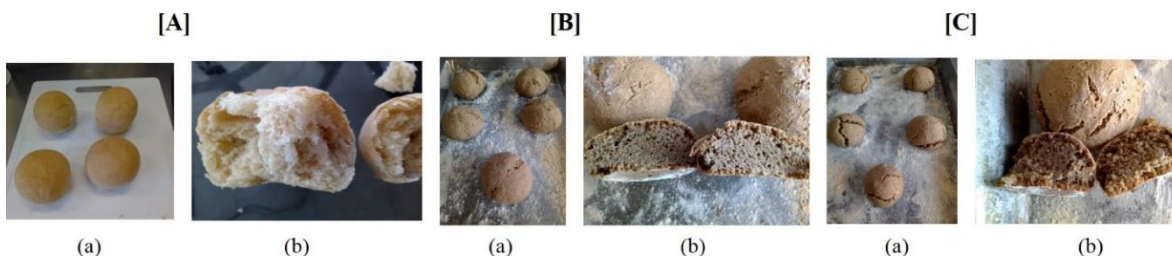
### **6.5 Elaboración de pan**

En la figura 4 se observan los pasos del proceso de panificación realizado. Se realizó inicialmente un proceso para definir temperatura/tiempo de horneado, tamaño de producto, establecer una forma estandarizada de realizar el pan. Se establecieron condiciones de masa madre de 15 h. Se establecieron condiciones de horneado de 180°/35 min. Se determinó hacer piezas de forma redonda y 90 g cada una.

De acuerdo con (*Vázquez, et al., 2017*) la proporción que se puede sustituir la harina de trigo por harina de avena en un producto de panificación es 10 % máximo, debido a que en mayor proporción la harina de avena provoca un “apelmazamiento” del producto, ocasionado por un descenso en la fuerza de la masa; en cuanto a la harina de frijol esta puede sustituir un máximo de 9.6% de harina de trigo, ya que al presentar una mayor cantidad de fibra dietética permite una mayor retención de agua lo cual ocasiona que disminuya la estabilidad y aumente el debilitamiento de la masa conforme aumente la proporción sustituida de harina de trigo (*Álvarez, et al., 2016*); respecto a la harina de lenteja esta puede sustituir hasta un 10% de harina de trigo debido a que disminuye la actividad  $\alpha$  amilásica provocando con esto una afectación en los parámetros de capacidad de retención de gas (tenacidad, extensibilidad y fuerza) debido a la ausencia de gliadinas, dificultando con ello la formación de gluten (*Aguilar, et al., 2011*).

En la figura 11 se observan las características culinarias (corteza externa y miga interna) de las formulaciones de la tabla 9.





**Figura 11.** Características culinarias del pan elaborado con las formulaciones de la tabla 9: [A] harina de trigo (control), [B] *trüb* 6.2 %, [C] *trüb* 7.1%; (a) corteza del pan y (b) miga interna.

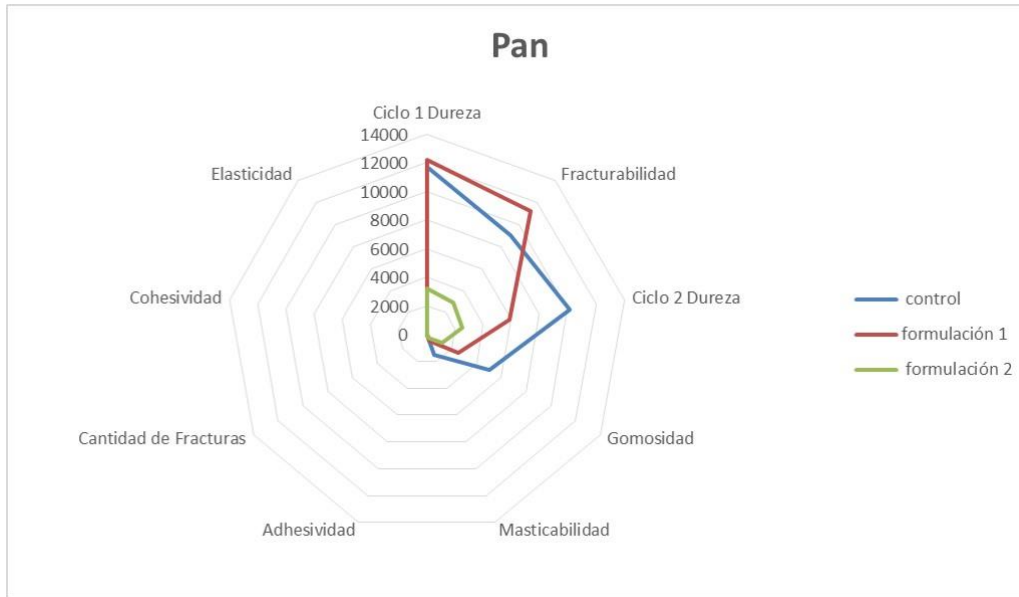
## 6.6 Características sensoriales

**Tabla 11.** Características sensoriales de los productos de panificación utilizando harinas de leguminosas, cereales y *trüb*.

FORMULACIÓN	COLOR	AROMA	SABOR	TEXTURA
1	Beige oscuro	Tostado, levadura de cerveza	Salado, ligeramente astringente.	Corteza dura, miga apelmazada
2	Beige oscuro	Tostado, levadura de cerveza	Salado, ligeramente astringente	Corteza dura, miga apelmazada

## 6.7 Perfil de textura

En la figura 12 se presenta el perfil de textura del pan elaborado con las formulaciones de la tabla 9. La textura es la manifestación sensorial de las propiedades estructurales, mecánicas y de superficie de los alimentos, determina la calidad del producto final y determina el contenido de humedad y se le asocia con la retrogradación del almidón una vez que se gelatiniza en la cocción. En este caso, la proporción de leguminosas influye fuertemente en la interacción entre los gránulos del almidón, lo cual puede relacionarse con el contenido de humedad del pan, ya que a mayor humedad se obtienen mejores características.

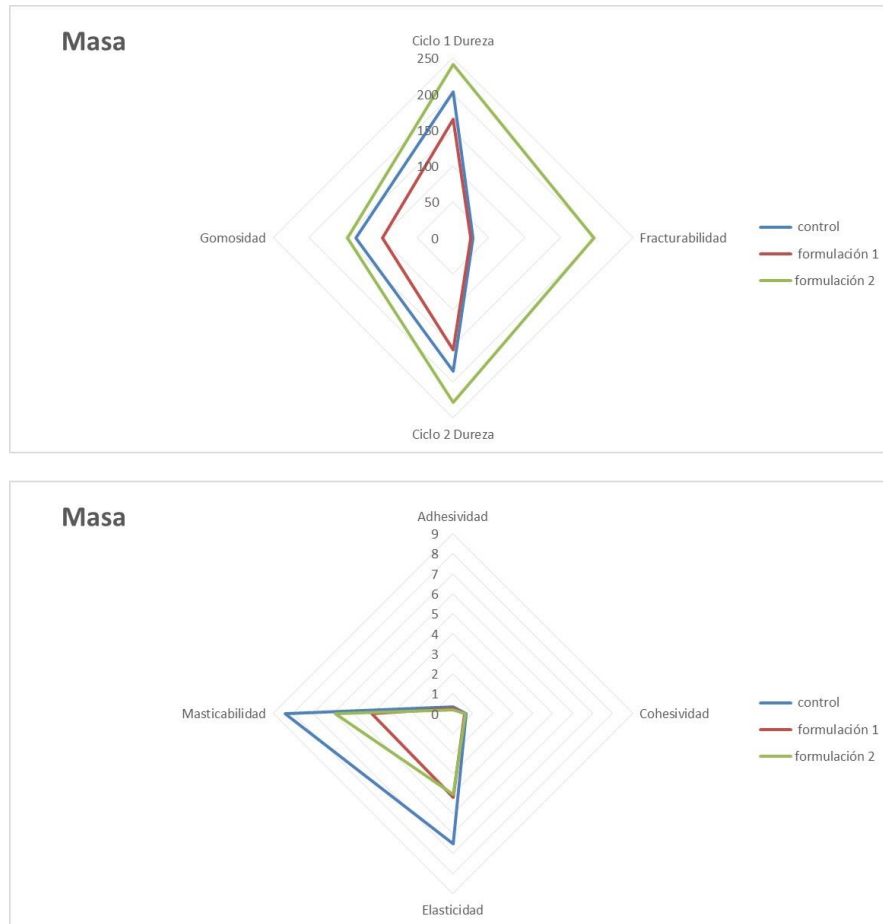


**Figura 12.** Perfil de textura del pan elaborado con las formulaciones de la tabla 9.

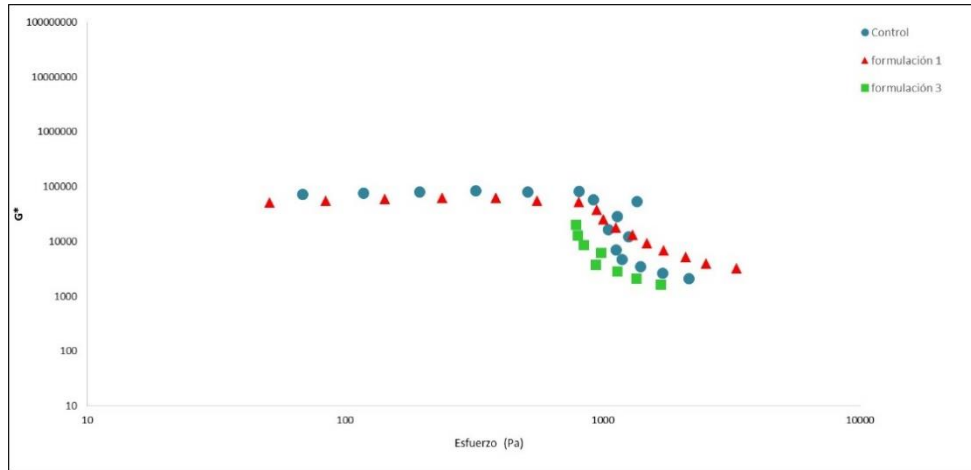
Como se observa en la figura 11, los panes obtenidos con las formulaciones 1 y 2 presentan agrietamiento en la corteza, en contraste con el pan obtenido con la formulaci3n control, el cual presenta una corteza uniforme, esto se debe a una falta de agua en la formulaci3n. La presencia de las leguminosas resulta en panes m1s duros, menos el1sticos, aunque son cohesivos y gomosos, e igual de masticables que el pan de trigo 100%. Se obtienen cortezas dif1ciles de romper, pero se recuperan con rapidez de la deformaci3n como un producto semiblando, adem1s el tiempo o las masticaciones necesarias para desintegrarse y ser deglutida es mayor al del pan ordinario.

En la figura 13 se presenta el perfil de textura de las masas y en la figura 14, el m3dulo complejo, el cual es la medida de la resistencia que presenta la masa a la deformaci3n. En este caso, es importante resaltar que el m3dulo el1stico es mucho mayor que el m3dulo viscoso y la masa se comporta como s3lido, es decir, la deformaci3n ser1 mucho m1s el1stica y recuperable. Las masas presentan valores altos de  $G^*$ , lo que implica rigidez viscoel1stica y la formaci3n de geles r1gidos y

fuertes. Las masas de trigo y formulación 1 son similares a bajos esfuerzos mecánicos mientras que la formulación 3 fue muy errática. Al aumentar el esfuerzo de deformación (trabajo mecánico de amasado), las masas cambian su estructura. La interacción de las leguminosas y el *trüb* con las partículas de gluten forman un coloide sumamente complejo pero estable, aunque la capacidad de retención de agua es mermada.



**Figura 13.** Perfil de textura de las masas de panificación con las formulaciones de la tabla 9.



**Figura 14.** Módulo complejo de las masas de panificación con las formulaciones de la tabla 9.

En este caso, la formulación 3, con un contenido mayor de *trüb* y de frijol hace que sea menos fuerte la red que las otras. La formulación 2 presenta una estructura más estable, por lo que se necesita un mayor esfuerzo para modificar su estructura. Esto se observa en la apariencia de la miga. En los panes elaborados con la formulación 1 y 2 se observa “apelmazada” o cerrada con respecto a la miga del pan control. Esto fue ocasionado por una falta de trabajo mecánico (amasado), ya que las propiedades mecánicas de las masas son el resultado de una adecuada proporción de agua y harina (Bot, 2008).

El volumen del pan depende del tipo de harina utilizada en su elaboración, en general las harinas muy flojas, con escasa capacidad de retención de gas producen panes aplanados y muy densos. Por el contrario, las harinas excesivamente fuertes y tenaces no son capaces de expandirse, son difícilmente mecanizables y producen panes redondos, pero con poco volumen (Gómez, et.al. 2007); que tal y como se observa en la figura 11 en el inciso [A] correspondiente al pan control, muestra las características de un pan obtenido con una harina muy fuerte.

En harinas compuestas de trigo y avena, la calidad reológica de las masas panaderas varía en función de la cantidad de avena introducida en la fórmula. El desarrollo de la masa, la fuerza, la capacidad de retención de agua y el volumen disminuyen, mientras que la tolerancia al amasado, la capacidad de absorción de

agua y la estabilidad al amasado aumentan con la cantidad de avena añadida a la mezcla (Collar, 2007).

De acuerdo con (Aguilera, 2009), las lentejas y judías (frijoles) presentan una mayor capacidad de retención de agua respecto a otras leguminosas esto puede deberse a su diferente estructura proteica y la presencia de diferentes carbohidratos hidrofílicos. El aumento en la capacidad de retención de agua puede ser debido a la disociación de la proteína, lo que provoca que un mayor número de moléculas de agua se una a los restos polares de las cadenas polipeptídicas; además de las proteínas, existen otros componentes no proteicos como los carbohidratos, que aumentan esta capacidad, tales como el almidón que se gelatiniza y la fibra alimentaria que absorbe agua. La inhibición de agua es una propiedad tecnofuncional muy importante en la preparación de alimentos tales como salchichas, salsas y masas. En estos alimentos las proteínas retienen agua, pero no se disuelven debido a la insuficiente cantidad de agua. Por lo tanto, pueden gelificar e impartir características tales como dar consistencia a la matriz del alimento y espesar.

Considerando esto, la cantidad de harina de lenteja, frijol y avena adicionada a cada formulación ocasiona que la miga que se observa en los panes obtenidos en ambas formulaciones tenga una consistencia gomosa y apelmazada, además de un menor volumen debido a que por la cantidad de carbohidratos y proteínas proveen a la masa una alta capacidad de retención de agua.

Aunado a esto, la fermentación de la masa se da por acción de la levadura adicionada a la masa, en donde se crean las condiciones adecuadas para que salga del estado de latencia y se vuelva activa. En la fermentación de la masa, la levadura consume rápidamente el oxígeno generándose condiciones anaeróbicas, y así mismo se produce poco crecimiento de levadura. Al producirse el dióxido de carbono en la fase acuosa, el pH desciende y la fase acuosa se satura de dióxido de carbono. Una vez saturada el agua, el dióxido de carbono en exceso entra en las burbujas de aire preexistentes, y aumenta la presión. Dada las propiedades

viscoelásticas de la masa, la celda de gas se expande para equilibrar la presión; es así como el volumen total de la masa aumenta, generando el sistema de esponja.

El gas producido durante el proceso de panificación depende principalmente del tiempo de fermentación, características y cantidad de levadura. La cantidad de gas retenido depende principalmente de las condiciones del proceso y de los ingredientes; sin embargo, existen otros factores que pueden afectar la interacción entre la producción y retención de gas (Conde, 2014).

Con respecto a los resultados observados en los panes obtenidos en la formulación 1 y 2, el factor que pudo afectar la fermentación y por ende el volumen de la masa principalmente sería el que la masa presentará un alto contenido en fibra proveniente de las harinas de avena, leguminosas y trub ya que reduce la retención de gas y la tolerancia, debido a que la fibra interfiere en la estructura de gluten (Conde, 2014); al afectar la estructura del gluten y junto con la propiedad de las harinas de leguminosa (frijol y lenteja) de generar geles rígidos y fuertes mostrada en la figura 14, se favorecería la coalescencia de las celdas de gas obtenidas durante la fermentación, dicha coalescencia es promovida por una repulsión débil entre las gotas o celdas de gas, una baja tensión superficial y un diámetro de celda grande (Hayman et al. 1998) dando como resultado una pérdida de gas, un volumen pequeño y por ende un pan de miga gruesa.

Cuando la masa está en el horno, se producen una serie de reacciones tanto físicas como químicas, que desembocan en la formación del pan. La corteza se empieza a formar cuando cede la migración del agua del interior de la masa hacia el exterior. Mientras la superficie de la masa recibe humedad no se forma la corteza, pero pasados unos minutos, y en función del tamaño y tipo de panes, del vapor inyectado y de la temperatura de cocción, dicha superficie se seca y consecuentemente aumenta su temperatura. A partir de los 130°C, los azúcares provenientes de la actividad enzimática y concretamente las dextrinas y la maltosa, empiezan a caramelizarse (es el llamado proceso de dextrinización) y a dar color a la corteza. A medida que la temperatura en la superficie del pan aumenta lo hace también la caramelización y de ahí se forman los aromas y el sabor particular de la corteza. En

el transcurso de la cocción la corteza pierde cada vez más humedad, aumentando el secado y su dureza, que depende en buena medida de la coagulación del gluten contenido por la masa (Flecha, 2015).

En los panes obtenidos de las formulaciones 1 y 2, se observa que la corteza es muy gruesa y sin brillo, esto se debe a un defecto de vapor y una baja humedad en la masa al momento de hornear lo cual causa una resequedad excesiva dando como resultado el agrietamiento de la corteza; además este efecto de corteza gruesa se debe también a un amasado deficiente debido a la falta de homogeneidad en la masa provocando una menor extensibilidad en la masa. Respecto al color de la miga este se debe al uso de las harinas de leguminosas y trub, en donde a mayor proporción de trub ocasionó que la miga presentará un color más oscuro.

Aunque no se realizaron pruebas de consumidor y preferencia, el perfil de sabor que presentaban ambas formulaciones era con tendencia a ser salado y ligeramente astringente en cuanto a aroma presentaba ligeras notas caramelizadas y una nota muy marcada a levadura de cerveza proveniente del *trüb*.

## 6.8 Análisis estadístico

**Tabla 12.** Análisis de varianza entre las formulaciones 1 y 2.

<b>ORIGEN DE LAS VARIACIONES</b>	<b>SUMA DE CUADRADOS</b>	<b>GRADOS DE LIBERTAD</b>	<b>PROMEDIO DE LOS CUADRADOS</b>	<b>F</b>	<b>PROBABILIDAD</b>	<b>VALOR CRÍTICO PARA F</b>
<b>ENTRE GRUPOS</b>	1919.3161	1	1919.3161	788.25	0.00126622	18.51282
<b>DENTRO DE LOS GRUPOS</b>	4.8698	2	2.4349	2536		05
<b>TOTAL</b>	1924.1859	3				

Para el análisis estadístico se propuso como hipótesis nula que, si existía diferencia significativa entre las formulaciones respecto a su valor de PDCAAS, como hipótesis alternativa se propuso que no existía diferencia significativa entre las formulaciones respecto a su valor de PDCAAS.

De acuerdo con el valor F obtenido en la prueba se observa que es mayor que el obtenido para valor crítico para F el cual corresponde al reportado en tablas, lo cual indica que, si existe diferencia significativa entre las formulaciones respecto a su valor de PDCAAS, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

Los suplementos alimenticios constituyen un mercado que en la población mexicana está muy extendido, que en 2013 generó más de 10.6 mil millones de pesos, y aunque muchas personas consumen estos productos, ¿realmente estamos seguros de lo que contienen? ¿qué hay de su seguridad y eficacia? (Castellanos y Castellanos, 2020). En los últimos años la búsqueda de un mejor estado nutricional posible, y con ello, de salud, ha sido el motivo de la industria para colocar en el mercado productos dedicados a cubrir esas demandas, dentro de los cuales entran los suplementos alimenticios. La existencia de estos productos se basa en dos factores primordiales: la prevención de algunas enfermedades crónicas no transmisibles y el incremento de la calidad de vida del individuo que lo consume. Sin embargo, en muchas ocasiones no existe información sólida, sustentada en evidencia científica, del uso y beneficio que tales productos pueden traer para la salud del consumidor. Por otra parte, las regulaciones existentes sobre la evaluación y el registro de tales productos difieren de país a país, evidencia de que no existe un consenso sobre tales aspectos, por lo que en ocasiones la línea divisoria entre medicamento y alimento se hace borrosa. Muchos cuerpos reguladores han señalado además la posibilidad siempre latente del engaño al consumidor con reclamos de salud alejados de la realidad científica, ante los huecos legales detectados (García, 2013).

Existen algunos aspectos asociados al consumo excesivo de estos productos, los cuales podrían ciertos riesgos a la salud siendo estos: sobredosis, retraso en cuidados médicos, alergias y precauciones; los cuales se podrían mitigar mediante



información clara y completa de los ingredientes, dosis recomendada por edad y género, e interacciones del producto con otros suplementos o medicamentos. En este sentido se debe observar las estrategias internacionales en la información sobre la salud de estos productos, por ejemplo, la Unión Europea y Estados Unidos se tiene una lista de las sustancias permitidas, dosis indicadas y mensajes de beneficio a la salud aprobados que los productores pueden usar; adoptar un mecanismo similar en México, a través de una norma de suplementos alimenticios ayudaría a los consumidores a la vez que mitigaría los riesgos de consumo.

La legislación mexicana reconoce el valor nutrimental de estos productos, al definir que su “finalidad de uso sea el incrementar la ingesta dietética total...”. Por otro lado, no observa en estos un riesgo mayor por lo cual incluye a los suplementos alimenticios dentro de la norma de alimentos y bebidas no alcohólicas -productos y servicios-, lo cual los exime de registros sanitarios en el ámbito del control sanitario de los insumos para la salud la propia ley. De igual manera, la definición legal de los suplementos alimenticios resulta insuficiente en cuanto a las necesidades actuales del mercado derivadas del uso de nuevas tecnologías aplicadas al origen, modalidad y finalidad de uso de estos productos. Lo anterior puede incidir, en ciertos casos, en decisiones regulatorias discrecionales o en prácticas industriales o comerciales inadecuadas que perjudiquen a los consumidores; esta deficiencia en la definición permite que productos milagro disfruten de impunidad, ante confusión de reguladores y consumidores. Esto propiciado también por una publicidad engañosa.

Esta regulación es perfectible y con los cambios adecuados, los consumidores podrían contar con más información y elementos para maximizar el empleo de alimentos, en general, y de suplementos alimenticios en particular (Central ciudadano y consumidor, 2015).

Como se puede observar el uso de harinas de leguminosa y cereal así como integración de *trüb* en una formulación permite obtener productos con mayor valor biológico, con lo cual se abre una opción para el tratamiento de la malnutrición en la población utilizándolo como suplemento alimenticio, el cual al no contener

productos de origen animal permite desarrollar productos basados en plantas, tendencia que ha ido tomando una mayor popularidad debido al impacto que ha tenido la pandemia de COVID-19 en la sociedad. Aunado a esto, la salud del planeta se ha convertido en una tendencia creciente en donde la sostenibilidad se ha vuelto un tema muy importante en los alimentos y ha orillado a los consumidores a realizar cambios en sus dietas para promover su salud a largo plazo y reducir su impacto en el planeta dando con esto un aumento en la adquisición de alimentos de origen vegetal. Dado que la sostenibilidad ambiental fomenta el reducir el desperdicio de alimentos, mejorar la conservación del agua, implementar la agricultura regenerativa, dietas saludables, variadas y sostenibles e informes de sostenibilidad más transparentes (*The FoodTech, 2022*); el utilizar un subproducto considerado como desecho como es el *trüb* permite fomentar esta tendencia, además de mejorar considerablemente el valor biológico de un producto diseñado para consumo inmediato.

## 7 Conclusiones

El uso de un método de programación lineal permitió la obtención de formulaciones que satisficieron la función objetivo (PDCAAS) al incrementar respecto al PDCAAS obtenido utilizando solo harina de trigo.

Al adicionar *trüb* como complemento proteico en una proporción de 8 a 10 % en una formulación de harina para panificación, su PDCAAS aumenta entre 16 a 19 % con respecto a una harina compuesta sólo por harina de trigo.

Fue posible elaborar productos listos para su consumo a partir de formulaciones con alto contenido de proteína vegetal (harinas de leguminosas y cereales) que satisfacen un mayor PDCAAS.

El uso de un subproducto considerado desecho como es el *trüb* permite mejorar el valor biológico de un producto de panificación obteniendo buenos resultados.

El uso de harinas de leguminosas, avena y *trüb* proporciona una gran cantidad de fibra a la masa lo cual favorece una pérdida de la capacidad de retención de gas, otorgando productos de pequeño volumen y miga compacta.

De acuerdo con el análisis de TPA el uso de harinas de leguminosas, avena y *trüb* favorecen la obtención de un coloide rígido pero estable, sin embargo, se afecta la capacidad de retención de agua.

De acuerdo con el análisis estadístico, los productos si presentan diferencia significativa con respecto a su PDCAAS.

El presente trabajo abre la posibilidad de aplicación en otros alimentos o bebidas al aprovechar subproductos para incrementar el valor biológico de productos diseñados para consumo inmediato, impactando en aspectos económicos y ambientales.

## 8 Perspectivas

Realizar pruebas sensoriales y de preferencia a los productos obtenidos.

Realizar pruebas de amasado e hidratación en las masas para determinar la cantidad de agua adecuada que permita un desarrollo adecuado de la masa durante la fermentación.

Llevar a cabo la elaboración de los productos de panificación utilizando harina de haba, para determinar si favorece el enmascaramiento del perfil de sabor del *trüb*, así como determinar si permite una mejor textura en el producto final.

Realizar análisis microbiológicos a los productos de panificación, así como un estudio de vida de anaquel para determinar las condiciones de almacenamiento y tiempo de consumo del producto.

Generar formulaciones que permitan un mejor comportamiento de la masa durante la fermentación utilizando harinas de leguminosas, avena y *trüb*, cumpliendo con el objetivo de obtener un elevado PDCAAS.

Determinar el efecto en la masa por una parte la harina de avena y por otra parte de cada una de las harinas de leguminosa y *trüb*, para compararlos y con esto poder tener un diseño de formulaciones que favorezcan la obtención de productos con mejores características físicas y organolépticas.

Realizar un mejor procesamiento (refinación) del *trüb* de modo que su adición disminuya el efecto negativo en la interacción que presenta con la masa.

Efectuar un análisis químico proximal, para determinar el contenido nutrimental del producto final y con esto dar paso a la posibilidad de clasificar el producto como un suplemento alimenticio destinado a complementar el tratamiento de pacientes con mal nutrición.

## 9 Referencias

- Abad, P. y Espinoza, B. 2018. *Aplicación de ingredientes veganos en la elaboración de cremas frías básicas de la repostería*. Tesis de licenciatura. Universidad de la Cuenca.
- Aguilar, J., Esparza, J., Meza, J., Candelas, M., Aguilera, M. y Ramírez, P. 2011. *Efecto de la harina de lenteja (*Lens culinaris*) sobre las propiedades reológicas y de panificación de la harina de trigo*. *Ciencia@UAQ*, 4(2), 4-9.
- Aguilera, Y. 2009. *Harinas de leguminosas deshidratadas: Caracterización nutricional y valoración de sus propiedades techno-funcionales*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- Álvarez, M., Ochoa, M., Hernández, G., Nuñez, M., Rosas, B. y Gutiérrez, E. 2016. *Empleo de harina de frijol blanco en panificación*. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 26(1), 22-27.
- Aranceta, J., Blay, G., Echeverría, F., Gil, I., Hernández, M., Iglesias, J. y Díaz, M. 2011. *Guía de Buena Práctica Clínica en Alimentos Funcionales*. Madrid: International Marketing & Communication, S. A.
- Ashwell, M. 2002. *Conceptos sobre los alimentos funcionales*. Bélgica: ILSI Europe.
- Badui, S. 2006. *Química de los alimentos*. Cuarta edición. Ciudad de México: Pearson Educación.
- Bot, R. 2008. *Estudio del efecto de acciones químicas y biológicas sobre la masa panaria*. Tesis de maestría. Universidad Nacional del Litoral.
- Bressani, R., C. Turcios, J., Reyes, L. y Mérida, R. 2001. *Caracterización física y química de harinas industriales nixtamalizadas de maíz de consumo humano en América Central*. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 51(3), 309-313.
- Castellanos, A. y Castellanos, A. 2020. *Suplementos alimenticios: entre la necesidad y consumismo*. *Ciencia*, 71(3), 7-12.
- Central Ciudadano y Consumidor. 2015. *El mercado de los suplementos alimenticios en México. Regulación, competencia y política social*. México: Autor

- Cerezal, P., Urtuvia, V., Ramírez, V y Arcos, R. 2011. *Desarrollo de producto sobre la base de harinas de cereales y leguminosa para niños celíacos entre 6 y 24 meses; II: Propiedades de las mezclas*. *Nutrición hospitalaria*, 26(1), 161-169.
- COFEPRIS. 2016. *Marco jurídico para suplementos alimenticios*. [En línea] (Actualización 31 de agosto de 2016). Disponible en: <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/marco-juridico-para-suplementos-alimenticios> [Ultimo acceso el 15 de mayo de 2016).
- Conde, D. 2014. *Estudio de la fermentación en panes funcionales, reducidos en grasas, carbohidratos y sal*. Tesis de maestría. Universidad Tecnológica Nacional.
- Collar, C .2007. *Cereales menores: avena, sorgo y mijo*. En A. Edel León y C. M Rosell (Eds.), *De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica* (pp 17-72). Alberto Edel León – Cristina M. Rosell Editores. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/17118/1/libro%20panificacion-2007.pdf>
- Contreras, B., Morales, E., Reyes, M. y Gaytán, M. 2014. *Propiedades funcionales de harinas de maíz nixtamalizado obtenidas por extrusión a baja temperatura*. *CyTA- Journal of food*, 12(3), 263-270.
- Corrêa Nazareth, T., Planas, C., Maass, D., Ulson, A., y Ulson S. 2021. *Bioconversion of low-cost brewery waste to biosurfactant: An improvement of surfactin production by culture medium optimization*. *Biochemical Engineering Journal*, 172 (2021), 108058.
- Cortés, A. 2016. *Impacto de la microbiota en las características de panes elaborados con masas madre*. Tesis de licenciatura. Universidad Zaragoza.
- De Barros, R., Vilela, S. y Alvarenga, D. 2014. *Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil*, 101, 524-532.
- Dos Santos, T., Moretzsohn, P. y Camporese, E. (2014). *Solid wastes in brewing process: A review*. *Journal of brewing and distilling*, 5(1), 1-9.
- Eastman, J. y Moore, C. 1984. *Cold water soluble granular starch for gelled food compositions*. U.S. patent 4, 465, 702.

- FAO y FINUT. 2017. *Evaluación de la calidad de la proteína de la dieta en la nutrición humana. Consulta de expertos*. Granada: FAO
- Fernández, A., Martínez, R., Carrasco, E. y Palma, A. (2017). *Impacto social y económico de la doble carga de la malnutrición. Modelo de análisis y estudio piloto en Chile, el Ecuador y México*. Santiago: Naciones Unidas.
- Flecha, M. 2015. *Procesos y técnicas de panificación*. URL: [https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-05-26\\_11-46-57140882.pdf](https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-05-26_11-46-57140882.pdf). [Último acceso: 20 de marzo de 2022].
- Forbes Staff. (Julio, 2018). *20% de los mexicanos ya son vegetarianos o veganos*. [versión electrónica]. Forbes México. URL: <https://www.forbes.com.mx/20-de-los-mexicanos-ya-son-vegetarianos-o-veganos/> [Último acceso: 20 de julio de 2021].
- Gimeno, M. 2012. *Mejora de las características tecnológicas y de los perfiles sensorial y nutricional de un producto de panificación mediante la formulación con aceite de oliva virgen*. Tesis doctoral. Universidad de Lleida.
- García, D. 2013. *Análisis comparativo de la regulación sanitaria de suplementos alimenticios entre México, Estados Unidos de Norteamérica y la Unión europea*. Tesis de Licenciatura. UNAM.
- Gómez, C., Cantón, A, Luengo, L y Oliveira, G. 2010. *Eficacia, coste-efectividad y efectos sobre la calidad de vida de la suplementación nutricional*. *Nutrición Hospitalaria*, 25(5), 781-792.
- Gómez, N., Edel, A. y M. Rosell, C. 2007. *Trigo*. En A. Edel León y C. M Rosell (Eds.), *De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica* (pp 17-72). Alberto Edel León – Cristina M. Rosell Editores. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/17118/1/libro%20panificacion-2007.pdf>
- González, L., Téllez, A., G. Sampedro, J. y Nájera, H. 2007. *Las proteínas en la nutrición*. *Revista Salud Pública y Nutrición*. 8(2). <https://respyn.uanl.mx/index.php/respyn/article/view/189>

- González, N. 2018. *Desarrollo de botanas formuladas con mezcla de cereales-leguminosas y la propuesta del diseño de la planta procesadora*. Tesis de Ingeniería. UNAM.
- Güemes, N., Totosaus, A., Hernández, J., Soto, S. y Aquino, E. 2009. *Propiedades de textura de masa y pan dulce tipo "concha" fortificados con proteínas de suero de leche*. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 29(1), 70-75.
- Hayman, A., Sipes, K., Hosney, RC. y Faubion, JM. 1998. *Factors controlling gas cell failure in bread dough*. *Cereal Chemistry*. 75(5), 585–589.
- Johnson-Stoklossa, C. y Atwal, S. 2013. *Nutrition Care for Patients with Weight Regain after Bariatric Surgery*. *Gastroenterology Research and Practice*, 2013, 256145. <https://doi.org/10.1155/2013/256145>
- Lancetti, R. 2017. *Desarrollo de masas madre y evaluación de propiedades reológicas y tecnológicas de panificados*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de Córdoba.
- Magaña, E., Ramírez, B., Torres, P., Sánchez, D. y López, J. 2011. *Efecto del contenido de proteína, grasa y levadura en las propiedades viscoelásticas de la masa y la calidad de pan tipo francés*. *Interciencia*. 36(4), 248-255.
- Mattioli, S., Castellini, C., Mancini, S., Roscini, V., Cartoni, A., Cotozzolo, E., Pauselli, M., y Dal Bosco, A. 2020. *Effect of trub and/or linseed dietary supplementation on in vivo oxidative status and some quality traits of rabbit meat*. *Meat Science*, 163 (2020), 1080061.
- Montero, K., Moreno, R., Molina, E., Segundo, M. y Sánchez, B. 2015. *Evaluación de panes enriquecidos con amaranto para regímenes dietéticos* [versión electrónica]. *Interciencia*, 40(7), 473-478.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba.



- Organización Mundial de la Salud. 2020. *Malnutrición*. [En línea]. (Actualizado al 1 de abril de 2020). Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/malnutrition> [Último acceso el 15 de mayo de 2020).
- Pérez, M., Temiño, R., Fernández, M. y Calvo, M. 2008. *Síndrome de malabsorción intestinal (1)*. *Medicine – Programa de Formación Médica Continuada Acreditado*, 10(4), 197-206.
- Quezada, N. 2011. *Clasificación de la calidad sensorial de un pan tipo hallulla mediante visión computacional*. Tesis de Ingeniería. Universidad de Chile.
- Quitral, V., Reyes, M., Albornoz, D. y Pinheiro, A. 2015. *Efecto del contenido de sal en la calidad sensorial de pan*. *Revista chilena de nutrición*, 42(3), 291-296.
- Ramírez, M. 2013. *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas, nutricionales y sensoriales de una mezcla de harina de maíz y harina de soya enriquecida con afrecho cervecero para el diseño del proceso de elaboración de barras energéticas*. Tesis de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Rojas, O., Briceño, M. y Avendaño, J. 2012. *Fundamentos de reología*. Mérida-Venezuela: Universidad de los Andes.
- Rojas, Z. 2014. *Desarrollo de un producto funcional de panificación con efecto hipocolesterolémico adicionado con avena y quitosán*. Tesis de Ingeniería. UNAM.
- Santos, I. 2019. *Propuestas para el aprovechamiento del trüb obtenido del proceso cervecero en productos de confitería*. Tesis de licenciatura. UNAM.
- Sarmiento, Y. 2015. *Estudio de la sustitución parcial de la harina de trigo por la harina de amaranto crudo y tostado en la elaboración de pan*. Tesis de Ingeniería. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Sciarini, L., Steffolani, M. y León, A. 2016. *El rol del gluten en la panificación y el desafío de prescindir de su aporte en la elaboración de pan*. *Agriscientia*, 33(2), 61-74.
- Soto, G. 2019. *Aplicación de un algoritmo de optimización para el diseño de un suplemento alimenticio enfocado en malnutrición proteínico-energética*. Tesis de maestría. UNAM.

- Soto, S. 2012. *Influencia de la interacción de proteína de trigo con grenetina, goma de mezquite y lecitina en el proceso de panificación*. Tesis de Ingeniería. UNAM.
- SSA. 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. *Salud Ambiental, Agua Para Uso Y Consumo Humano-Límites Permisibles De Calidad Y Tratamientos A Que Debe Someterse El Agua Para Su Potabilización*. CDMX. Diario Oficial de la Federación.
- The FoodTech. (Enero, 2022). *Estas son las tendencias sobre salud planetaria para 2022*. The FoodTech. URL: <https://thefoodtech.com/seguridad-alimentaria/estas-son-las-tendencias-sobre-salud-planetaria-para-2022/> . [Último acceso: 21 de marzo de 2022].
- Toxtle, G. 2020. *Uso del mucílago de nopal *Opuntia ficus indica* como dispersante de suplementos alimentarios*. Tesis de licenciatura. UNAM.
- Vásquez, F., Verdú, S., R. Islas, A., M. Barat, J. y Grau, R. 2016. *Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*) sobre las propiedades reológicas de la masa y texturales del pan*. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 17(2), 307-317.
- Velázquez, M. 2019. *Estandarización de la cocción y deshidratación de legumbres para la obtención de harinas para suplementos*. Tesis de licenciatura. UNAM.
- Wolfgang, K. 2006. *Tecnología para cerveceros y malteros*. Berlin: VLB Berlin.
- Yeow, T. 1978. *The utilization of heat coagulated beer wort protein (trüb)*. Tesis de maestría. The University of British Columbia.