

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DE ALIMENTOS



“Aplicación de harina de betabel (*Beta vulgaris*) como ingrediente alternativo en pan dulce: una propuesta de innovación alimentaria y nutritiva”

Por:

ALONDRA YAÑEZ GAYOSSO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Saltillo, Coahuila, México, junio del 2026.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE
ALIMENTOS

TESIS

"Aplicación de harina de betabel (*Beta vulgaris*) como ingrediente alternativo en pan dulce: una propuesta de innovación alimentaria y nutritiva"

Presentada por:

Alondra Yañez Gayosso

Que ha sido aprobada como requisito para obtener el título de:

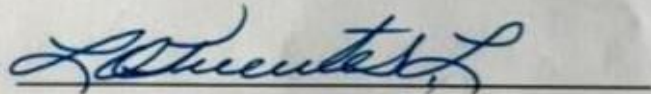
INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

El presente trabajo ha sido asesorado y aceptado de acuerdo al artículo 89 del Reglamento Académico para Alumnos de Licenciatura por el siguiente comité asesor:

M.E. Laura Olivia Fuentes Lara

Asesor principal

Departamento de Nutrición Animal



Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Coasesor

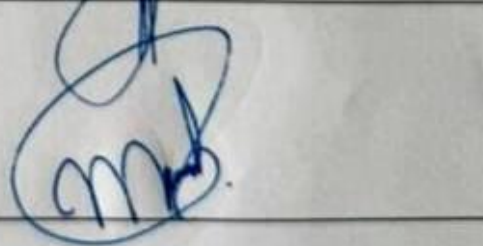
Departamento de Horticultura



Dr. Mario Alberto Cruz Hernández

Coasesor

Departamento de Ciencia y Tecnología
de Alimentos



Saltillo, Coahuila, México; junio 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

TESIS

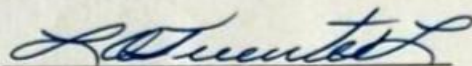
"Aplicación de harina de betabel (*Beta vulgaris*) como ingrediente alternativo en pan dulce: una propuesta de innovación alimentaria y nutritiva"

Presentada por:

Alondra Yañez Gayosso

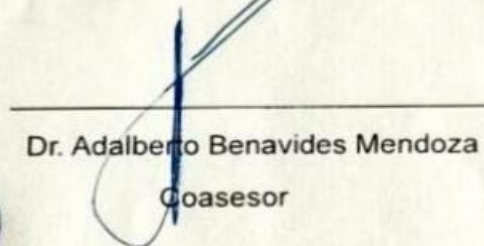
Que se somete a consideración del H. Jurado examinador como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



M.E. Laura Olivia Fuentes Lara

Asesor principal



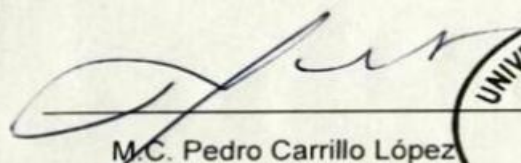
Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Coasesor



Dr. Mario Alberto Cruz Hernández

Coasesor



M.C. Pedro Carrillo López

Coordinador de la División de Ciencia Animal



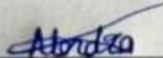
Saltillo, Coahuila, México; junio 2026

Declaración de Autenticidad y no plagio.

Por medio de la presente, yo Alondra Yañez Gayosso, estudiante de la carrera Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos, declaro que la presente tesis titulada "Aplicación de harina de betabel (*Beta vulgaris*) como ingrediente alternativo en pan dulce: una propuesta de innovación alimentaria y nutritiva" es el resultado de mi trabajo original y que todas las fuentes utilizadas están debidamente referenciadas y citadas. Confirmando que este trabajo no ha sido previamente presentado para la obtención de ningún otro título académico.

Aseguro que todas las ideas, conceptos, datos y conclusiones presentadas son el resultado de mi propia investigación y análisis. Cuando se han utilizado las ideas de otros autores, proporciono referencias a las fuentes.

Alondra Yañez Gayosso



Firma

DEDICATORIAS

A mis padres **Flora Gayosso Lucas y Pablo Cardena Amador**, las personas que más amo en mi vida, que siempre estarán para mi demostrándome su amor y cariño, a mi mami que siempre me ha motivado a salir de mi zona de confort, que sin ella no me hubiera atrevido a salir de mi casa para enfrentarme a nuevos retos, siempre estuvo animándome y amándome a su manera, a mi papá que siempre me apoyo y se preocupó por mí.

A mis tíos **Mayra Pinales López y David Gayosso Lucas**, que me brindaron un hogar lleno de risas y alegrías con sus chistes haciendo que esta etapa universitaria no fuera solicitaría, que siempre me brindaron un techo y comida sin nada a cambio, apoyándome en todo, de corazón siempre estaré agradecida, los quiero con todo mi corazón.

A mis primos **Juan David Gayosso Pinales, Fernando Gayosso Pinales, Miguel Gayosso Pinales**, por apoyarme y recibirme en su casa como si fuera una hermana, por sus chistes sin sentido que me hicieron sentir en mi hogar, pero en especial a Juan por escucharme y animarme cuando a veces sentía que no podía lograr esta meta. Espero siempre tenerlos en mi vida para alegrarme por sus logros como ustedes lo hicieron conmigo.

A mi familia, mi abuelito **Gregorio** que adoro con todo mi corazón porque siempre está ahí para mí, alegrándose de mis logros y animándome siempre.

A mis hermanos **Diego Gayosso y Gilberto Gayosso** que aun a distancia me apoyaron y a pesar de no demostrarnos nuestro cariño sé que siempre estarán ahí para mí. A mis sobrinas que amo con todo mi corazón por quererme tanto como yo a ellas.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por brindarme conocimientos, experiencias extraordinarias que me alegraban los días, por permitirme conocer a mis amistades que me acompañaron en esta meta en común, que apreciare siempre, a mis maestros que siempre me brindaron conocimientos y me aconsejaban para no rendirme.

A mi asesora, la maestra Laura Olivia Fuentes Lara, por brindarme asesoría y apoyo durante esta investigación, que me tuvo paciencia en cada duda que me surgía.

A mis padres y tíos, Flora Gayosso, Pablo Cardenas, Mayra Pinales y David Gayosso que estaré eternamente agradecida por todo el apoyo que me dieron durante este tiempo. Por nunca dejarme sola y quererme tanto como yo lo hago.

A mis amigas Vane Adame, Ana Paola Moreno y Zarina Gutiérrez que siempre estuvieron ahí escuchándome y animándome en mis peores momentos, por estar ahí haciéndome reír o explicando cosas que no comprendía, y en especial por nunca dejarme sola, las quiero con todo mi corazón.

RESUMEN

El pan comercial en México suele elaborarse con harina de trigo refinada, la cual pierde gran parte de su fibra y nutrientes durante el procesamiento, además de contener aditivos, azúcares y grasas que reducen su calidad nutricional. Ante esto, el uso de harina de betabel y harina de avena representa una alternativa saludable e innovadora. El betabel aporta antioxidantes naturales, fibra, y minerales que favorecen la salud cardiovascular y enriquecen el valor nutricional del pan. Por ello, el desarrollo de un pan a base de betabel y avena ofrece beneficios nutricionales y funcionales superiores a los panes comerciales tradicionales, respondiendo a la demanda de alimentos más saludables.

En el presente trabajo se elaboraron cuatro formulaciones, 5 %, 8 %, 10 % y 12 % de harina de betabel. Se determinaron las propiedades químicas de las formulaciones utilizando las variables; humedad (% H), cenizas (% C), proteína cruda (% PC), extracto etéreo (% EE), fibra cruda (% FC), extracto libre de nitrógeno o carbohidratos (% ELN) y el aporte calórico (kcal/100 g).

Los resultados fueron analizados por medio de un análisis de varianza (ANVA) y mediante una prueba de medias de Fisher ($\alpha \leq 0.05$) utilizando el paquete estadístico StatPlus: mac Pro (2018). Los resultados mostraron que la formulación con 12 % de harina de betabel presentó una composición nutricional más favorable que el pan testigo. Se observó un mayor contenido de fibra cruda (1.35 %) y minerales (2.56 %) en comparación con el testigo, que registró 0.44 % y 1.85 %, respectivamente. Además, la formulación con harina de betabel presentó una menor proporción de carbohidratos (60.75 %) respecto al pan testigo (65.97 %). Estos resultados sugieren que la incorporación de harina de betabel mejora el valor nutricional del pan al aumentar el aporte de fibra y minerales, así como reducir el contenido de carbohidratos.

Palabras clave: remolacha, innovador, análisis, composición química.

Contacto por correo: alogayosso1@gmail.com

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS.....	3
1.1.2 Objetivo general.....	3
1.1.3 Objetivos específicos.....	3
1.2 JUSTIFICACIÓN	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Hortalizas de raíz	5
2.1.1 El betabel como hortaliza de raíz.....	7
2.2 Betabel (<i>Beta vulgar</i> L.)	7
2.2.1 Propiedades del betabel.....	7
2.2.2 Composición química de betabel	8
2.2.3 Propiedades antioxidantes del betabel	9
2.3 Antecedentes del Pan	10
2.3.1 Definición y tipos de pan.....	10
2.4 La Avena y su composición nutrimental	12
2.4.1 Proteína.....	12
2.4.2 Fibra	13
2.4.3 Carbohidratos.....	14
2.4.4 Lípidos.....	14
2.4.5 Vitaminas y minerales.....	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1 Obtención de la harina de betabel.	16

3.2 Obtención de pan a base de harina de avena con adición de harina de betabel en diferentes concentraciones.....	17
3.2.1 Formulaciones	17
3.3 Obtención del porcentaje de materia seca total.	19
3.4 Obtención del porcentaje de cenizas.	20
3.5 Obtención del porcentaje de extracto etéreo o grasa método Soxhlet	21
3.6 Obtención del porcentaje de fibra cruda.	22
3.7 Obtención del porcentaje de proteína cruda método Kjeldhal	24
3.8 Obtención del porcentaje de extracto libre de nitrógeno.	26
3.9 Obtención del porcentaje de kilocalorías/100 g	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1 % Humedad.	29
4.2 % Ceniza.	30
4.3 % Proteína cruda.	32
4.4 % Extracto etéreo o grasa.	33
4.5 % Fibra cruda.	35
4.6 % Carbohidratos.	36
4.7 Kilocalorías/ 100 g	37
V. CONCLUSIONES.....	39
VI. BIBLIOGRAFÍA	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición de hortalizas de raíz.....	6
Tabla 2 Composición química del Betabel.....	8
Tabla 3 Determinación del porcentaje de extracto libre de nitrógeno en las formulaciones evaluadas.....	26
Tabla 4 . Determinación del porcentaje de kcal/100 g en las formulaciones evaluadas.....	28
Tabla 5 Resultados promedio obtenido en el análisis del porcentaje de humedad en las formulaciones evaluadas.....	30
Tabla 6. Resultados promedio obtenido en el análisis del porcentaje de cenizas en las formulaciones evaluadas.....	31
Tabla 7. Resultados promedio obtenido en el análisis del porcentaje de proteína cruda en las formulaciones evaluadas.	32
Tabla 8. Resultados promedio obtenido en el análisis del porcentaje de extracto etéreo en las formulaciones evaluadas.	33
Tabla 9. Resultados promedio obtenido en el análisis del porcentaje de fibra cruda en las formulaciones evaluadas.....	34
Tabla 10. Resultados promedio obtenido en el análisis del porcentaje de carbohidratos en las formulaciones evaluadas.	35
Tabla 11. Resultados promedio obtenido en el análisis del porcentaje de kcal/ 100 g en las formulaciones evaluadas.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Grafica porcentaje de humedad.....	30
Figura 2. Grafica porcentaje de ceniza.....	31
Figura 3. Grafica porcentaje de proteína cruda.....	32
Figura 4. Grafica porcentaje de extracto etéreo.....	33
Figura 5. Grafica porcentaje de fibra cruda.....	35
Figura 6. Grafica porcentaje de carbohidratos.....	36
Figura 7. Grafica porcentaje de kcal/ 100 g.....	37

I. INTRODUCCIÓN

El pan ocupa un lugar destacado como uno de los alimentos más conocidos y atractivos del planeta, gracias a sus características nutricionales, sensoriales y de textura. Desde el punto de vista nutricional, la relevancia del pan es bastante clara, ya que se utiliza comúnmente como una fuente clave de carbohidratos, proteínas, vitaminas, fibra, antioxidantes y micronutrientes. Es fundamental mantener y mejorar la calidad del pan y asegurar su disponibilidad para el bienestar de las personas, por lo que se están integrando diversos ingredientes funcionales para alcanzar estos propósitos. Estos productos se enriquecen principalmente con alimentos que no son cereales, como hierbas, frutas, verduras, calabaza, remolacha, sésamo, semillas de canola, batata y semillas de algodón, entre otros, con el fin de añadir propiedades como textura, color, sabor y valor nutricional en la panadería y otras industrias alimentarias. El uso de harinas compuestas es particularmente relevante en países en vías de desarrollo, puesto que favorece el empleo de cultivos autóctonos y ayuda a disminuir, en parte, la dependencia de importaciones de trigo (Ashraf, 2020).

La remolacha, conocida como *Beta vulgaris*, se cultiva en diversas partes del mundo, especialmente en regiones templadas, siendo Centro y Norte América, así como Europa y Estados Unidos, sus principales productores. En 2011, México alcanzó una producción de más de 14,670 toneladas de esta hortaliza. La raíz de la remolacha se caracteriza por su piel marrón rojiza y una pulpa dulce, carnosa y roja. En un conjunto de 100 remolachas frescas, se hallan aproximadamente 10 gramos de azúcares, 1.6 gramos de proteínas y una variedad de vitaminas y minerales. En México, la remolacha se consume normalmente cocida en ensaladas o cruda en forma de jugos frescos (Gómez Aldapa, 2014).

La remolacha o betabel se cultiva principalmente por su jugo y las propiedades nutricionales que aporta. Es reconocida como una valiosa fuente de calcio, magnesio, cobre, fósforo, sodio y hierro. Las raíces son las más consumidas, tanto en su forma cocida como cruda. A pesar de los beneficios para la salud y las

propiedades curativas que posee, muchas personas no la incluyen en su alimentación diaria. Las remolachas son ricas en compuestos bioactivos como los carotenoides, glicina, betaína, saponinas, betacianinas, folatos, betanina, polifenoles y flavonoides. Por lo tanto, el consumo de remolacha podría jugar un papel en la prevención del cáncer (López Palacios, 2018).

Además, exhibe propiedades antimicrobianas y antivirales, pudiendo también frenar la proliferación de células tumorales en humanos. Las remolachas secas pueden ser consumidas directamente en forma de hojuelas, como una alternativa a los snacks tradicionales altos en ácidos grasos trans, o bien integradas en bebidas de fácil preparación como parte de alimentos instantáneos (López Palacios, 2018).

1.1 OBJETIVOS

1.1.2 Objetivo general

Desarrollar un pan dulce sustituyendo parcialmente la harina de trigo por harina de avena y betabel en diferentes concentraciones y evaluar sus propiedades nutricionales.

1.1.3 Objetivos específicos

- Formular distintas versiones de pan dulce utilizando sustituciones parciales de harina de avena con harina de betabel a diferentes concentraciones (F0, F1, 5 %, F2 8 %, F3 10 %, F4 12 %).
- Analizar las propiedades químicas del pan de betabel obtenido, utilizando % Humedad, % Cenizas, % Fibra cruda, % Proteína cruda, % Extracto Etéreo, % Extracto libre de nitrógeno y el contenido calórico (kcal/100 g) para determinar su calidad nutricional.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El pan comercial elaborado con harina refinada de trigo constituye un alimento accesible y ampliamente consumido; sin embargo, su procesamiento reduce el contenido de fibra, vitaminas y minerales, mientras que la presencia frecuente de azúcares, grasas y aditivos limita su calidad nutricional. En este contexto, la incorporación de harinas de betabel (*Beta vulgaris*) y avena representa una alternativa para obtener un producto de mayor valor funcional. El betabel aporta betalainas con actividad antioxidante, además de fibra, folatos, Fe y K. Por su parte, la avena proporciona β -glucanos, fibra soluble asociada con la regulación del colesterol y la glucosa sanguínea, así como proteínas, lípidos saludables y micronutrientes. Por lo tanto, un pan formulado con ambos ingredientes podría mejorar el perfil nutricional en comparación con el producto convencional y responder al interés creciente por alimentos que promueven la salud.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Hortalizas de raíz

Las hortalizas de raíz son reconocidas globalmente, sin embargo, su consumo está disminuyendo entre la población. Su elevado valor nutricional se debe a su abundancia en fibra, vitaminas y minerales. Una de sus características más relevantes es su considerable cantidad de compuestos bioactivos, como los polifenoles, fenoles, flavonoides y vitamina C. Estos compuestos proporcionan un potencial antioxidante. Por ello, es indispensable contar con un método de referencia que facilite una interpretación adecuada. Además, los tubérculos presentan diversos beneficios para la salud, que incluyen la regulación de parámetros metabólicos (niveles de glucosa, perfil de lípidos y presión arterial), su función antioxidante, propiedades prebióticas y efectos anticancerígenos. Sin embargo, debido a su método de cultivo, los tubérculos pueden estar expuestos a contaminantes del suelo, como metales pesados (plomo y cadmio), pesticidas, residuos farmacéuticos, microplásticos y nitratos. Aun así, los niveles bajos de estas sustancias tóxicas en los tubérculos no representan un peligro para la salud del consumidor promedio (Knez, E. , Kadac-Czapska, 2022).

Las raíces comestibles presentan algunas similitudes nutricionales. Todas ellas son excelentes fuentes de fibra (1,6–7,3 g/100 g). Asimismo, tienen un bajo valor energético (16–81 kcal/100 g) gracias a su alto contenido hídrico (75,0–95,4 %). Uno de sus rasgos más destacados es su notable cantidad de compuestos bioactivos, como los polifenoles, fenoles y flavonoides. Además, es importante señalar que son abundantes en vitamina C (3,9 mg/100 g en apio y hasta 114,0 mg/100 g en rábano picante). Por lo tanto, los tubérculos pueden ser considerados alimentos biofuncionales (Knez, E. , Kadac-Czapska, 2022).

Tabla 1 Composición de hortalizas de raíz.

Componentes	Zanahoria	Remolacha	Apio (raíz)	Perejil (raíz)	Rábano	Nabo	Rábano picante
Agua (g/100 g)	88.3	87.6	88.0	85.3	95.3	91.9	75.0
Energía (kcal/100 g)	41.0	43.0	42.0	49.0	16.0	28.0	81.0
Proteínas (g/100 g)	0.93	1.61	1.5	2.6	0.68	0.9	4.5
Lípidos (g/100 g)	0.24	0.17	0.3	0.5	0.1	0.1	0.6
Carbohidratos (g/100 g)	9.58	9.56	9.2	10.5	3.4	6.43	18.1
Fibra dietética (g/100 g)	2.8	2.8	1.8	4.2	1.6	1.8	7.3
Calcio (mg/100 g)	33.0	16.0	43.0	43.0	25.0	30.0	78.0
Hierro (mg/100 g)	0.3	0.8	0.7	1.1	0.34	0.3	1.2
Magnesio (mg/100 g)	12.0	23.0	20.0	27.0	10.0	11.0	43.0
Potasio (mg/100 g)	320.0	325.0	300.0	339.0	233.0	191.0	740.0
Sodio (mg/100 g)	87.0	78.0	100.0	49.0	39.0	67.0	7.0
Zinc (mg/100 g)	0.24	0.35	0.33	0.6	0.28	0.27	1.40
Vitamina C (mg/100 g)	5.9	4.9	8	45.0	14.8	21.0	114.0
Tiamina (mg/100 g)	0.066	0.031	0.05	0.1	0.012	0.04	0.14

Kunachowicz, H.; Przygoda, B.; Nadolna, I.; Iwanow, K. Tabele Składu i Wartości Odżywczej Żywności, 2a ed.; PZWL: Varsovia, Polonia, 2017; pag. 475

2.1.1 El betabel como hortaliza de raíz.

Las hortalizas de raíz, en particular la remolacha, destacan por sus elevados contenidos de nitratos y nitritos. Estas sustancias tienen un impacto dual en la salud de las personas. Según la cantidad consumida, pueden tener efectos tanto beneficiosos como perjudiciales. Su consumo puede ser ventajoso al ayudar a regular la presión arterial y fomentar la producción de óxido nítrico. No obstante, su presencia en grandes cantidades dentro de la dieta puede aumentar el riesgo de cáncer, ya que pueden transformarse en nitrosaminas que generan cáncer. La cantidad de estos compuestos depende de factores como la calidad del agua, la del suelo y el uso de fertilizantes (Knez, E. , Kadac-Czapska, 2022).

2.2 Betabel (*Beta vulgar L.*)

2.2.1 Propiedades del betabel

La remolacha, que también se denomina betabel, se destaca por su abundancia en vitaminas A, B1 y B2, así como en minerales, betalaína, carotenoides y flavonoides. Estos componentes le otorgan una serie de beneficios, incluyendo propiedades antioxidantes, relajantes, protección del corazón, reducción de la presión arterial, protección del hígado, prevención del cáncer, disminución del colesterol, efectos rejuvenecedores, defensa del sistema nervioso y refuerzo del sistema inmunológico. Esta hortaliza es particularmente rica en antioxidantes que ayudan a neutralizar el exceso de radicales libres en el cuerpo, lo que previene el daño a células sanas y ofrece protección contra ciertos tipos de cáncer y enfermedades crónicas. Por otra parte, el betabel es una fuente significativa de óxido nítrico, que es fundamental para relajar los vasos sanguíneos, mejorando así la circulación y contribuyendo al control de la presión arterial, además de optimizar el rendimiento físico durante las actividades de entrenamiento (De Almeida, 2023).

2.2.2 Composición química de betabel

La remolacha (*Beta vulgaris* L.) ha capturado la atención de los consumidores modernos del siglo XXI debido a sus múltiples beneficios para la salud. En comparación con otros tubérculos, la remolacha se destaca por su alto contenido en carbohidratos, que asciende a 9,56 g por cada 100 g, junto con una buena cantidad de fibra, que alcanza los 2,8 g por cada 100 g. Aunque suele ser considerada una importante fuente de hierro (Fe), es el perejil el que realmente aporta más de este mineral en el grupo de tubérculos. En contraposición, el potasio es el mineral que se encuentra en mayor concentración en la remolacha, con 356 mg por cada 100 g cuando se trata de la variedad orgánica. Asimismo, investigaciones han indicado que las remolachas cultivadas de manera orgánica presentan niveles más elevados de compuestos minerales como potasio, fósforo (P), magnesio (Mg) y calcio (Ca) en comparación a las convencionales. Los detalles sobre la composición de la remolacha convencional se pueden ver en Tabla 1 (Knez, E. , Kadac-Czapska, 2022).

El betabel contiene, en su mayoría, agua, carbohidratos, proteínas y ciertos minerales que son cruciales para la dieta humana, sobre todo por sus propiedades antioxidantes y su contenido de hierro, el cual influye en los glóbulos rojos. Al ingresar las betalaínas en el torrente sanguíneo, se previene la hemólisis oxidativa, lo que genera un efecto positivo en la anemia. Además, se ha comprobado que tiene un impacto sobre la presión arterial. Investigaciones de Stintzing et al. (2008) mostraron que el consumo diario de medio litro de jugo de remolacha puede ayudar a disminuir la hipertensión, ya que, al combinarse con la saliva, este jugo se convierte en nitrito, que luego es transformado por el ácido clorhídrico del estómago en óxido nítrico.

Tabla 2 Composición química del Betabel.

Componente	Contenido	Componente	Contenido
Agua (g)	87.3	Fósforo (mg)	335
Proteínas (g)	2.1	Hierro (mg)	1.5
Carbohidratos totales (g)	8.3	Zinc (mg)	0.4
Grasas (g)	0.2	Vitamina A (mg)	2.0
Cenizas (g)	2.1	Tiamina (mg)	0.02

Fuente FAO, fruti and vegetable, agricultural services bulletin 119

2.2.3 Propiedades antioxidantes del betabel

El betabel es una hortaliza comestible de la especie conocida científicamente como *Beta vulgaris*, que forma parte de la familia Amaranthaceae. Su tonalidad roja intensa es empleada en la gastronomía para elaborar diversos platos y bebidas. Este color se debe a la presencia de betacianinas y betaxantinas; entre el 75 y el 95 por ciento de estas betacianinas tienen la estructura denominada betanina, la cual posee propiedades antioxidantes y antitumorales (Krajka-Kuźniak et al., 2013). Además, el consumo de betabel puede ofrecer importantes beneficios para la salud, como la prevención de la anemia (Punia Bangar et al., 2023).

El jugo de betabel tiene un elevado nivel biológico accesible de antioxidantes. Sin embargo, su popularidad no alcanza la de otros vegetales, como el jitomate, la zanahoria, la manzana o el mango, posiblemente debido a percepciones relacionadas con su sabor y textura, así como su efecto en la coloración de la orina. El betabel contiene pigmentos que pertenecen al grupo de antioxidantes. Las principales fuentes vegetales de betalainas son las raíces de *Beta vulgaris*, el tallo de *Amaranthus* y los frutos de varias especies del género *Opuntia*. Los pigmentos predominantes en el betabel son las betalainas, que se definen químicamente como derivados del ácido betalámico. La capacidad antioxidante del jugo de betabel está

estrechamente relacionada con la cantidad de pigmentos rojos y amarillos que componen las betalainas, así como con el alto contenido de compuestos fenólicos totales (Sakee, 2014).

2.3 Antecedentes del Pan

El pan ha sido un elemento fundamental en la alimentación durante los últimos 7000 a 8000 años. Originalmente, se trataba de una masa plana sin fermentar, hecha de granos triturados y cocida, probablemente sobre piedras calientes. Se cree que en Egipto se elaboró el primer pan fermentado, al notar que la masa preparada el día anterior producía burbujas y aumentaba su volumen, y que al incorporarse a la masa nueva resultaba un pan más ligero y sabroso. Existen relieves egipcios de hace aproximadamente 3000 años a.C. que muestran el proceso de fabricación de pan y cerveza, sugiriendo que fue en la civilización egipcia donde se implementaron por primera vez los métodos bioquímicos para elaborar estos alimentos fermentados. Después de Plinio, los galos usaron la espuma de la cerveza para hacer pan. Esta técnica cayó en desuso y se redescubrió en el siglo XVII, convirtiéndose en una práctica común en Europa hasta el año 1800 (Mesas, J. M., & Alegre, M. T. 2002).

En el siglo XIX, las levaduras utilizadas en las cervecerías fueron sustituidas por aquellas provenientes de destilerías de alcohol de cereales. A finales del siglo XIX, gracias a los estudios de Pasteur, se inició el desarrollo de una industria dedicada a la producción de levaduras, que culminó en 1920 con un innovador método para producir levaduras de panadería (*Saccharomyces cerevisiae*), creado por el danés Soren Sak y conocido como "Método Zero" ya que evita la producción de etanol (Mesas, J. M., & Alegre, M. T. 2002).

2.3.1 Definición y tipos de pan

Según el "Reglamento Técnico Sanitario para la Producción, Circulación y Comercialización de Pan y Pan Especial", el pan y sus distintos tipos se definen de la siguiente manera (Tejero, 1992-1995; Madride y Cenzano, 2001; Callejo, 2002):

El pan es un producto perecedero que se obtiene horneando una masa obtenida mezclando harina de trigo, sal comestible y agua potable, fermentada con especies fermentadoras del pan como *Saccharomyces cerevisiae*. El Código Alimentario español distingue entre dos tipos de pan:

1.- Se define pan normal como el pan de uso cotidiano, elaborado a base de harina de trigo, sal, levadura y agua, al que se le pueden añadir determinadas ayudas tecnológicas y aditivos homologados. Este tipo incluye:

Pan bregado: de miga dura, español o candeal, se elabora con cilindros de afinado. El pan flama, o pan de miga blanda, se elabora con un mayor contenido de agua que el pan horneado, y no suele requerir el uso de cilindros de afinado durante su elaboración.

2.- Pan especial es el pan que, por su composición, por contener algún aditivo o sustancia auxiliar especial, por el tipo de harina, por otros ingredientes especiales (leche, huevos, grasa, cacao, etc.), por no contener sal, por no estar leudado, o por otras condiciones permitidas, cumple con la definición básica de pan. Como ejemplos de panes especiales tenemos:

El pan integral es pan que se elabora con harina integral, es decir, se obtiene moliendo el trigo integral sin separar ninguna de sus partes. El Wienerbrød, o pan francés, es un pan flameado que contiene azúcar, leche o ambos a la vez. El pan moldeado o americano es un pan de corteza blanda, en el que se utilizan moldes para hornearlo. El pan de cereales se elabora con harina de trigo más otras harinas en una proporción no inferior al 51%. Debe su nombre a este último grano. Ejemplo: pan de centeno, pan de maíz, etc.

2.4 La Avena y su composición nutrimental

La avena (*Avena sativa*) es un cereal integral de la familia de las gramíneas, reconocida como uno de los productos alimenticios más completos y nutritivos. Es una excelente fuente de fibra soluble, proteínas, vitaminas (grupo B, E) y minerales (fósforo, magnesio, hierro, zinc), utilizada principalmente en copos, harinas o bebidas (Landbrugsministeren y Udvikling af Landdistrikter, 2015).

Estos cereales son uno de los alimentos más completos porque contienen importantes nutrientes, vitaminas y minerales. Entre los beneficios que aporta a la salud humana se encuentra una excelente fuente de energía, ayuda a regular el metabolismo, así como el colesterol, y en términos de belleza fortalece las uñas, reduce la caída del cabello y rejuvenece la piel (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2015).

La producción anual de avena en México es de 100 mil toneladas. Los estados con mayor producción de este grano son Chihuahua, que representa más del 63 por ciento del grano de avena, seguido de los estados de Hidalgo, Zacatecas y México (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2015).

2.4.1 Proteína

Por otro lado, el grano de avena tiene un mayor contenido proteico y un mejor balance de aminoácidos esenciales que los cereales más consumidos en México, como el maíz y el trigo, con un contenido proteico de hasta 17.3%, y una mayor proporción de aminoácidos esenciales como lisina y triptófano (Sterna et al., 2016).

Por tanto, los granos de avena son una fuente económica de proteínas con un excelente valor nutricional; Además, puede aportar un 4% de β -glucanos, que son factores nutricionales esenciales para la salud del consumidor (Ruja et al., 2024); Sin embargo, el consumo anual per cápita de este grano en México es muy bajo, sólo 2.1 kg (SIAP, 2024).

La avena es una buena fuente de proteínas de calidad, entre el 11 y el 17% del peso seco, que es más alta que la mayoría de los demás cereales. La principal proteína de la avena, que constituye el 80% del contenido total, es Avelin, que no se encuentra en ningún otro cereal pero es similar a las proteínas de las leguminosas. La avenina, una proteína más pequeña, está relacionada con el gluten de trigo. Pero la avena pura se considera segura para la mayoría de las personas con intolerancia al gluten (Bjarnadottir, A. 2023).

2.4.2 Fibra

Existen estudios que clasifican los granos de avena como nutracéuticos, principalmente por la presencia de fibra soluble y la capacidad de crear soluciones viscosas que reducen el vaciado gástrico e inhiben el transporte de colesterol y triglicéridos al aumentar los niveles de colesterol fecal (Sterna et al., 2016), lo que se asocia con una reducción de las concentraciones plasmáticas de colesterol, reduciendo el riesgo de enfermedad coronaria (Lante et al., 2016). Además, una mayor viscosidad de los β -glucanos en solución acuosa se asocia con un índice glucémico reducido, una mejor respuesta a la insulina y una regulación del sistema inmunológico (Sofi et al., 2017); La fibra también se utiliza como espesante, sustituto de grasas, emulsionante y estabilizador de espuma, lo que diversifica su uso en las industrias de bebidas, alimentos y cosméticos (Singla et al., 2024).

La avena integral contiene casi un 11% de fibra, mientras que los copos de avena contienen un 1,7%. La mayor parte de la fibra de la avena es soluble, principalmente una fibra llamada betaglucano. La avena contiene más fibra soluble que otros cereales, lo que provoca una digestión más lenta, genera una mayor sensación de saciedad y suprime el apetito. Los betaglucanos de avena solubles son únicos entre las fibras dietéticas porque pueden formar soluciones viscosas en concentraciones relativamente bajas (Bjarnadottir, A. 2023).

Se sabe que los betaglucanos que se encuentran en la avena reducen los niveles de colesterol y aumentan la producción de ácidos biliares. También se cree que reducen los niveles de azúcar en sangre y de insulina después de comidas ricas en

carbohidratos. Se ha demostrado que el consumo diario de betaglucanos reduce los niveles de colesterol, especialmente el colesterol LDL (malo), y, por tanto, puede reducir el riesgo de enfermedades cardíacas (Bjarnadottir, A.2023).

2.4.3 Carbohidratos

Los carbohidratos constituyen el 66% del peso seco de la avena. Aproximadamente el 11% de los carbohidratos son fibra y el 85% son almidón. La avena contiene muy poca azúcar: sólo el 1% es sacarosa. El almidón, formado por largas cadenas de moléculas de glucosa, es el componente principal de la avena. El almidón de la avena es diferente del almidón de otros cereales. Tiene un mayor contenido de grasa y una mayor viscosidad, es decir, la capacidad de unir agua (Bjarnadottir, A.2023).

Hay tres tipos de almidón en la avena:

Almidón de rápida digestión: este tipo se descompone y absorbe rápidamente en forma de glucosa.

Almidón de digestión lenta: esta forma se descompone y se absorbe más lentamente. Este es el almidón más común que se encuentra en la avena.

Almidón resistente: El almidón resistente actúa como fibra, previniendo la digestión y mejorando la salud intestinal al nutrir las bacterias beneficiosas en el intestino.

2.4.4 Lípidos

La avena tiene el mayor contenido de grasa de todos los cereales. Es rico en ácido linoleico y bajo en grasas saturadas, lo que ayuda a reducir el riesgo de enfermedades cardíacas y vasculares. Los ácidos grasos monoinsaturados y los ácidos grasos poliinsaturados son los ácidos grasos más comunes que se encuentran en la avena, seguidos de los ácidos grasos saturados.

Los triglicéridos también son componentes importantes de los lípidos y fosfolípidos; Los glicolípidos y esteroides también están presentes en cantidades significativas. Su alto contenido de lípidos los convierte en valiosos ingredientes alimentarios funcionales en muchas industrias (Alemayehu, 2023).

2.4.5 Vitaminas y minerales

La avena es rica en muchas vitaminas y minerales, entre ellos:

Fósforo. Este mineral es importante para la salud ósea y el mantenimiento de los tejidos.

Cobre. Mineral antioxidante que suele faltar en la dieta occidental, el cobre se considera importante para la salud del corazón.

Vitamina B1. También conocida como tiamina, esta vitamina se encuentra en muchos alimentos, como cereales, legumbres, frutos secos y carne.

Hierro. Como componente de la hemoglobina, una proteína responsable del transporte de oxígeno en la sangre, el hierro es absolutamente esencial en la dieta humana.

Selenio. Este antioxidante es importante para diversos procesos en el organismo. Los niveles bajos de selenio se asocian con un mayor riesgo de muerte prematura y un deterioro de la función inmunológica y mental.

Magnesio. Este mineral, que a menudo falta en la dieta es importante para numerosos procesos en el cuerpo.

Zinc. Este mineral participa en muchas reacciones químicas en el cuerpo y es importante para la salud en general (Bjarnadottir, A. 2023).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Obtención de la harina de betabel.

Materiales:

Materiales de laboratorio	Equipos
<ul style="list-style-type: none">• Cuchillo• Tabla para picar• Charola de aluminio	<ul style="list-style-type: none">• Pocillo de aluminio• Licuadora Osterizer• Horno de secado a 50° C, marca Blue M, modelo Single-Wall

Metodología:

1



Lavado del betabel.

2



Después pelar el betabel.

3



Posteriormente hervir el betabel.

4



Una vez hervidos, cortar el betabel en rodajas delgadas.

5




Colocar las rodajas en una charola de aluminio.

6



Seguidamente dejar en el horno de secado a 50° por dos días

7



Por último, sacar del horno, licuamos las rodajas de betabel.

8








Finalmente, obtener la harina.

3.2 Obtención de pan a base de harina de avena con adición de harina de betabel en diferentes concentraciones.

Materiales:

Materiales de laboratorio	Equipos
<ul style="list-style-type: none"> • Charola de aluminio • Harina de avena integral de la marca Quaker Oats. • Harina de betabel. • Canela molida - marca McCormick • Sal de mesa - marca la Fina. • Miel de abeja - marca members. • Huevos - marca San Juan. • Vainilla - marca ciervo. • Rexal - marca ProMesa. • Aceite - marca Nutrioli • Leche entera pasteurizada - marca Lala • Frascos para guardar la harina • Probeta de 100 ml • Vaso de precipitado • Batidor • Capacillos • Molde para cupcakes 	<ul style="list-style-type: none"> • Horno de estufa • Charola de aluminio

3.2.1 Formulaciones

Testigo	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3	Formulación 4
HB: 0 g HA: 100 g	HB: 5 g HA: 95 g	HB: 8 g HA: 92 g	HA: 10 g HB: 90 g	HA: 12 g HB: 88 g
				

HA: Harina de Avena

HB: Harina de Betabel

Metodología:

1



En un recipiente mezclar todos los ingredientes sólidos y líquidos con las diferentes concentraciones de harina de betabel.

2



Después verter en moldes y se colocar en un compartimiento apropiado para los panes.

3



Luego se pasar al horno previamente precalentado a una temperatura de 220°C donde permanecerán por un periodo de 30 – 45 minutos

4



Panes a diferentes concentraciones, 4 de cada uno.

5



Desmigajar el pan, seguidamente dejar en el horno de secado a 50°C por dos días.

6



Finalmente obtener el pan deshidratado y desmigajado en cada concentración.

3.3 Obtención del porcentaje de materia seca total.

Materiales

Materiales de laboratorio	Equipos
<ul style="list-style-type: none">• Criteros de porcelana• Pinza para crisol• Espátula de acero inoxidable	<ul style="list-style-type: none">• Estufa de aire de temperatura de 80-200° C• Desecador• Balanza analítica, marca A&D, modelo HR-200.

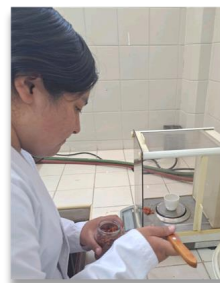
Metodología:

1



Primero sacar los criterios de la estufa con ayuda de las pinzas, colocar en el desecador, enfriar durante 15 minutos y pesar.

2



Luego pesar dos gramos de muestra y colocamos en el crisol.

3



Después colocar los criterios en la estufa de secado durante 12 horas o durante toda la noche.

4



Finalmente sacar los criterios con las pinzas, colocarlo el desecador enfriar y pesar.


3.4 Obtención del porcentaje de cenizas.

Materiales:

Materiales de laboratorio	Equipos
<ul style="list-style-type: none">• Crisol de porcelana• Pinzas• DeseCADador	<ul style="list-style-type: none">• Mufla (550-600° C), marca Thermo Scientific.• Balanza analítica, marca A&D, modelo HR-200.• Mechero

Metodología:

1



Pre incinerar en el mechero la muestra de materia seca contenida en el crisol hasta que la muestra se quemé.

2



Colocar en la mufla durante 2-3 horas.

3



Sacar con las pinzas, colóquelo en el desecador, enfriar durante 15 minutos y pesar.

3.5 Obtención del porcentaje de extracto etéreo o grasa método Soxhlet

Materiales de laboratorio:

Materiales de laboratorio	Equipos	Reactivo
<ul style="list-style-type: none"> • Dedales de celulosa • Pinzas • Perlas de vidrio • Papel de filtro • Algodón 	<ul style="list-style-type: none"> • Aparato extractor tipo Soxhlet • Matrazes bola fondo plano y boca esmerilada • Balanza analítica • Desecador 	<ul style="list-style-type: none"> • Hexano o éter anhídrido

Metodología:

1



Pesar 4 g de muestra sobre un papel filtro y después colocarlo en un dedal de asbesto.

2



Sacar de la estufa de secado un matraz bola de fondo plano, enfriar en el desecador y pesarlo

3



Agregar al matraz bola de fondo plano 250 ml de hexano o éter. Colocar el dedal con la muestra en el embudo Soxhlet y después ensamblarlo al tubo refrigerante.

4



Encender la parrilla de calentamiento y abrir la llave del agua fría. Dejar el sifoneo por un periodo de 10 horas, contando el tiempo a partir de cuando empiece a hervir

5



Retirar el dedal del embudo Soxhlet y recuperar el solvente.

6



Poner a peso constante nuevamente el matraz en la estufa por un espacio de 12 horas. Trascurrido el tiempo, sacar, enfriar y pesar

3.6 Obtención del porcentaje de fibra cruda.

Materiales de laboratorio	Equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Filtros de tela de lino • Embudo de vidrio • Espátula 	<ul style="list-style-type: none"> • Digestor Labconco • Vasos de Berzelius de 600 ml • Soporte para embudo 	<ul style="list-style-type: none"> • Ácido Sulfúrico 0.225 N • Hidróxido de Sodio 0.313 N • Agua destilada

Metodología:

1



Pesar 2 g de muestra desengrasada y colóquela en el vaso Berzelius.

2



Agregar 100 ml de solución de ácido sulfúrico 0.225 N.

3



Conectar al aparato de reflujo por un periodo de 30 minutos, al hervir bajar la temperatura, para que se mantenga en ebullición suave

4



Trascurrido el tiempo sacar y filtrar a través de una tela de lino y lavar con tres porciones de 100 ml de agua destilada caliente.

5



Con una espátula, vaciar la muestra nuevamente al vaso Berzelius, agregar 100 ml de hidróxido de Sodio y colocarla en el aparato de reflujo.

6



Pasado los 30 minutos, retirar el vaso Berzelius del aparato de reflujo y filtrar la muestra.

Lavar el vaso Berzelius y la muestra con agua caliente.

7



Sacar un crisol de la estufa de secado y enfríe en el desecador. Con la espátula, retirar el residuo sólido del filtro de tela y colocarlo en el crisol.

8



Colocar el crisol en la estufa durante 12 horas.

Sacar el crisol de la estufa con las pinzas, colocarlo en el desecador, enfriar y pesar.

9



Pre incinerar la muestra en parrillas y meter a la mufla a 600°C por 2 horas. Transcurrido el tiempo, sacar, enfriar y pesar.

3.7 Obtención del porcentaje de proteína cruda método Kjeldhal

Materiales de laboratorio	Equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none">• Matraz Kjeldahl de 800 ml• Matraz Erlenmeyer 500 ml• Bureta• Perlas de vidrio	<ul style="list-style-type: none">• Aparato de digestión y destilación Kjeldahl marca Labconco	<ul style="list-style-type: none">• Ácido sulfúrico 0.1 N• Hidróxido de sodio 45 %• Ácido bórico 4%• Indicador mixto• Agua destilada• Mezcla reactiva de selenio• Ácido sulfúrico concentrado

Metodología: Fase de digestión.

1



Pesar 1 gramo de muestra y colocarla en el matraz Kjeldhal
Agregar 1 cucharada de mezcla reactiva de selenio

2



Agregar 5 perlas de vidrio

3



Agregar 30 ml de ácido sulfúrico concentrado.

4



Colocar el matraz en el digestor Kjeldhal, encienda la parrilla de calentamiento y el motor aspirador de gases. Digerir la muestra hasta que cambie de color café oscuro a verde claro.

Metodología: Fase de destilación.

1



Enfriar el matraz Kjeldahl, agregar 300 ml de agua destilada y después añadir 110 ml de hidróxido de sodio y 6-7 granallas de zinc.

2



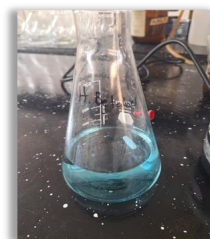
En el matraz Erlenmeyer colocar 50 ml de ácido bórico y 5-6 gotas de indicador mixto.

3



Colocar el matraz Kjeldahl en el aparato de destilación, encender la parrilla de calentamiento y conectar la boca del matraz al bulbo de destilación.

4



Colocar la manguera del destilador dentro del matraz Erlenmeyer y recibir de 200 a 300 ml de destilado.

Metodología: Fase de titulación.

1



Titular el destilado con ácido sulfúrico 0.1 N hasta observar el cambio de color de azul a rojo.

3.8 Obtención del porcentaje de extracto libre de nitrógeno.

Para obtener este porcentaje se utiliza la siguiente fórmula:

$$\% \text{ E. L.N.} = 100 - (\% \text{ Cenizas} + \% \text{ E. E.} + \% \text{ P. C.} + \% \text{ F. C.})$$

E.L.N.: Extracto Libre de Nitrógeno (Carbohidratos solubles/digeribles).

Cenizas: Minerales totales o materia inorgánica.

E.E.: Extracto Etéreo (Grasas o lípidos crudos).

P.C.: Proteína Cruda.

F.C.: Fibra Cruda

Tabla 3 Determinación del porcentaje de extracto libre de nitrógeno en las formulaciones evaluadas.

Tratamiento		%Cenizas	%PC	%EE	%FC	% E.L.N.
Testigo	T1R1	1.84	13.51	19.36	0.44	64.85
	T1R2	1.91	13.41	18.90	0.37	65.41
	T1R3	1.83	10.84	19.16	0.53	67.65
F1	F1R1	2.14	11.52	19.64	0.60	66.11
	F1R2	2.15	13.37	19.80	0.82	63.87
	F1R3	2.24	13.53	19.52	0.74	63.97
F2	F2R1	2.23	13.55	18.11	1.03	65.09
	F2R2	2.21	14.11	18.68	1.16	63.84
	F2R3	2.31	13.93	18.55	1.11	64.10
	F3R1	2.31	12.98	19.24	1.16	64.31

F3	F3R2	2.15	13.48	19.59	1.08	63.70
	F3R3	2.11	13.65	21.37	1.16	61.72
F4	F4R1	2.46	14.52	21.85	1.11	60.07
	F4R2	2.57	12.01	22.00	1.51	61.91
	F4R3	2.64	13.96	21.68	1.44	60.28
Harina de betabel	H. B	2.29	13.68	0.49	6.50	77.04

3.9 Obtención del porcentaje de kilocalorías/100 g

Para obtener este porcentaje se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{kcal/100} = ((\text{ELN} \cdot 4) + (\text{P.C.} \cdot 4) + (\text{E.E.} \cdot 9))$$

Tabla 4 . Determinación del porcentaje de kcal/100 g en las formulaciones evaluadas.

Tratamiento		%PC	%EE	%ELN	Kcal/100 g
Testigo	T1R1	13.51	19.36	64.85	487.67
	T1R2	13.41	18.90	65.41	485.38
	T1R3	10.84	19.16	67.65	486.41
F1	F1R1	11.52	19.64	66.11	487.27
	F1R2	13.37	19.80	63.87	487.12
	F1R3	13.53	19.52	63.97	485.64
F2	F2R1	13.55	18.11	65.09	477.49
	F2R2	14.11	18.68	63.84	479.95
	F2R3	13.93	18.55	64.10	479.10
F3	F3R1	12.98	19.24	64.31	482.33
	F3R2	13.48	19.59	63.70	485.00
	F3R3	13.65	21.37	61.72	493.81
F4	F4R1	14.52	21.85	60.07	494.96
	F4R2	12.01	22.00	61.91	493.65
	F4R3	13.96	21.68	60.28	492.06
Harina de betabel	H. B	13.68	0.49	77.04	367.32

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

A continuación, se describen los resultados obtenidos de la investigación, los cuales se obtuvieron por medio de un análisis de varianza (ANVA) de los datos y mediante una prueba de medias de Fisher ($\alpha \leq 0.05$) utilizando el paquete estadístico Staplus:macPro (2018).

Las variables evaluadas fueron las siguientes: % Humedad (% H), % Cenizas (% C), % Proteína cruda (% PC), % Extracto etéreo o Grasa (% EE), % Fibra cruda (% FC), % Extracto libre de nitrógeno o carbohidratos (% ELN), Contenido Calórico (kcal/100 g).

4.1 % Humedad.

Tabla 5 Resultados promedio obtenido en el análisis del porcentaje de humedad en las formulaciones evaluadas.

Formulación	% Humedad
F1	1.55 a*
F2	1.41 a
F3	1.07 a
F4	0.99 a
T	1.43 a

*Los promedios seguidos por la misma literal son estadísticamente iguales, según Fisher ($\alpha \leq 0.05$).

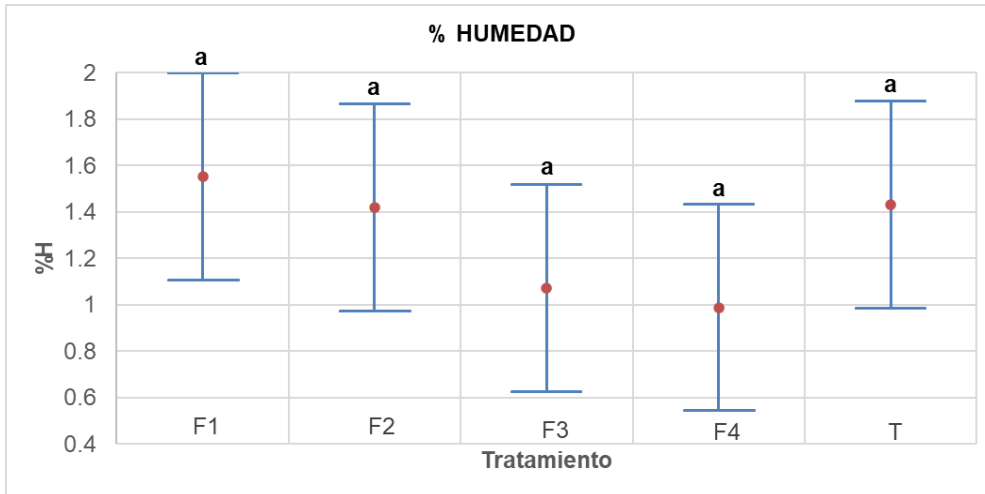


Figura 1. Grafica porcentaje de humedad.

En la Figura 1: se observa que no existieron diferencias significativas entre las diferentes formulaciones evaluadas en el porcentaje de humedad. Estos resultados indican que la adición de harina de betabel no afectó de manera considerable el contenido de humedad del producto final.

M. E. Martínez (2023), quien elaboró un pan danés con una formulación compuesta por 50 % de harina de amaranto y 40 % de harina de trigo, obteniendo un contenido de humedad de 3.88 %, mientras que el tratamiento testigo presentó 2.45 %.

Asimismo, C. G. H. Cedeño (2025) evaluó el efecto de la harina de zanahoria en la elaboración de galletas con formulaciones T1 (5 %) y T2 (15 %), obteniendo valores de humedad de 6.15 % y 3.09 %, respectivamente, demostrando que, a mayor porcentaje de adición de harina de zanahoria, menor fue el contenido de humedad.

De igual manera, Pomasa et al. (2025) elaboraron galletas con harina de maíz enriquecida con harina de epicarpio de plátano al 9 % de formulación, reportando un contenido de humedad de 1.77 %

4.2 % Ceniza.

Tabla 6. Resultados promedio obtenido en el análisis del porcentaje de cenizas en las formulaciones evaluadas.

Formulación	% Ceniza
F1	2.17 b*
F2	2.25 b
F3	2.18 b
F4	2.56 a
T	1.85 c

*Los promedios seguidos por la misma literal son estadísticamente iguales, según Fisher ($\alpha \leq 0.05$).

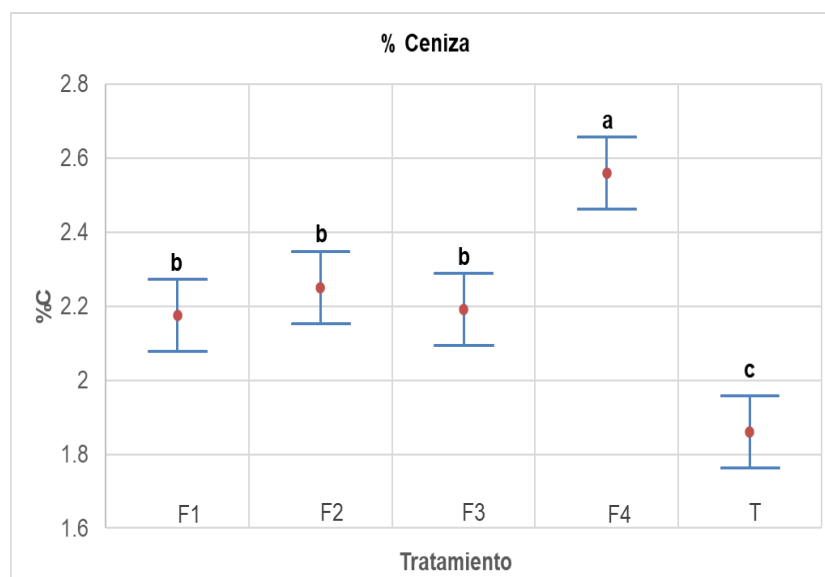


Figura 2. Gráfica porcentaje de ceniza.

En la Figura 2: se muestra que las formulaciones F1, F2 y F3 son iguales estadísticamente pudiera deberse a que las concentraciones de harina de betabel fueron de 5 %, 8 % y 10 % respectivamente, mientras que las formulaciones F4 presentaba 12 % de harina de betabel, y el Testigo si presentó 1.85 % ya que este tratamiento es de harina de avena. Estos resultados coinciden con lo reportado por Restrepo, M. P. V. (2023), quien elaboró pan a base de harina de calabaza y harina

de trigo con distintos porcentajes de adición de harina (T1 20 %, T2 15 %, T3 10 %, T4 5% y T5 3 %) obteniendo valores de ceniza 2.84 % y 2.24 % para los tratamientos T3 y T4. De igual manera, Martínez, M. E. (2023), elaboró un pan danés con harina de amaranto en formulaciones de 30 %, 50 % y 70 %, reportando que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados; sin embargo, la formulación de 50 % de harina de amaranto presento un contenido de ceniza de 1.18 %.

4.3 % Proteína cruda.

Tabla 7. Resultados promedio obtenido en el análisis del porcentaje de proteína cruda en las formulaciones evaluadas.

Formulación	% PC
F1	12.80 a*
F2	13.87 a
F3	13.37 a
F4	13.49 a
T	12.59 a

*Los promedios seguidos por la misma literal son estadísticamente iguales, según Fisher ($\alpha \leq 0.05$).

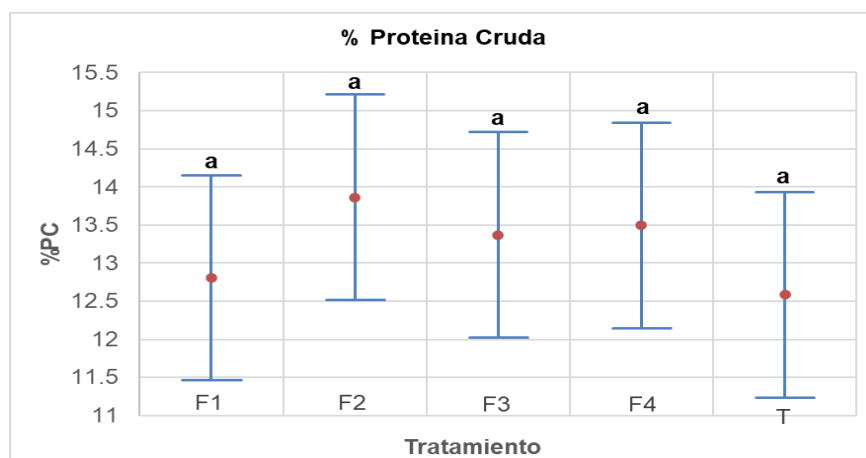


Figura 3. Grafica porcentaje de proteína cruda

En la Figura 3: se observa que no existe diferencia significativa entre las diferentes formulaciones evaluadas. De manera similar, Marcos et al. (2023) estudiaron el efecto de la adición de harina de orujo de uva (*Vitis vinifera*) de las variedades Arinto (A) y Touriga Nacional (TN) en galletas saladas con un 10 % de incorporación, obteniendo contenidos de proteína de 8,57 % y 9,63 %, respectivamente. En comparación con la formulación F3 elaborada con 10 % de harina de betabel, se observó un mayor contenido de proteína en el tratamiento con harina de betabel.

Asimismo, Jacinto G. (2020) elaboró panes sin gluten utilizando harinas de cáscara de papa, semilla de calabaza y quinua, evaluando formulaciones con porcentajes de adición de 2,5 %, 5 % y 7,5 %. Los resultados mostraron contenidos de proteína de 2,1 %, 2,0 % y 1,7 %, respectivamente, observándose que, a mayor adición de harina, menor fue el contenido de proteína. Estos valores fueron inferiores a los obtenidos en las formulaciones de mi investigación.

4.4 % Extracto etéreo o grasa.

Tabla 8. Resultados promedio obtenido en el análisis del porcentaje de extracto etéreo en las formulaciones evaluadas.

Formulación	% EE
F1	19.65 b*
F2	18.44 c
F3	20.06 b
F4	21.84 a
T	19.14 bc

*Los promedios seguidos por la misma literal son estadísticamente iguales, según Fisher ($\alpha \leq 0.05$).

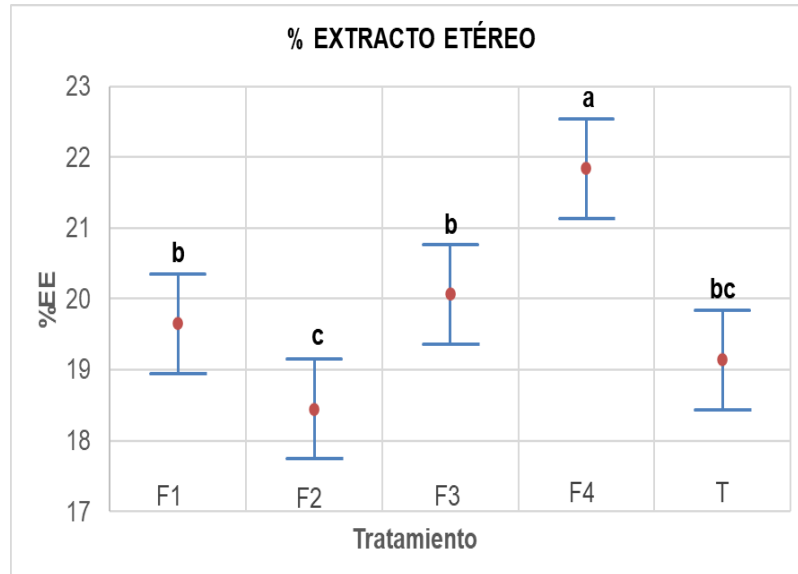


Figura 4. Grafica porcentaje de extracto etéreo.

En la Figura 4: se muestra que las formulaciones F1, F3 y T son iguales estadísticamente mientras que las formulaciones F2 y F4 si presentaron diferencias entre sí. Segura et al. (2022) elaboró pan y galletas sustituidos con harina de cascara de plátano, reportando que el pan con 10 % de sustitución presentó 10,7 % de grasa, mientras que las galletas elaboradas con 10 % y 20 % de adición de harina de plátano alcanzaron valores de 30,2 % y 31,5 % de grasa, respectivamente. T Cedeño, C. G. H. (2025), elaboró galletas con harina de zanahoria y trigo en formulaciones de 5 %, 15 % y 25 %, obteniendo contenidos de grasa de 18,62 %, 14,52 % y 8,42 %, respectivamente.

4.5 % Fibra cruda.

Tabla 9. Resultados promedio obtenido en el análisis del porcentaje de fibra cruda en las formulaciones evaluadas.

Formulación	% FC
F1	0.71 c*
F2	1.09 b
F3	1.13 ab

F4	1.35 a
T	0.44 d

*Los promedios seguidos por la misma literal son estadísticamente iguales, según Fisher ($\alpha \leq 0.05$).

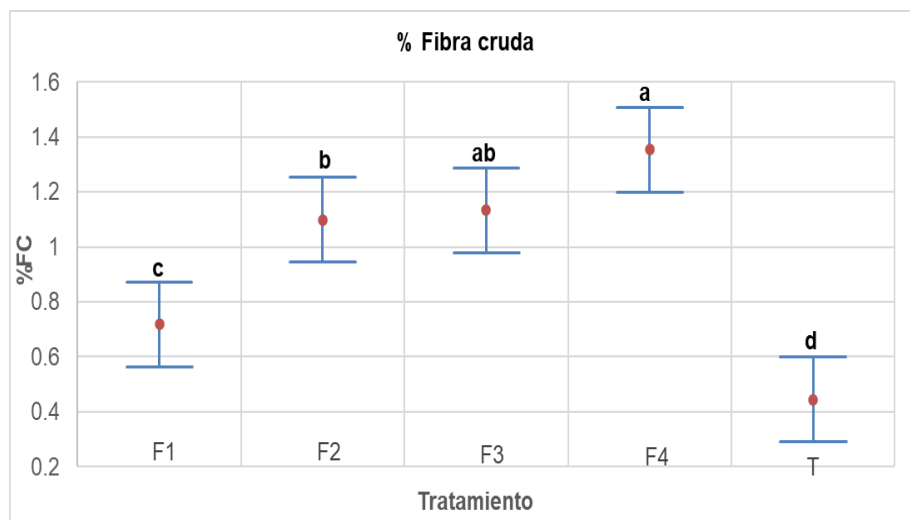


Figura 5. Grafica porcentaje de fibra cruda.

En la Figura 5: se muestra que las formulaciones F2, F3 y F4 son iguales estadísticamente mientras que las formulaciones F1 y T si presentaron diferencias entre sí, mostrando que a mayor adicción de harina de betabel mayor porcentaje de fibra cruda. En la investigación que hizo Martínez, M. E. (2023), sus resultados fueron mayores a los de esta evaluación, quien evaluó un pan adicionado con harina de amaranto al 50 % obteniendo 5.32 % de fibra cruda.

Asimismo, Pomasa et al. (2025) elaboraron galletas con harina de maíz enriquecida con harina de epicarpio de plátano al 9 % de formulación, reportando un contenido de fibra cruda de 19.48 %.

4.6 % Carbohidratos.

Tabla 10. Resultados promedio obtenido en el análisis del porcentaje de carbohidratos en las formulaciones evaluadas.

Formulación	% CHOS
F1	64.64 ab*
F2	64.34 ab
F3	63.24 b
F4	60.75 c
T	65.97 a

*Los promedios seguidos por la misma literal son estadísticamente iguales, según Fisher ($\alpha \leq 0.05$).

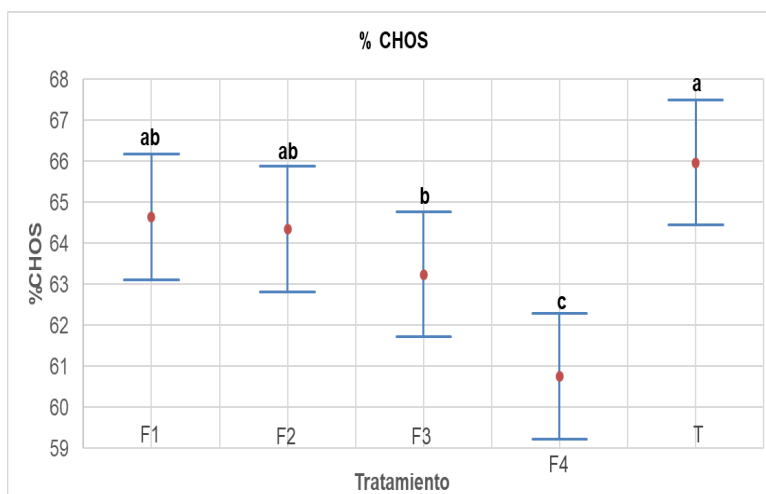


Figura 6. Grafica porcentaje de carbohidratos.

En la Figura 6: se observa que las formulaciones F1, F2, F3 y T no presentaron diferencias significativas entre sí; mientras que la formulación F4 mostró diferencias estadísticas, destacándose por presentar el menor contenido de carbohidratos. Esto podría atribuirse al mayor porcentaje de adición de harina de betabel 12 % empleado en dicha formulación.

De manera similar, Quitral V. et al. (2022) sustituyeron el 10 % de harina de trigo por harinas elaboradas a partir de cáscara de manzana, zanahoria y calabaza (P2, P3

y P4, respectivamente), obteniendo contenidos de carbohidratos de 38,48 % para harina de manzana (HM), 42,7 % para harina de zanahoria (HZ) y 40,68 % para harina de calabaza (HC).

Carrillo, C. et al., (2020), realizaron un pan tipo baguette utilizando harinas de trigo y chícharo, con formulaciones de T1 10 %, T2 15 % y T3 20 % de adicción de harina de chícharo respectivamente mostrando resultados bajos de carbohidratos entre 46.92 % y 42.54 %.

4.7 Kilocalorías/ 100 g.

Tabla 11. Resultados promedio obtenido en el análisis del porcentaje de kcal/ 100 g en las formulaciones evaluadas.

Formulación	kcal/ 100 g
F1	486.67 b*
F2	478.84 c
F3	487.04 b
F4	493.55 a
T	486.48 b

*Los promedios seguidos por la misma literal son estadísticamente iguales, según Fisher ($\alpha \leq 0.05$).

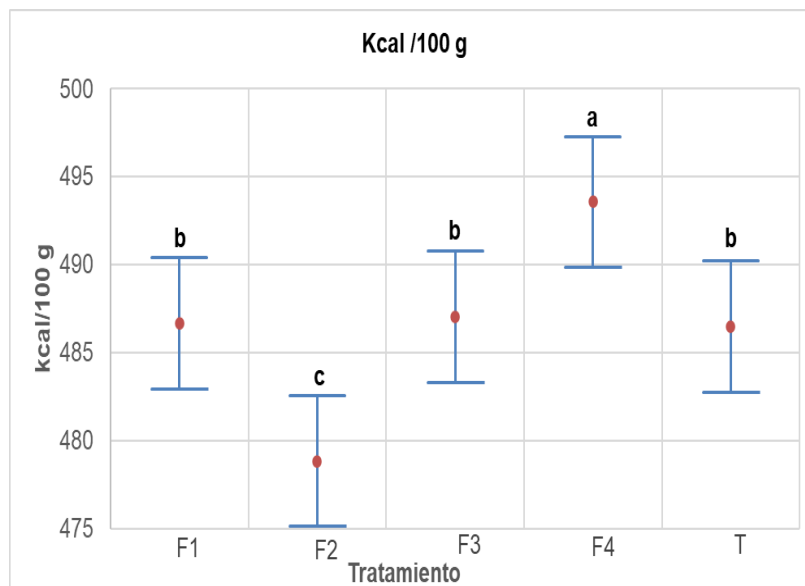


Figura 7. Grafica porcentaje de kcal/ 100 g

En la Figura 7: se observa que las formulaciones F1, F3 y T no presentaron diferencias significativas entre sí; mientras que las formulaciones F2 y F4 mostraron diferencias estadísticas en el contenido energético. El incremento de kcal observado en las formulaciones con mayor porcentaje de harina de betabel podría estar relacionado con la composición nutricional de la harina incorporada.

Pomasa et al. (2025) elaboraron galletas de maíz enriquecidas con harina de epicarpio de plátano al 9 % de formulación, reportando un contenido energético de 570,77 kcal/g; mientras que el tratamiento control, elaborado únicamente con harina de maíz, presentó 572,10 kcal/g. Estos valores fueron superiores a los obtenidos en mi investigación, posiblemente debido a que la harina de plátano y maíz aporta una mayor concentración energética en comparación con la harina de betabel.

Restrepo M. P. V. (2023) elaboró pan a base de harina de calabaza y harina de trigo con diferentes porcentajes de adición de harina (T1 = 20 %, T2 = 15 %, T3 = 10 %, T4 = 5 % y T5 = 3 %), obteniendo valores energéticos de 303,11 kcal/g y 297,19 kcal/g para los tratamientos T4 y T5, respectivamente.

V. CONCLUSIONES

Se desarrolló un pan dulce sustituyendo parcialmente harina de trigo por harina de avena y betabel, se evaluaron sus propiedades nutricionales. Formulando concentraciones de harina de betabel al 0, 5, 8, 10 y 12 %.

Los resultados mostraron que la formulación 12 % de harina de betabel presentó mejores características nutricionales en cuanto a los niveles de fibra cruda con 1.35 %, minerales presentando 2.56 %, y menor cantidad de carbohidratos con 60.75 % lo que contribuye a mejorar el valor nutricional y funcional del pan.

VI. BIBLIOGRAFÍA.

- Alemayehu, G. F., Forsido, S. F., Tola, Y. B., & Amare, E. (2023). Nutritional and phytochemical composition and associated health benefits of oat (*Avena sativa*) grains and oat-based fermented food products. *TheScientificWorldJournal*, 2023, 2730175. <https://doi.org/10.1155/2023/2730175>
- Ashraf, W., Shehzad, A., Sharif, H. R., Aadil, R. M., Rafiq Khan, M., & Zhang, L. (2020). Influence of selected hydrocolloids on the rheological, functional, and textural properties of wheat-pumpkin flour bread. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(10), 1–11. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14777>
- Bjarnadottir, A. (2023, mayo 12). Oats 101: Nutrition facts and health benefits. Healthline; Healthline Media. <https://www.healthline.com/nutrition/foods/oats>
- Carrillo, C. et al., (2020). Evaluación fisicoquímica y sensorial de un pan tipo baguette utilizando harinas de trigo (*Triticum spp*) y chícharo (*Pisum sativum L.* <https://www.redalyc.org/pdf/6729/672972612009.pdf>
- Cedeño, C. G. H. (2025). Efecto de las harinas de zanahoria (*daucus carota*) y trigo (*triticum aestivum*) en las propiedades de galletas endulzadas con panela. <https://www.revistainvestigo.com/EditorInvestigo/index.php/hm/article/view/337/A7P>
- Central de datos alimentarios. Disponible en línea: <https://fdc.nal.usda.gov/> (consultado el 21 de junio de 2022).
- De Almeida, A., Llanes, M., De Almeida, J.-E., & Leal, K. (2023, March 29). 12 beneficios del betabel, para qué sirve, propiedades (y cómo consumir). *Tua Saúde*. <https://www.tuasaude.com/es/betabel/>
- Gómez-Aldapa, C. A., Rangel-Vargas, E., Bautista-De León, H., & Castro-Rosas, J. (2014). Presence of non-O157 Shiga toxin-producing *Escherichia coli*, enterotoxigenic *E. coli*, enteropathogenic *E. coli* and *Salmonella* in fresh beetroot (*Beta vulgaris L.*) juice from public markets in Mexico. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(13), 2705–2711. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6614>
- Jacinto, G., Stieven, A., Maciel, M. J., & Souza, C. F. V. de. (2020). Effect of potato peel, pumpkin seed, and quinoa flours on sensory and chemical

- characteristics of gluten-free breads. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23, e2019169. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.16919>
- Knez, E., Kadac-Czapska, K., Dmochowska-Ślęzak, K., & Grembecka, M. (2022). Root vegetables-composition, health effects, and contaminants. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 15531. <https://doi.org/10.3390/ijerph192315531>
 - Kunachowicz, H.; Przygoda, B.; Nadolna, I.; Iwanow, K. *Tabele Składu i Wartości Odżywczej Żywności*, 2a ed.; PZWL: Varsovia, Polonia, 2017; pag. 475
 - Lante A., E. Canazza and P. Tessari (2023) Beta-glucans of cereals: functional and technological properties. *Nutrients* 15:2124, <https://doi.org/10.3390/nu15092124>
 - López, D. F. F. K. (2025). Aprovechamiento de epicarpio de frutas y hortalizas en la elaboración de productos de panificación. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/74226/Kcardonal.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 - López-Palacios, K. G., Gonzales-Cortés, N., J, M.-E. E., Luna Jimenez, A. L., & Jimenez-Vera, R. (2018). Jugo de betabel (*Beta vulgaris* L.) y panela fermentados con *Saccharomyces bayanus*. In *Crescendo*, 9(3), 368–370. <file:///C:/Users/CristhianMoreno/Downloads/2032-7290-1-PB.pdf>
 - Marcos, J., Carriço, R., Sousa, M. J., Palma, M. L., Pereira, P., Nunes, M., & Nicolai, M. (2023). Effect of Grape Pomace Flour in Savory Crackers: Technological, Nutritional and Sensory Properties. *MDPI*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/FOODS12071392>
 - Martínez Cruz, E., et al. (2025). Determinación del contenido de β -glucanos en avena. *Revista Fitotecnia Mexicana*.
 - Martínez, M. E. (2023). Elaboración de un pan tipo Danés complementado con harina de amaranto. <https://idcyta.uanl.mx/index.php/i/article/view/7/3>
 - Mesas, J. M., & Alegre, M. T. (2002). El pan y Su Proceso de elaboración the bread and its processing o pan e o seu Proceso DE elaboración. *Ciencia y Tecnologia Alimentaria*, 3(5), 307–313. <https://doi.org/10.1080/11358120209487744>

- Paudel D., B. Dhungana, M. Caffè and P. Krishnan (2021) A review of health-beneficial properties of oats. *Foods* 10:2591, <https://doi.org/10.3390/foods10112591>
- Pomasa, P., Sai-Ut, S., Sinthusamran, S., & Techavuthiporn, C. (2025). Valorization of banana peel by-product: An innovative component for gluten-free cookies rendered with corn flour. *Journal of Agriculture and Food Research*, 19(1), 101744. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2025.101744>
- Punia Bangar, S., Singh, A., Chaudhary, V., Sharma, N., & Lorenzo, J. M. (2023). Beetroot as a novel ingredient for its versatile food applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(26), 8403-8427. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2055529>
- Quitral, V. et al., (2022). Cáscaras de frutas y vegetales como ingrediente en pan: aporte nutricional, saciedad y preferencia sensorial: Análisis de pan con cáscaras como ingrediente. *Revista Española De Nutrición Humana Y Dietética*, 26(Supl. 1). <https://doi.org/10.14306/renhyd.26.S1.1467>
- Restrepo, M. P. V. (2023). Panificación con harinas compuestas de trigo y ahuyama (*Cucurbita moschata* Duchesne).
- Ruja A., A. Cozma, B. Cozma, N. M. Horablaga, C. Dinulescu, E. Alexa, ... and I. M. Imbrea (2024) Nutritional, phytochemical, and rheological profiles of different oat varieties and their potential in the flour industry. *Agronomy* 14:1438, <https://doi.org/10.3390/agronomy14071438> SAS Institute (2004)
- Sakee, U. (2014). efecto del procesamiento termico de antioxidantes. *Tetrahedron Letters* 55, 3909.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, S. (2015). La avena, reina de los cereales. [gob.mx. https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/la-avena-reina-de-los-cereales](https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/la-avena-reina-de-los-cereales)
- Segura, B. O. Kammar, G. A. Mosso, V. J. Ávila, S. R. Ochoa, V. C. Hernández, C. P. Navarro, C. A. (2022). Potential use of banana peel (*Musa cavendish*) as ingredient for pasta and 94 bakery products. published by Elsevier Ltd. VOLUME 8, ISSUE 10, E11044. [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(22\)02332-5](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(22)02332-5)

- SIAP, Servicio Información Agroalimentaria y Pesquera (2024) Panorama Agroalimentario 2018-2024. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. 207 p.
- Singla A., O. P. Gupta, V. Sagwal, A. Kumar, N. Patwa, N. Mohan, ... and G. Singh (2024) Beta-glucan as a soluble dietary fiber source: origins, biosynthesis, extraction, purification, structural characteristics, bioavailability, biofunctional attributes, industrial utilization, and global trade. *Nutrients* 16:900, <https://doi.org/10.3390/nu16060900>
- Sofi S. A., J. Singh and S. Rafiq (2017) β -glucan and functionality: a review. *Ecronicon Nutrition* 10:67-74.
- Sterna V., S. Zute and L. Brunava (2016) Oat grain composition and its nutrition benefice. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 8:252-256, <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.100>
- Tejero, F. 1992-1995. Panadería Española. (2 Vols.). Ed.Montagud, Barcelona.