

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL



DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

“Evaluación de cepas acido-lácticas en la producción de un pan funcional de masa madre a base de harina de Agave.”

Por:

Florencia Jazmin Millán Millán

TESIS

Presentada Como Requisito Parcial Para Obtener el Título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL



“Evaluación de cepas ácido-lácticas en la producción de un pan funcional de masa madre a base de harina de Agave.”

Por:

Florencia Jazmin Millán Millán

TESIS

Presentada Como Requisito Parcial Para Obtener el Título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio 2026

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

Evaluación de cepas ácido-lácticas en la producción de un pan funcional de masa madre a base de harina de Agave.

Por:

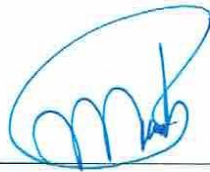
FLORENCIA JAZMIN MILLAN MILLAN

TESIS

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

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Fue dirigida y aprobada por el siguiente comité Asesor:



Dr. Mario Alberto Cruz Hernández
Director



Q.F.B. María del Carmen Julia García
Asesor



Dra. Ruth Elizabeth Belmares Cerda
Asesor



Dra. Marisol Martínez Hernández
Asesor



M.C. Pedro Carrillo López
Coordinador de la División de Ciencia Animal

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2026

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

Evaluación de cepas ácido-lácticas en la producción de un pan funcional de masa madre a base de harina de Agave.

Por:

FLORENCIA JAZMIN MILLAN MILLAN

TESIS

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

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

APROBADA

Dr. Mario Alberto Cruz Hernández
Presidente

Q.F.B. María del Carmen Julia García
Vocal

Dra. Ruth Elizabeth Belmares Cerda
Vocal

Dra. Marisol Martínez Hernández
Vocal

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2026

DECLARATORIA DE NO PLAGIO

DECLARO QUE:

El trabajo de investigación titulado **“Evaluación de cepas ácido-lácticas en la producción de un pan funcional de masa madre a base de harina de Agave.”** es una producción personal, donde no se ha copiado, replicado, utilizado ideas, citas integrales e ilustraciones diversas, obtenidas de cualquier tesis, obra intelectual, artículo, memoria, (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor.

En este sentido, lo anterior puede ser confirmado por el lector, estando consciente de que en caso de comprobarse plagio en el texto o que no se respetaron los derechos de autor; esto será en objeto de sanciones del Comite Editorial y/o legales a las que haya lugar; quedando, por tanto, anulado el presente documento académico sin derecho a la aprobación del mismo, ni a un nuevo envío.

ATENTAMENTE

Alma Terra Mater

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'F. J. Millan', is written over a horizontal line.

Florencia Jazmin Millan Millan
Autor Principal

AGRADECIMIENTOS

Principalmente, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a **Dios**, pionero de mi fuerza y guía a lo largo de este camino. Quien con su luz a iluminado mis pasos, me ha dado sabiduría, salud y amor incondicional, a pesar de que en el transcurso de este gran camino sentía caer el mundo entero sobre mí, el me ayudo incondicionalmente. Estoy profundamente agradecida por cada una de sus bendiciones que me ha otorgado y por la paz que me ha brindado en momentos de incertidumbre, gracias por siempre cuidarme de cada viaje realizado a casa, por nunca dejarme sola en este mundo tan cruel, con mucha gratitud en mi corazón dedico este trabajo a él.

A mi mamá, cuyo amor incondicional han sido el pilar de mi vida. Su sacrificio, dedicación y enseñanzas me han inspirado a perseguir mis sueños con determinación. Gracias por siempre estar a mi lado a pesar de la distancia, por siempre confiar en mí a pesar de que tus ojitos se ponían tristes por verirme de tu lado, gracias por cada palabra de motivación, por nunca dejarme caer en los momentos más difíciles y celebrando mis logros. Este trabajo es tan suyo como mío, estoy profundamente agradecida por todo lo que ha hecho por mí. La amo mucho.

A mi papá, gracias por demostrarme su amor y cariño como solo usted sabe serlo, por siempre estar a mi lado a pesar de la distancia, por siempre confiar en mí y dejar que su niña volara a pesar de que sus lágrimas en los eran su forma de “decirme te amo hija ve a luchar por ese sueño”, por demostrarme que siempre puedo confiar en usted, por esas palabras de “échale ganas hija” o “siempre aprende todo lo que más puedas y se agradecida con las personas”, gracias por forjarme y educarme para ser la persona que ahora soy. Este trabajo es inspirado en usted, infinitas gracias por todo lo que ha hecho por mí. Lo amo mucho.

A mi hermano Artemio, gracias por siempre escucharme, por estar a mi lado a pesar de la distancia, por demostrarme amor y cariño incondicional a pesar de ser tan distantes uno del otro, el amor de hermanos que nos tenemos mutuamente puede cruzar fronteras y siempre hará que uno del otro nos apoyemos, agradezco a mis padres por darme un hermano mayor. Este trabajo es una forma de agradecer todo lo que haces por mí, te quiero mucho hermano.

A mi hermana Aurora, gracias por darme ese cariño y amor incondicional, por esas palabras de aliento y esas conversaciones reflexivas, porque a pesar de la diferencia de edades que tenemos has aprendido a escucharme y motivarme, gracias por siempre estar en cada momento, por confiar en mí, por siempre admirar

Principalmente, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a **Dios**, pionero de mi fuerza y guía a lo largo de este camino. Quien con su luz a iluminado mis pasos, me ha dado sabiduría, salud y amor incondicional, a pesar de que en el transcurso de este gran camino sentía caer el mundo entero sobre mí, el me ayudo incondicionalmente. Estoy profundamente agradecida por cada una de sus

bendiciones que me ha otorgado y por la paz que me ha brindado en momentos de incertidumbre, gracias por siempre cuidarme de cada viaje realizado a casa, por nunca dejarme sola en este mundo tan cruel, con mucha gratitud en mi corazón dedico este trabajo a él.

A mi mamá, cuyo amor incondicional han sido el pilar de mi vida. Su sacrificio, dedicación y enseñanzas me han inspirado a perseguir mis sueños con determinación. Gracias por siempre estar a mi lado a pesar de la distancia, por siempre confiar en mí a pesar de que tus ojitos se ponían tristes por ver irme de tu lado, gracias por cada palabra de motivación, por nunca dejarme caer en los momentos más difíciles y celebrando mis logros. Este trabajo es tan suyo como mío, estoy profundamente agradecida por todo lo que ha hecho por mí. La amo mucho.

A mi papá, gracias por demostrarme su amor y cariño como solo usted sabe serlo, por siempre estar a mi lado a pesar de la distancia, por siempre confiar en mí y dejar que su niña volara a pesar de que sus lágrimas en los eran su forma de “decirme te amo hija ve a luchar por ese sueño”, por demostrarme que siempre puedo confiar en usted, por esas palabras de “échale ganas hija” o “siempre aprende todo lo que más puedas y se agradecida con las personas”, gracias por forjarme y educarme para ser la persona que ahora soy. Este trabajo es inspirado en usted, infinitas gracias por todo lo que ha hecho por mí. Lo amo mucho.

A mi hermano Artemio, gracias por siempre escucharme, por estar a mi lado a pesar de la distancia, por demostrarme amor y cariño incondicional a pesar de ser tan distantes uno del otro, el amor de hermanos que nos tenemos mutuamente puede cruzar fronteras y siempre hará que uno del otro nos apoyemos, agradezco a mis padres por darme un hermano mayor. Este trabajo es una forma de agradecer todo lo que haces por mí, te quiero mucho hermano.

A mi hermana Aurora, gracias por darme ese cariño y amor incondicional, por esas palabras de aliento y esas conversaciones reflexivas, porque a pesar de la diferencia de edades que tenemos has aprendido a escucharme y motivarme, gracias por siempre estar en cada momento, por confiar en mí, por siempre admirar

mi valentía de poder ser la única hija que se fue lejos de casa. Y ahora este trabajo es una forma de demostrar y agradecer por todo el apoyo revido. Te quiero mucho hermana.

A mi hermano Cesar, las palabras no son suficientes para decirte lo mucho que agradezco, a Dios a la vida y a mis padres por darme un hermano como tú, mi compañero de vida, amigo y confidente, aunque no te lo digo eres como un padre para mí, porque siempre encuentras las palabras para motivarme y guiarme en cada paso que doy, por tu gran amor y cariño que me demuestras que hicieron cruzar fronteras, porque sin tu apoyo yo no pudiera ser lo que hoy soy, eres ese pilar que siempre aplaude mis logros y con tus palabras de “tú puedes chamaquita” que hacen que la distancia sea menos difícil, porque nunca me soltaste, te agradezco por todos los sacrificios que haces por verme feliz, por darme lo mejor y por siempre estar en cada momento, gracias por nunca soltarme Eres ese hombre que siempre admiraré y por el cual daría mi vida, te amo hermano solo quiero que entiendas que cada logro mío es logro tuyo, que mi esfuerzo es inspirado en ti y que mi único ideal es tu.

A mis sobrinas, a mis niñas hermosas que siempre me esperan con ansias a mi regreso a casa. **A Fatima** quien fue la que me dio el mejor título de la vida el ser tía, agradezco por la confianza que me tienes, porque a pesar de ser tan diferentes una de la otra entiende la vibra, gracias por siempre motivarme. **A Astrid** quien me ha enseñado a ver la vida de una manera diferentes y aunque me he perdido los mejores años de tu vida cada que estamos juntas la conexión de tía y sobrina es inexplicable, agradezco a dios por darme una sobrina tan amorosa y espectacular como tú. **A Cristel** la peque de la casa y consentida gracia por siempre demostrarme tu amor y cariño de niña, porque me has demostrado que la vida es una felicidad.

Gracias hermanos por darme el mejor regalo que puedo tener, porque a pesar de la distancia siempre están presente en mi mente y en mi corazón, nunca me cansare de amarlas y cuidarlas, de ser esa tía a la cual le tenga la confianza necesaria en cada momento, las amo mis niñas son mi inspiración para poder seguir luchando.

A mi cuñada Lucero, gracias infinitas por todo el cariño recibido, por motivarme y dame consejos, por permitirme ser parte de su familia, por brindarme la confianza de contarte mis planes de vida, eres esa persona que siempre admirare, ver como luchas día con día para sacar adelante a las niñas hace que siempre seas esa persona ideal, siempre estaré agradecida por todo lo que haces por mi te quiero y aprecio demasiado.

A mi familia, gracias infinitas por nunca dejarme sola, porque a pesar de la distancia siempre me hicieron ser parte de ustedes e incluirme, gracias por tantos momentos felices y por sus palabras motivadoras que hicieron que este gran camino no me sintiera sola. **A mí a mi abuelito Joel Millán Velázquez**, porque a pesar de ya no estar con nosotros en vida terrenal se fue sabiendo que su nieta lucharía por alcanzar su sueño de ser profesionista, gracias por tan bellos recuerdos a su lado y por enseñarme a ser fuerte. **A mi abuelita Emilia Olivares Flores**, que siempre

darme su bendición cada que salía de casa, por siempre estar pendiente de mí gracias por demostrarme que la vida es una lucha constante y que con fe y dios por delante las cosas salen bien. **A mi abuela Francisca Juárez Rayón**, porque a pesar de no ser tan presente en mi vida, nos demostró que el amor, cariño y respeto no es comprado si no que se gana a base de buenas acciones y de dejar el odio y rencor para tener una vida llena de grandes bendiciones. **A mi tía Gloria Álvarez Álvarez y mi tío Mario Millán Juárez**, gracias sinceras porque desde el día uno que supo que me vendría a estudiar lejos de casa, siempre pregunta por mí, por como estoy, por sus bendiciones y por su apoyo incondicional, son unas grandiosas personas que respeto y admiro demasiado, gracias por sus consejos, por su cariño y aprecio que me tienen, por nunca dejarme sola a pesar de la distancia los quiero mucho. **A mi tía Josefa Millán Olivares** gracias por siempre estar pendiente de mí, por recibirme en su casa, por quererme y cuidarme como su hija, por sus palabras de apoyo incondicional, es usted una tía espectacular que quiero y respeto demasiado.

A mis primos, a **Yareli Vázquez Trujillo**, gracias por demostrarme su gran cariño y aprecio incondicional, por seguirme en cada locura que se nos ocurre por ser parte de este gran camino, gracias por tantos momentos juntas, te quiero. A **Teresa Lizet Vázquez Trujillo**, gracias infinitas por tanto cariño y aprecio que me demuestras, porque a pesar de la distancia siempre nos tenemos confianza en todos los aspectos, por demostrarme que debemos ser fuerte, aunque la mente nos quiera dominar, gracias por cada momento a tu lado, cada risa, cada aventura que son inolvidables te quiero gordis. **A Noé Millán Alvares**, gracias por demostrarme tu cariño, por siempre alegrarse de mi llegada y por siempre preguntar cuando volveré, te quiero mucho. **A Liam Millán Alvares**, mi niño lindo gracias por demostrarme tu amor y cariño incondicional, porque a pesar de la distancia nuestra conexión es la misma, agradezco tanto a dios y a mis tíos por darme un niño sonriente y cariñoso que quiero mucho mi niño siempre te cuidare y protegeré. **A Cristiano Vásquez Mendoza**, mi niño hermoso gracias por demostrarme todo tu cariño y amor incondicional, por siempre estar presente en mi vida a pesar de la distancia, por siempre preguntar por mí y por nunca dejarte vencer, no tengo palabras para describir lo que siento de no ver estado en tu despedida, fuiste un niño muy valiente y ahora que estas con dios siempre te recordare como un niño valiente y aferrado a la vida que nunca se dejó vencer, te amo infinitamente.

A mis amigos, a todos mis amigos que siempre estuvieron a mi lado, apoyándome incondicionalmente, con sus palabras de motivación o simplemente escucharme en cada momento, las palabras me faltan para agradecer cada muestra de cariño porque si ustedes este camino será muy difícil de terminar.

A mi amiga Nely, gracias amiga por siempre estar para mí en cada momento de mi vida, por escucharme, por cada consejo, por siempre motivarme a continuar a pesar de la distancia y el no estar siempre juntas pudimos ser las amigas presentes en cada etapa de nuestra vida, te agradezco mucho por nunca dejarme sola, cada momento, cada risa son inolvidables, te quiero demasiado amiga.

A todas las personas que conocí de la universidad y que formaron parte de mí, gracias por tanto cariño y aprecio, hieren que mi llegada a esta ciudad fuera menos triste, por todas las compañeras y amigas locales que me demostraron su calidez y que podía contar con ellas en cada momento.

A Andrea, hermana gracias por tanto cariño y aprecio que me demostraste, por siempre motivarme a ser cada día una mejor persona, por ser mi inspiración y por nunca dejarme vencer, te adoro demasiado agradezco tanto a la vida, a la universidad y a nuestra segunda casa por permitirme conocerte, tener una amiga y confidente ya que más que eso una hermana, gracias por cada aventura vivida, cada risa y cada platica motivadora que teníamos, te quiero mucho hermana.

A Melany hermosa, gracias por tu amistad sincera, por siempre escucharme, por cada consejo, cada risa, cada momento a tu lado es especial, eres una grandiosa persona que siempre me demostró lealtad si confianza plena para ser yo misma, te quiero infinitamente.

A Jakeline guapa, gracias porque a pesar de ser local nunca me viste feo, al contrario, eres una grandiosa mujer, la cual admiro y respeto, tu nivel de perfección ha hecho que sea una mejor persona, gracias, por tanto, cada risa a tu lado, cada coraje, esas platicas constructivas y cada consejo, nunca olvidare que siempre fuiste mi chaleco salvavidas, me has ayudado incondicionalmente, que no sé cómo pagarte todo lo que haces por mí, por nunca dejarme vencer, te quiero tanto hermosa.

A Alondra hermosa, gracias por siempre apoyarme incondicionalmente, por cada momento a su lado, cada risa y claro cada coraje que te hacia pasar, pero a pesar de eso siempre me apoyaste, me motivaste a ser una mejor persona gracias, por tanto, te quiero mucho.

A Milthon hermoso, gracias amigo por demostrarme tu cariño y aprecio incondicional, por cada momento juntos, cada travesura, por todas esas platicas constructivas y motivacionales, eres una grandiosa persona que siempre lucha por lo que quiere, eres mi ejemplo a seguir porque he aprendido que la vida es sufrir para conseguir y que si no luchas por lo que quieres nunca llegarás a dónde quieres, te quiero demasiado amigo.

A Luz gracias por brindarme tu amistad, por tu apoyo y claro por cada conversación, eres una persona especial fuiste mi compañera de clases, de ir a comer juntas, de salir, gracias por cada momento. **A Liliana, Cristina**, gracias por tantos momentos a su lado, por su bonita amistad, por su cariño y aprecio son personas inolvidables en mi vida, siempre estaré orgullosa de que ustedes luchen y triunfen las quiero.

A todas las personas especiales que no solo son amigas de la universidad, sino que también de convivencia de vida, porque nuestra segunda casa me dio la oportunidad de poder conocer a personas extraordinarias, gracias porque a pesar de las diferencias nuestra convivencia fue sincera y mutua. **A Hortensia**, gracias hermana por demostrarme tu gran cariño y aprecio, por siempre motivarme y ser mi

inspiración, te adoro demasiado, gracias, por tanto. **A Paulina**, amiga de la vida gracias por tanto apoyo incondicional, por cada platica, cada risa y sobre todo por cada palabra de motivación que hicieron que nunca de diera por vencida que siempre lucha para seguir adelante y poder terminar este gran camino, gracias porque sin tu ayuda no sé qué hubiera pasado. **A Nataly**, gracias por cada momento, cada risa a tu lado eres una persona extraordinaria para mí.

Gracias infinitas a todas las personas que siempre estuvieron a mi lado, siempre estarán presentes en mi corazón las adoro demasiado.

A mi alma mater, gracias por brindarme la oportunidad de poder seguir con mi vida profesional, hoy puedo decir que ser buitre no es para tanto, es para siempre, porque a pesar de poner pausa momentánea a mi formación logre continuar y hoy por fin he terminado esta etapa tan maravillosa, gracias por permitirme formarme y forjarme como persona y profesionista, porque me diste más de lo que quería, una profesión, grandes amistades, grandiosos maestros, me brindaste un hogar y una familia que siempre estuvieron a mi lado y sobre todo el poder conocer una nueva ciudad.

Gracias a mis maestros y maestras quienes fueron parte importante en mi formación, por compartir sus conocimientos. **A las maestras: Mildred y Carme Julia**, gracias infinitas por siempre estar a mi lado incondicionalmente, me compartieron conocimiento, pero más que eso me brindaron su confianza que fue clave importante de mi formación, ustedes fueron mi chaleco salvavidas cuando la vida se me vino abajo, gracias por cada consejo son unas personas maravillosas que siempre estarán presentes en mi vida y en mi corazón.

Gracias por brindarme tantos momentos felices, cada sonrisa, cada platica constructiva y sobre todo ese gran intercambio de culturas que pude conocer, hoy me despido de ti no con un adiós si no con un hasta pronto, porque uno siempre regresa al nido donde fue feliz. "ALMA TERRA MATER".

DEDICATORIA

A Mis Padres SR. ISAAC MILLAN JUAREZ Y FELIPA MILLAN OLIVARES

Con todo el amor y la gratitud que mi corazón es capaz de expresar, les dedico estas palabras, que nacen desde lo más profundo de mi ser. No existen suficientes palabras del inmenso agradecimiento que siento por ustedes. Gracias por ser mi refugio en los días difíciles, por sostenerme cuando las fuerzas parecían desvanecerse y por iluminar mi camino incluso en los momentos de mayor incertidumbre. Gracias por impulsarme en cada logro alcanzado, por celebrar conmigo cada pequeño avance y por enseñarme que cada esfuerzo, por mínimo que parezca, siempre vale la pena.

Agradezco profundamente cada uno de sus sacrificios, cada desvelo, cada preocupación guardada en silencio y cada acto de amor que, muchas veces sin darme cuenta, hicieron posible que hoy esté aquí. Sus palabras de aliento en los momentos de duda fueron el impulso que necesitaba para no rendirme, y su fe inquebrantable en mí fue la luz que me guió cuando yo misma no lograba creer en mis propias capacidades. Cada paso que doy lleva su huella, porque han estado presentes en todo momento, acompañándome con su amor incondicional, con los valores firmes que me han inculcado y con esa fortaleza que me han enseñado con el ejemplo. Me han dado mucho más que la vida: me han dado herramientas para enfrentarla, principios para vivirla y motivos para seguir luchando.

Gracias por confiar en mí, por darme la libertad de crecer, de equivocarme y de aprender. Gracias por dejarme volar, pero siempre estando ahí, con los brazos abiertos, para sostenerme si lo necesitaba. Y, sobre todo, gracias por escucharme, por comprenderme y por brindarme ese amor sincero que ha sido mi mayor motor.

Son lo más valioso que tengo, mi mayor orgullo, mi ejemplo de vida y la inspiración constante que guía cada uno de mis sueños. Todo lo que soy y todo lo que aspiro a ser lleva su esencia, su enseñanza y su amor. Este logro no es solo mío, es también suyo, porque en cada paso han estado presentes, porque en cada meta alcanzada viven sus enseñanzas y porque en cada sueño cumplido se refleja todo lo que han hecho por mí.

Con profundo cariño, admiración y respeto, los amo infinitamente, hoy y siempre.

Mi Hermano

CESAR AUGUSTO MILLAN MILLAN

Con profundo amor y sincera gratitud, dedico este logro a quien, aun en la distancia, ha sido más que un hermano: mi compañero de vida, mi guía y mi mayor inspiración. Agradezco a la vida por darme a alguien como tú, aunque los kilómetros nos separen, tu presencia se siente en cada paso que doy, en cada meta que alcanzo y en cada momento en el que más te necesito, tu apoyo incondicional, tus palabras de aliento y tu ejemplo, has sabido impulsarme a seguir adelante.

Todo lo que hoy soy lleva tu huella, tu esfuerzo y tu confianza en mí, porque sin ti no habría sido posible lograr esta meta. Con todo mi cariño y admiración, te amo profundamente, hoy y siempre, sin importar la distancia. Este logro también es tuyo.

Índice

DECLARATORIA DE NO PLAGIO	V
AGRADECIMIENTOS	V
DEDICATORIA.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XVI
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
RESUMEN	XIX
ABSTRACT	XX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo General	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3. JUSTIFICACIÓN	4
4. ANTECEDENTES	5
4.1 Panes funcionales	5
4.1.1 Panes funcionales con simbióticos	5
4.1.2 Pan funcional a base de masa agria	5
4.1.3 Como influyen los probióticos en la absorción y liberación de minerales presentes en el pan	6
4.1.4 Beneficios para la salud del pan funcional con fructanos de agave	7
4.1.5 Pan con probióticos y la forma de mantener viables las bacterias durante el almacenamiento	8
4.2 Agaves en México	9
4.2.1 Magueyes (agaves) en México, diversidad, distribución y su importancia	9
4.3 Agaves en Coahuila	10
4.3.1 Vegetación del estado de Coahuila e importancia de algunas especies de agave en la región	10
4.4 Residuos de agave.....	11
4.4.1 Aprovechamiento de residuos del agave y su importancia en la industria alimentaria.....	11
4.4.2 Uso de bagazo de agave como ingrediente funcional en la elaboración de galletas	12
4.4.3 Revalorización de bagazo de agave para elaboración de masa madre y pan de trigo	13
4.4.4 Aprovechamiento de bagazo de agave pulquero en procesos agrícolas sostenibles	14
4.4.5 Importancia del agave en México y su aprovechamiento en distintas industrias.....	15

4.5 Bacterias ácido-lácticas	16
4.5.1 Importancia de la masa madre y las bacterias ácido lácticas en la industria alimentaria ...	16
4.5.2 Evaluación de cómo mantener vivos los prebióticos en el pan después del horneado	17
4.5.3 Análisis de probióticos vivos durante el horneado.....	18
4.5.4 Estudio de bacterias ácido lácticas presentes en masas madre tradicional de trigo	19
4.6 Microorganismos probióticos	20
4.6.1 Beneficios de los probióticos, prebióticos y simbióticos sobre la microbiota intestinal y enfermedades metabólicas	20
4.6.2 Beneficios de probióticos sobre la obesidad y la microbiota intestinal	21
4.6.3 Cómo proteger los probióticos en los alimentos.....	22
4.6.4 Alimentos funcionales y desarrollo de productos más saludables para consumidores.....	22
4.6.5 Efectos de los probióticos en el envejecimiento y estrés oxidativo en las personas	23
4.6.6 Efecto de suplemento simbiótico en personas con diabetes tipo 2.....	24
4.6.7 Importancia de los probióticos y prebióticos sobre la salud humana	25
4.7 Fermentación en los panes	26
4.7.1 Desarrollo de pan funcional de masa madre con probióticos y prebióticos	26
4.7.2 Masa madre y bacterias ácido lácticas	26
4.7.3 Calidad del pan a partir de procesos enzimáticos y microbianos durante la fermentación de la masa	27
4.8 Propiedades y características de los panes funcionales	28
4.8.1 Comparación de pan con probióticos y pan sin gluten	28
4.8.2 Calidad nutricional del pan sin gluten	29
4.9 Alimentos funcionales.....	29
4.9.1 Alimentos funcionales y como son definidos	29
5. MATERIALES Y MÉTODOS	32
5.1 Materiales	32
5.2 Metodología.....	32
5.2.1 Inoculación y crecimiento de los microorganismos.....	32
5.2.2 Obtención de las harinas de agave y trigo	33
5.2.3 Preparación de la harina de agave.....	33
5.2.4 Preparación de la masa madre	34
5.2.5 Preparación del pan	35

5.2.6 Determinación de análisis fisicoquímicos del pan y la harina de agave	37
5.2.6.1 Determinación de cenizas (minerales) y materia seca total	37
5.2.6.2 Determinación de proteína	38
5.2.6.3 Determinación de lípidos por el método de Soxhlet	39
5.2.6.4 Determinación de fibra	41
5.2.7 Características físicas del pan	42
5.2.7.1 Colorimetría	42
5.2.7.2 Esponjosidad	43
5.2.7.3 Textura	44
5.2.8 Evaluación sensorial	44
6. RESULTADOS Y DISCUSIONES	47
6.1 Conteo de microorganismos	47
6.2 Análisis bromatológico	48
6.2.1 Determinación de humedad	48
6.2.2 Determinación de cenizas	48
6.2.3 Determinación de proteína	49
6.2.4 Determinación de grasa	50
6.2.5 Determinación de fibra	51
6.3 Características físicas del pan	52
6.3.1 Colorimetría	52
6.3.2 Esponjosidad	53
6.3.3 Textura	54
6.4 Evaluación sensorial	54
7. CONCLUSIONES	56
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pan funcional con probioticos	6
Figura 2. Pan funcional a base de masa agria	7
Ilustración 3. Microobiota intestinal sana	8
Figura 4. Beneficios del pan funcional con fructanos	9
Ilustración 5. Pan con probioticos	10
Figura 6. Agave pulquero	11
Figura 7. Agaves comunes en saltillo	12
Figura 8. Subproductos del bagazo de agave	13
Figura 9. Galletas funcionales a base de bagazo de agave	14
Figura 10. Masa madre de bagazo de agave para pan con harina de trigo	15
Figura 11. Aprovechamiento del bagazo de agave en procesos agrícolas	16
Figura 12. Aprovechamiento del agave en distintas industrias.....	17
Figura 13. Importancia de las bacterias acido lácticas en la industria alimentaria (Elena Bartkiene ç. Ö., 2022)	18
Figura 14. Fermentación del pan para obtener los microorganismos vivos después del horneado	19
Figura 15. Probioticos vivos después del horneado	20
Figura 16. Bacterias acido lácticas presentes en masa madre	21
Figura 17. Los probioticos y prebióticos en enfermedades metabólicas	22
Figura 18. Los probioticos y prebióticos sobre la microbiota intestinal	22
Figura 19. Alimentos que favorecen a los probioticos y prebióticos	23
Figura 20. Alimentos funcionales y desarrollo de productos saludables	24
Figura 21. Efecto de los simbióticos en el envejecimiento y estrés oxidativo	25
<i>Figura 22. Simbióticos en personas con diabetes Nota.</i>	25
<i>Figura 23. Probiotico y prebióticos en la salud humana</i>	26
<i>Figura 24. Pan funcional de masa madre</i>	27
<i>Figura 25.masa madre con bacterias acido lácticas</i>	28
Figura 26. Procesos enzimáticos de un pan de masa madre	29
<i>Figura 27. Pan con probioticos & Pan sin gluten</i>	30
Ilustración 28. Pan sin gluten	30
Ilustración 29. Alimentos funcionales	32
Figura 30. Inoculación y observación de los microorganismos. A) Microorganismo seleccionado. B) Crecimiento del microorganismo en caja petri. C) Tinción de los microorganismos. D) observación de los microorganismos bajo el microscopio.	34
Figura 31. Crecimiento y conteo de los microorganismos. A) medio de cultivo, B) crecimiento de microorganismo, C) tinción de los microorganismos, D) conteo de los microorganismos.	34
Figura 32. Preparación de la harina de agrave. A) recolección del agave. B) Lavado del agave. C) Deshidratado del agave. D) Molienda del agave. D) Harina previamente tamizada.	35
Figura 33. Preparación de la masa madre	36
Figura 34. Elaboración de pan.	37

Figura 35. Determinación de materia seca y humedad. A) Peso de la muestra, B) Secado en la estufa durante 12hr, C) Pre-incineración de la muestra, D) Muestras en la mufla a 600°C, E) Muestras incineradas, F) Pesado la muestra una vez hecho cenizas.	39
Figura 36. Determinación de proteína. A) Digestión de la muestra, B) Destilación de la muestra y C) Titulación de la muestra.	40
Figura 37. Determinación de lípidos. A) Peso de la muestra, B) Peso del matraz bola fondo plano, C) instalación al equipo soxhlet con hexano, D) peso del matraz con grasa.	42
Figura 38. Determinación de fibra. A) Peso de la muestra, B) Instalación del vaso de Berzelius al equipo, con ácido sulfúrico, C) enjuague sobre tela filtro, D) se coloca nuevamente al equipo junto con la tela e hidróxido de sodio, E) Peso de la muestra previamente seca por 12hr, F) Peso de muestra en cenizas.	43
Figura 39. Determinación de colorimetría del pan.	44
Figura 40. Determinación de esponjosidad del pan.	45
Figura 41. Determinación de textura del pan.	45
Figura 42. Formato de evaluación sensorial.....	47
Figura 43. Material necesario para evaluación sensorial.	47
Figura 44. Determinación de humedad. Donde Y2, D15-BAL y GA corresponden a las cepas de microorganismos utilizadas durante la fermentación de masa madre y los porcentajes 10%, 20%, 30% y control determinan a la cantidad de harina de agave utilizada.	49
Figura 45. Determinación de cenizas. Donde Y2, D15-BAL y GA corresponden a las cepas de microorganismos utilizadas durante la fermentación de masa madre y los porcentajes 10%, 20%, 30% y control determinan a la cantidad de harina de agave utilizada.	50
Figura 46. Determinación de proteína. Donde Y2, D15-BAL y GA corresponden a las cepas de microorganismos utilizadas durante la fermentación de masa madre y los porcentajes 10%, 20%, 30% y control determinan a la cantidad de harina de agave utilizada.	51
Figura 47. Determinación de grasa. Donde Y2, D15-BAL y GA corresponden a las cepas de microorganismos utilizadas durante la fermentación de masa madre y los porcentajes 10%, 20%, 30% y control determinan a la cantidad de harina de agave utilizada.	52
Ilustración 48. Donde Y2, D15-BAL y GA corresponden a las cepas de microorganismos utilizadas durante la fermentación de masa madre y los porcentajes 10%, 20%, 30% y control determinan a la cantidad de harina de agave utilizada	53
Ilustración 50. Evaluación sensorial.	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de ingredientes y formulaciones del pan	36
Tabla 2. Conteo de microorganismos.	48
Tabla 3. Colorimetría del pan. De acuerdo al tipo de microorganismo, la concentración y L) luminosidad/claridad, a) eje rojo-verde, b) eje amarillo-azul. ..	53
Tabla 4. Altura del pan. De acuerdo a cada cepa de microorganismo y la concentración.	54
Tabla 5. Textura del pan. De acuerdo al tipo de microorganismo y a la concentración de la mezcla de harina de trigo y agave	55

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de tres cepas de bacterias ácido-lácticas (D15-BAL, GA y Y2) en la elaboración de un pan de masa madre elaborado con mezclas de harina de trigo y harina de agave, con el propósito de desarrollar un pan funcional con mejores propiedades nutricionales y sensoriales. Se elaboraron panes con tres porcentajes de harina de trigo y harina de agave (10%, 20% y 30%), además de un pan control elaborado con 100% harina de trigo. A las muestras se les realizaron análisis bromatológicos (humedad, cenizas, proteína, grasa y fibra), pruebas físicas (colorimetría, esponjosidad y textura) y una evaluación sensorial con 40 consumidores.

Los resultados mostraron que la cepa D15-BAL presentó mayor crecimiento microbiano con (1038 colonias), seguida de GA y Y2. En los análisis bromatológicos, la incorporación de harina de agave presentó un incremento significativamente en el contenido de fibra y minerales (cenizas), siendo la muestra D15-BAL con 30% de harina de agave la más destacada, esto por su mayor contenido de fibra (7.86%), mientras que las muestras control presentaron mayor porcentaje de proteína y grasa. Asimismo, se observó una disminución en el porcentaje de humedad, esponjosidad y color del pan conforme se aumentó la proporción de harina de agave, debido a su alto contenido de fibra y ausencia de gluten.

En cuanto a las características físicas, los panes con harina de agave presentaron una textura más firme y una coloración más oscura a diferencia del control. Sin embargo, la evaluación sensorial demostró que no existieron diferencias significativas entre las muestras evaluadas ($p > 0.05$) en los atributos de color, olor, sabor, textura y aceptación global, lo que demuestra que la incorporación de harina de agave y bacterias ácido-lácticas no se ve afectó negativamente a la aceptación del producto.

En conclusión, la utilización de harina de agave y cepas de bacterias ácido-lácticas permitió desarrollar panes funcionales, con un mayor contenido de fibra y minerales, manteniendo una aceptabilidad en la calidad sensorial, lo que evidencia su potencial como alternativa funcional e innovadora dentro de los productos de panificación.

Palabras clave: harina de agave, bagazo de agave, bacterias ácido-lácticas, masa madre, pan funcional, fibra dietética.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the effect of three lactic acid bacteria strains (D15BAL, GA, and Y2) on the production of sourdough bread made with a blend of wheat flour and agave flour, with the goal of developing a functional bread with improved nutritional and sensory properties. Breads were made with three percentages of wheat flour and agave flour (10%, 20%, and 30%), in addition to a control bread made with 100% wheat flour. The samples underwent proximate analysis (moisture, ash, protein, fat, and fiber), physical tests (colorimetry, sponginess, and texture), and a sensory evaluation with 40 consumers.

The results showed that strain D15-BAL exhibited the greatest microbial growth (1038 colonies), followed by GA and Y2. In the bromatological analyses, the incorporation of agave flour showed a significant increase in fiber and mineral (ash) content, with sample D15-BAL, containing 30% agave flour, standing out due to its higher fiber content (7.86%). The control samples, on the other hand, showed a higher percentage of protein and fat. A decrease in moisture content, sponginess, and color was also observed in the bread as the proportion of agave flour increased, due to its high fiber content and absence of gluten.

Regarding physical characteristics, the breads with agave flour exhibited a firmer texture and a darker color compared to the control. However, the sensory evaluation demonstrated no significant differences between the samples ($p > 0.05$) in the attributes of color, aroma, flavor, texture, and overall acceptance, indicating that the incorporation of agave flour and lactic acid bacteria did not negatively affect product acceptance. In conclusion, the use of agave flour and lactic acid bacteria strains allowed for the development of functional breads with higher fiber and mineral content, while maintaining acceptable sensory quality. This demonstrates its potential as a functional and innovative alternative within the bakery sector.

Keywords: agave flour, agave bagasse, lactic acid bacteria, sourdough, functional bread, dietary fiber.

1. INTRODUCCIÓN

El pan es uno de los alimentos básicos más importantes dentro de la dieta mexicana teniendo un consumo promedio de 70 kg por personas al año, debido a su popularidad de sus ingredientes y el bajo costo de adquisición, sin embargo el mercado busca cada vez más productos funcionales, los cuales puedan incorporar diferentes compuestos bioactivos, al igual que efectos beneficiosos sobre una o más funciones en el cuerpo, es por ello que surgen los productos funcionales, dando como resultado una mejora del estado de salud y bienestar o reducción del riesgo de enfermedades crónicas.

En los últimos años, la ingesta de fibra dietética ha disminuido en las dietas lo cual ha contribuido a problemas de salud como la obesidad y las enfermedades cardiovasculares. Es por ello que los productos horneados “pan” enriquecidos con fibra dietética ofrecen una opción mucho más saludable al pan convencional, mejorando y elevando los beneficios nutricionales y funcionales. Varios estudios han comprobado y afirmado que las fibras dietéticas retrasan la absorción de carbohidratos, retrasan la digestión de lípidos y aumentan la saciedad, lo que lleva a una reducción en la ingesta total de calorías. (Márcio Carocho, 2020)

Durante los últimos años, el consumo de pan de masa madre ha sido extendido ampliamente por todo el mundo, principalmente debido a sus propiedades organolépticas únicas, especialmente la masa madre, es una fermentación tradicional ya que, al mezclar harina y agua, produce que las bacterias y levaduras de la categoría ácidos lácticos nativos de la misma harina produzcan una fermentación simbiótica. El proceso de retroinclinación por el uso de pequeñas cantidades de la fermentación original, como cultivo iniciador impulsa a la síntesis de ácidos orgánicos, enzimas, compuestos antifúngicos, exopolisacáridos y fomenta a la proteólisis. La formación y el nivel de estos compuestos en la masa madre dependen principalmente de la calidad de la materia prima y de la actividad de la microbiota natural de la harina o mezclas de harinas al igual que de las cepas seleccionadas y utilizadas para iniciar la fermentación. De acuerdo a la diversificación de las materias primas con énfasis en sus propiedades nutricionales y funcionales llevo al interés de mejorar el proceso de fermentación de la masa madre para posteriormente llevar a cabo la realización del pan. (Míriam Regina Canesina, 2021)

Del mismo modo, que los consumidores cada vez son más conscientes de los alimentos saludables y la preocupación por la coordinación de salud ha impulsado el uso de ingredientes de origen vegetal para mejorar la calidad de las dietas con productos más saludables, ya que son ricas fuentes de fibra, antioxidantes y compuestos bioactivos. El agave es uno de los cultivos más importantes de México, ya que es la fuente principal para producir tequila y mezcal, que se han convertido en símbolos de identidad nacional, el bagazo de agave, es un subproducto abundante en México, rico en fibra y carbohidratos, pero en su mayoría desperdiciado dando como resultado un alto impacto ambiental, ahora bien siendo un residuo agroindustrial el cual podría ser explotado como materia prima en la

industria alimentaria debido a su gran valor nutricional, teniendo como resultado una harina funcional (P.I. Bautista-Espinoza, 2024). Las harinas funcionales son la materia prima principalmente utilizada para la elaboración de productos de panificación, gracias a su alto contenido de proteínas y fibras, principales propiedades funcionales específicas que son cruciales para el desarrollo de pan a base de residuos agroindustriales. Evaluando la harina de agave con alto contenido de proteína, fibra, antioxidantes y compuestos bioactivos, determinando la composición proximal, las propiedades tecnofuncionales, el contenido fitoquímico y la actividad antioxidante de las harinas. En el contexto del diseño de alimentos, la fibra de la harina de agave, puede ser concentrada para mejorar las propiedades tecno-funcionales (características fisicoquímicas que reflejan los componentes alimenticios y determinan sus aplicaciones potenciales) en formulaciones alimenticias, siendo particularmente relevantes en productos de panificación, siendo estos los de mayor consumo en México. En consecuencia, a ello la industria alimentaria se ha visto obligada a buscar productos cada vez más innovadores para satisfacer las nuevas expectativas de los mercados y promoviendo el uso de los residuos del bagazo de agave. La incorporación de harinas funcionales a partir de residuos, lo cual conlleva a la mejora y aumento del valor nutricional del producto final, promoviendo el desarrollo de matrices mucho más saludables y funcionales. (Álvaro Javier Pastrana-Pastrana, 2026)

Aunque la industria cada vez tiene que innovar en la mejora y eficiencia de los nuevos productos, no siempre es exitoso, es por ello que los estudios demuestran la eficiencia de los mismos, sin embargo en la actualidad es muy común ver productos los cuales si presentan propiedades funcionales y lo mejor es que son en alimentos con mayor consumo como el pan, el aumentar el contenido de fibra, se han incorporado fibra de cereal aislada y aislados de fibra soluble en formulaciones libres de gluten, al igual que el innovar en su forma de fermentación de la masa y el uso de harinas elaboradas a partir de residuos agroindustriales, ha demostrado un cierto éxito sensorial, demostrado que el índice glucémico de los productos modernos sin gluten ya no es una preocupación importante con la mejora de las formulaciones de ingredientes y los métodos de procesamiento. El bajo contenido mineral actualmente se puede aumentar con el uso de ingredientes ricos en minerales como el amaranto, el trigo sarraceno o la harina de agave. (Serventi, 2017)

Considerando el potencial de las harinas funcionales obtenidas a partir de residuos agroindustriales y los grandes beneficios asociados al uso de bacterias ácidolácticas en procesos de fermentación, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de tres cepas de bacterias ácido-lácticas en el desarrollo de un pan de masa madre elaborado con una mezcla de harina de trigo y harina de agave. Asimismo, buscando obtener una harina funcional a partir de bagazo de agave, desarrollar y controlar el proceso de fermentación de la masa madre, llevar acabo diferentes formulaciones de mezclas de harinas y determinar las propiedades funcionales y la aceptación sensorial de los panes.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Evaluar el efecto que presentan el uso de 3 cepas de bacterias ácido-lácticas en el desarrollo de un pan de masa madre a base de una mezcla de harina de trigo con harina de agave para estudiar sus propiedades funcionales y su evaluación sensorial.

2.2 Objetivos específicos.

- Obtener una harina funcional a partir de bagazo de agave recolectado en los ejidos de Saltillo.
- Activar las cepas de bacterias ácido-lácticas aisladas de kéfir de agua, en los medios de cultivo.
- Evaluar el desarrollo de masa madre utilizando los microorganismos seleccionados y controlar su nivel de acidez.
- Desarrollar formulaciones de mezclas de harina de agave con harina de trigo, para la elaboración del pan de masa madre.
- Analizar las propiedades funcionales de los panes desarrollados y realizar una evaluación sensorial.

3. JUSTIFICACIÓN

El pan es uno de los alimentos de mayor consumo dentro de la dieta mexicana. Sin embargo, las tendencias actuales del mercado muestran una creciente demanda de productos funcionales que, además de satisfacer las necesidades nutricionales básicas, aporten beneficios adicionales para la salud. Es por ello que surgen los alimentos funcionales, definidos como aquellos que proporcionan efectos benéficos sobre una o más funciones del organismo más allá de su valor nutricional convencional, contribuyendo a la mejora del estado de salud y bienestar, así como a la reducción del riesgo de enfermedades crónicas y degenerativas. Debido a la amplia aceptación y consumo del pan, la industria alimentaria ha enfocado sus esfuerzos en innovar mediante la incorporación de ingredientes y necesidades del consumidor.

En cambio, el pan elaborado de masa madre es una de las innovaciones actuales por el mercado ya que la elaboración de dicha masa presenta una fermentación simbiótica gracias a las levaduras presentes en la harina o bien los microorganismos puestos para aumentar su fermentación, sin embargo los efectos que presenta son muchos más amplios, como mejora de digestión, reducción del índice glucémico y su aumento de absorción de nutrientes. Así como el método de elaboración es importante para poder obtener un pan de calidad, los ingredientes también tienen que ser benéficos por lo que las harinas sean mucho más funcionales, innovadoras y eficientes, es por ello que la presencia de muchos tipos de harinas, las cuales contienen un plus de beneficios como el que sea sin gluten, enriquecida con proteína, que contengan mucha más fibra, antioxidantes, minerales o bien que sea elaborada a partir de residuos agroindustriales como de bagazo de frutas o platas, las cuales contengan beneficios para la salud del consumidor.

Con base a todo lo que el mercado necesita en la actualidad, se pensó en la elaboración de un pan de masa madre como alimento funcional, diseñado a partir de una mezcla de harina de trigo y harina de agave, con ingesta de cepas acidolácticas, ya que la harina de agave a diferencia de las otras, es un ingrediente rico en compuestos prebióticos, particularmente inulina, la cual actúa como sustrato fermentable que favorece el crecimiento de microorganismos benéficos en el intestino, sumado a ello la ingesta de probióticos los cuales aportan beneficios para la salud intestinal, ambas destacando los efectos que este puede llegar a presentar, como su aporte de fibra, proteína, grasas, minerales al igual que el efecto de esponjosidad que este va a obtener, de igual forma se consideró en dar un buen uso a los residuos agroindustriales para la obtención un producto novedoso que contenga mucho más beneficios en el mismo, al igual que su sabor sea agradable para los consumidores.

4. ANTECEDENTES

4.1 Panes funcionales

4.1.1 Panes funcionales con simbióticos

El pan es uno de los alimentos básicos consumidos, en México y en todo el mundo, debido a su gran aportación de micro y macronutrientes esenciales, la incorporación de probióticos. Debido a las tensiones mecánicas y térmicas durante el proceso de fabricación del pan, la producción de pan depende del desarrollo de estrategias emergentes como el recubrimiento comestible, la encapsulación, la impresión tridimensional y la aplicación de cepas termófilas. En algunos estudios han revelado el efecto de sobre el contenido de acrilamida y la tasa de estancamiento del pan producido. Además, existen evidencias clínicas que confirman los efectos de los panes simbióticos sobre la reducción de triacilglicerol, lipoproteínas de baja densidad, nivel de insulina y malondialdehído, junto con el aumento de óxido nítrico en los pacientes con diabetes tipo II, su producción tendría como objetivo abarcar un mayor mercado. (Alireza Sadeghi, 2023)



Figura 1. Pan funcional con probioticos

(Dole , 2025)

4.1.2 Pan funcional a base de masa agria

Hoy en día, el interés de los consumidores es obtener alimentos saludables y con un alto valor nutricional ha llevado a todos, especialmente a los investigadores, al uso de alimentos ultra rentables, así como al uso de probióticos y prebióticos en productos de panadería, especialmente el pan de masa agria. En este estudio, se evaluó el uso de pasta ácida que contiene bacterias probióticas *bacillus quagulance*, así como prebióticos perelectivalgosagarida en la producción de pan voluminoso y se evaluaron sus efectos sobre las características del pan físico-químico, tisular y sensorial. Los resultados presentaron, que mediante la adición de pasta agria que contiene la bacteria *bacillus coagulance* a pan voluminoso, a diferencia de los índices de acidez del testigo, se observaron volúmenes especiales, humedad, altura, permeabilidad de la cubierta, continuidad, reacción, masticabilidad y

evaluación sensorial de la reducción y evaluación sensorial y la capacidad de masticar y la capacidad de masticar un aumento significativo (05/0 p <). Sin en cambio, la adición de pasta ácida que contiene bacterias *bacillus quagulance* y fructovalgiosacris a pan voluminoso mejora los indicadores de rigidez, masticabilidad, permeabilidad y color de la piel, la dureza del tejido del pan durante la vida útil, así como la evaluación sensorial del testigo (p05/0 p <). De acuerdo a los resultados obtenidos, la adición de masa agria que contiene *coagulancia de bacilo* y fructovalgosacida proporciona características deseables para el pan a granel y se puede usar como iniciador en la producción de pan voluminoso con propiedades funcionales y alto valor nutricional. (Zahra Farajinejad, 1401)



Figura 2. Pan funcional a base de masa agria
(Lirola, 2022)

4.1.3 Como influyen los probioticos en la absorción y liberación de minerales presentes en el pan

El pan es considerado una fuente importante de minerales; sin en embargo, la presencia de fibra y ácido fítico presenta una menor biodisponibilidad de minerales de los productos de cereales. El objetivo de este estudio es determinar la influencia de *Bifidobacterium bifidum* sobre la liberación de algunos minerales del pan utilizando un proceso in vitro de digestión enzimática. El pan blanco y con la adición de 15, 30 o 45% de salvado se horneó en una panadería por métodos tradicionales, con la adición de levaduras y levadura de centeno, de harina hecha de trigo, variedad Tonacja. Las concentraciones de calcio, magnesio, manganeso, zinc, cobre y hierro se determinaron mediante espectrometría de absorción atómica. El pan se digirió enzimáticamente in vitro sin y con la adición de *Bifidobacterium bifidum* KD6 (inóculo 10^6 UFC/cm³) y se determinaron los porcentajes de minerales liberados. La concentración de minerales liberados durante la digestión enzimática varió dependiendo del elemento, la cantidad de salvado y la presencia

de bacterias. El aumento en el contenido de salvado disminuyó la liberación de elementos. *Bifidobacterium bifidum* KD6 que potenciaba las cantidades de magnesio y zinc liberadas de todo tipo de pan, mientras que el manganeso y el cobre se elevaron solo al pan blanco con un 15% de adición de salvado. Las bacterias disminuyeron las cantidades de calcio y hierro liberados del pan. Los datos presentes indican que las dietas ricas en bacterias beneficiosas (probióticos) pero no equilibradas con minerales podrían aumentar la deficiencia de minerales. (Categoría: Beata Nalepa, 2011)

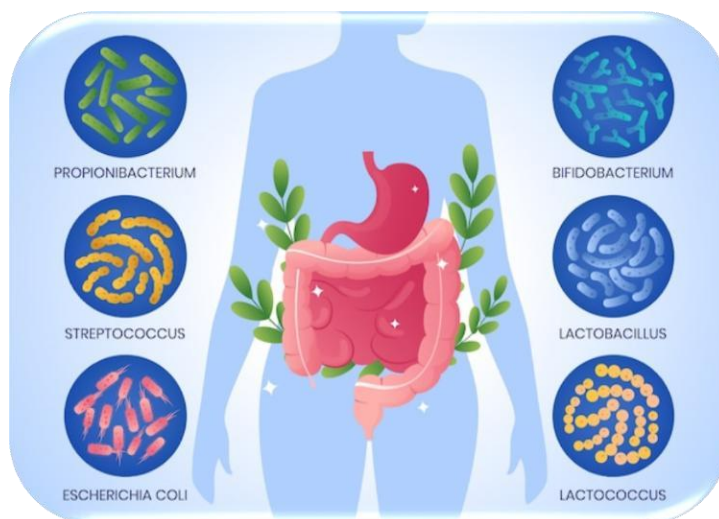


Ilustración 3. Microbiota intestinal sana
(Casamayú, 2025)

4.1.4 Beneficios para la salud del pan funcional con fructanos de agave

Otra de las alternativas saludables de pan funcional, es el que muestra los efectos en la salud de consumir pan enriquecido con fructanos de agave, β -ciclodextrinas y probióticos en la salud de ratones en crecimiento. Para esta investigación se usaron ratones de la raza ICR (35 machos y 35 hembras) en su etapa de crecimiento. Se les administraron cinco dietas diferentes: 1) Estándar (S), 2) Pan con fructanos de agave (FB), 3) Pan con β -ciclodextrinas (CBD), 4) Pan con fructanos de agave + β -ciclodextrinas (FB-CD) y 5) Pan con fructanos de agave + β -ciclodextrinas + probióticos (FB-CD-P). Los resultados presentaron que la dieta FB-CD-P tiene una disminución en la ingesta dietética en los mismos. Las dietas que contenían FB presentaron una mayor excreción fecal que la dieta S. Los niveles de glucosa en sangre de los ratones hembra alimentados con dietas FB, CBD, FB-CD y FB-CD-P mostraron un efecto hipoglucémico. Obteniendo resultados histológicos lo que mostraron que la dieta FB-CD-P presentaba vesículas de mucina más grandes que las otras dietas. Los resultados garantizan que el pan enriquecido con la dieta FB-CD-P puede llegar a proporcionar beneficios para la salud del consumidor. (Martha Lucía Arenas Ocampo, 2023)

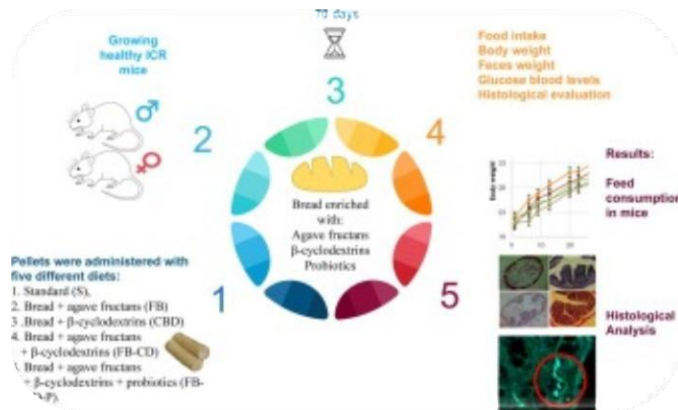


Figura 4. Beneficios del pan funcional con fructanos

(Martha Lucía Arenas Ocampo, 2023)

4.1.5 Pan con probióticos y la forma de mantener viables las bacterias durante el almacenamiento

Los productos alimenticios con probióticos están disponibles en el supermercado comercialmente, pero los productos de panadería probiótica son mucho menos evidentes. En este estudio, se usó metilcelulosa (2%), concentrado de proteína de suero (2%), almidón de maíz (1%) y aceite de soja a 2, 4 y 6% para recubrir la capa de la superficie de pan abultado, y luego se estudiaron las propiedades de calidad. Los resultados mostraron que *Lactobacillus rhamnosus* GG, como componente probiótico del recubrimiento, inmovilizado en almidón de maíz, proteína de suero y películas de metilcelulosa, presentó una viabilidad mejorada durante un periodo de vida de anaquel. Los probióticos permanecieron viables durante 4 días, manteniendo altos niveles de número de células viables. La adición de aceite de soja a una concentración del 6% presentó una mejoría en la textura, las propiedades sensoriales y el índice de imagen durante el almacenamiento. (R. Amiri Qandashtant, 2020)



Ilustración 5. Pan con probióticos

(García, 2020)

4.2 Agaves en México

4.2.1 Magueyes (agaves) en México, diversidad, distribución y su importancia

De acuerdo a diferentes investigaciones realizadas por los pródigos en servicios ambientales, económicos y sociales, los magueyes originados hacen aproximadamente 10 millones de años, y de cuyo uso se tienen registros en México, se desarrollan en distintos paisajes del territorio nacional, principalmente en zonas áridas y semiáridas. Donde existen 273 especies de agaves que se distribuyen en el Continente Americano, desde Dakota, Estados Unidos, hasta Paraguay, y en México cuenta con 215 especies, de las cuales 151 son endémicas algunas de ellas son, Maguey blanco (*Agave americano*), Maguey blanco (*Agave americano var.oaxacensis*), Maguey papalote (*Agave cupreata*), Maguey cenizo (*Agave durangensis*), Lechuguilla (*Agave inaequidens*), Maguey tepeztate (*Agave marmorata*), Maguey pulquero (*Agave salmiana subsp.Crassispina*), *Agave tequilana* Weber. (Diversidad biológica Magueyes, 2021), encontrados principalmente en los estados de Oaxaca, Sonora, Coahuila, Durango, Chihuahua y Jalisco, siendo Oaxaca con la mayor diversidad de magueyes de todo el mundo. Para el 2018, el investigador reportó el hallazgo en esa entidad de 4 a 8 nuevas especies silvestres de agaves, con las cuales podrían sumar 223 las que existen en México. De los agaves en diferentes regiones son aprovechables desde la raíz hasta las púas, teniendo una gran importancia social y económica, gracias a que se obtienen de ellos bebidas: tequila, del agave azul (Tequilana weber) nativo de Jalisco, Michoacán y Nayarit; mezcal, de diversos agaves como *A. angustifolia* y *A. korwinskii*, que crecen en los Valles Centrales de Oaxaca, y pulque, de las variedades *A. salmiana*, *A. apissaga* y *A. atrovirens*, propias del Estado de México, Tlaxcala, Puebla e Hidalgo. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2019). De todas estas especies se diversificaron y ampliaron su distribución gracias a su metabolismo, a la conservación de azúcares, fibras y agua, permitiéndoles resistir condiciones de sequía y a las interacciones que establecieron con sus polinizadores. Además de ver seleccionado estas especies, de acuerdo por sus fibras o aguamiel, también aquellas especies que presentaban mayores concentraciones de azúcar fueron identificados y manejados para asegurar el abastecimiento del *mexcalli* (mezcal). (Diversidad biológica Magueyes , 2021)



Figura 6. Agave pulquero

(Pesquera, 2017)

4.3 Agaves en Coahuila

4.3.1 Vegetación del estado de Coahuila e importancia de algunas especies de agave en la región

La vegetación del estado de Coahuila es muy variada ya que su desarrollo depende principalmente de su clima, tipo de suelo, altura sobre el nivel del mar, y precipitación pluvial. En las partes altas de la sierra abundan los pinos, pinabetes, encinos y cedros. En las partes bajas hay mezquites, huizaches, yucas, nopales, magueyes, cactus y lechuguillas. (M.S., 2018) El *Agave victoriae—reginae* es uno de los agaves endémicas del norte de México fácilmente distinguibles de otras especies de *Agave* por tener hojas con márgenes córneos sin dientes, bandas blancas sobre ambas caras y flores con tubos cortos en forma de embudo, teniendo con ella tres especies, una de estas con dos subespecies: 1a) *A. victoriae—reginae* subsp. *victoriae—reginae* (del occidente de Nuevo León y extremo oriental de Coahuila; 1b) *A. victoriae—reginae* subsp. *swobodae* (sur de Coahuila y noreste de Durango); 2) *Agave nickelsiae* (microendémica al sureste de Coahuila); y 3) *Agave pintilla* (la de distribución más occidental del grupo, sureste de Durango). (M. Socorro González–Elizondo, 2011). Otra de las especies reconocidas del estado es el *Agave asperrima* de la cual se optiene principalmente jarabe de agave, miel y azúcar, algunas bebidas fermentadas como: aguamiel y pulque; Aguardientes como mezcal, tequila, sotol, bacanora o licor de cocuy, al igual que las fibras de su hojas, usadas en hilaturas para tejidos, hamacas y empaques; Papel, a partir del bagazo residual; Tejas hechas con hojas secas; Vigas hechas con quiote; Clavos, punzones y agujas obtenidas de espinas; Instrumentos musicales a partir de la floración del agave como el llamado quiote, siendo este una planta importante y fundamental de la economía de varios ejidos del estado. (MAGUEY. (s/f). Uadec.mx., 2026)



Figura 7. Agaves comunes en saltillo

(MAGUEY. (s/f). Uadec.mx., 2026)

4.4 Residuos de agave

4.4.1 Aprovechamiento de residuos del agave y su importancia en la industria alimentaria

El agave representa una parte importante de la economía en México debido a sus destilados obtenidos; sin embargo, también representan una cantidad significativa de residuos agroindustriales que son perjudiciales para el medio ambiente. En los últimos años, estos residuos se han utilizado para obtener diversos bioproductos; sus aplicaciones tecnológicas en el área alimentaria se centran en la obtención de bioplásticos, películas comestibles, materiales de envasado y aditivos alimentarios. Actualmente, estos residuos han sido utilizados debido a su efecto prebiótico de los polisacáridos de agave; su aplicación ayuda a mejorar los productos desde un punto de vista nutricional, tecnológico y biológico. El efecto prebiótico que ejercen estos polisacáridos en modelos de digestión in vitro el cual ayudan a observar cómo funcionan estos carbohidratos en la salud humana. Esta revisión nos demuestra que los agaves son una fuente prometedora de polímeros prebióticos con el potencial de ser utilizados en diversas aplicaciones tecnológicas y con efectos beneficioso sobre la salud intestinal. (Isabel Márquez-Rangel, 2023)

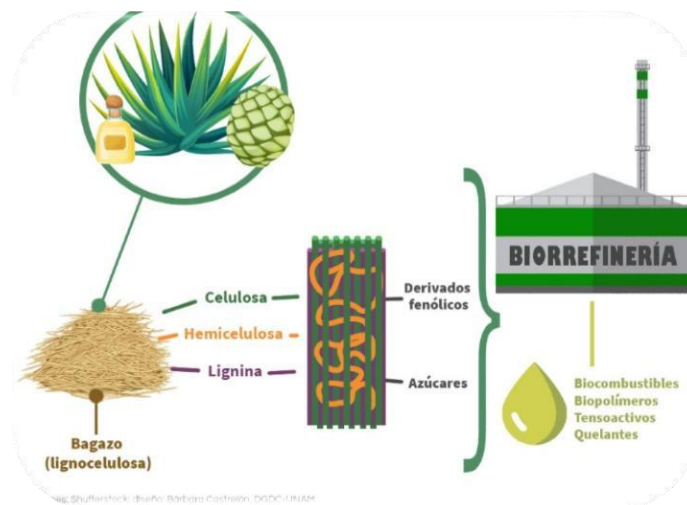


Figura 8. Subproductos del bagazo de agave
(Estefanía Sierra, 2021)

4.4.2 Uso de bagazo de agave como ingrediente funcional en la elaboración de galletas

El bagazo de agave es un residuo agroindustrial muy fibroso obtenido después de la extracción de aguamiel. Esta planta es un gran portador de carbohidratos prebióticos de tipo fructano, que tienen múltiples beneficios atribuibles para la salud. En el presente estudio demuestra el potencial del bagazo de agave de ceniza y verde como ingredientes funcionales en galletas suplementadas. Para la aplicación, se evaluaron las propiedades químicas, funcionales, de los bagazos de agave y las galletas formuladas, así como las propiedades físicas de las galletas. La caracterización química se llevó a cabo mediante el análisis próximo tanto de bagazos como de galletas, además, el análisis de oligosacáridos fue realizado mediante cromatografía en capa fina y cromatografía de intercambio aniónico de alto rendimiento. De la misma manera, se analizaron diferentes propiedades funcionales como capacidad de retención de aceite, capacidad de absorción de moléculas orgánicas, capacidad de hinchamiento y capacidad de retención de agua tanto en bagazos de agave como en galletas suplementadas. Finalmente, se estudiaron diferentes modificaciones en el color y la textura debido a la adición de bagazo a través de un análisis de diferencia de color total y una prueba penetrométrica, respectivamente. En este sentido, los bagazos de agave de ceniza y verde demostraron propiedades químicas y funcionales para su uso en la industria alimentaria, ya que presento un aumento en la capacidad de retención de aceite de las galletas y transfirieron fructooligosacáridos prebióticos a ambas formulaciones de bagazo de agave, que permanecen activas como ingrediente prebiótico en galletas después de la digestión *in vitro* y la fabricación de galletas, incluido el tratamiento térmico. Por lo tanto, el bagazo de agave se podría considerar en una alternativa de gran valor debido a su gran aporte de fibra dietética, la cual es

benéfica e importante en alimentos que en la actualidad el mercado requiere debido a su aporte nutricional. (Sarai Escobedo-García, 2020)



Figura 9. Galletas funcionales a base de bagazo de agave
(Pruneda, 2019)

4.4.3 Revalorización de bagazo de agave para elaboración de masa madre y pan de trigo

La masa madre es un tipo de cultivo utilizado desde la antigüedad para la elaboración de masas para panificación, la cual comprende de harina y agua, dejando fermentar levaduras silvestres, para la producción de pan, el cual este alimento es uno de los preferidos por los consumidores. El bagazo (AB) es un subproducto abundante en México, rico en fibra y carbohidratos, pero en su mayoría desperdiciado. Este estudio presento como objetivo revalorizar el AB como ingrediente principal para la masa madre de trigo. En el cual se mezclaron diferentes relaciones (5%, 10% y 15% en peso) de polvo de AB con harina de trigo, se hidrataron con 10% (p/v) de agua, y se incorporaron con *Lactococcus lactis* (NRRL B-50307). La fermentación fue monitorizada durante 6 días; en los cuales se analizaron los parámetros fisicoquímicos (pH, acidez valorable [TTA], capacidad de fermentación) y se produjo pan de masa madre. Se monitorizó la población de, levaduras y la adaptación de la cepa añadida. En el análisis de la masa madre presento un intervalo de pH de 3,6–4,9, y el TTA varió de 8 mg/ml a 11 mg/ml de ácido láctico. En el análisis próximo (% p/p) reveló $28,95 \pm 0,4$ de proteína, $12,33 \pm 0,98$ de grasa, $37,68 \pm 0,65$ hidratos de carbono totales y $1,04 \pm 0,32$ cenizas. El pan de masa madre añadido con AB + *L. lactis* mostró una firmeza significativamente mayor ($p < 0,05$) ($35,42 \text{ N} \pm 0,034 \text{ N}$) y volumen ($70,24 \text{ ml} \pm 4,67 \text{ ml}$) que el uso de trigo solo ($20,48 \text{ N} \pm 4,04 \text{ N}$, y $49,10 \text{ ml} \pm 6,35 \text{ ml}$, respectivamente). El AB es una buena fuente de fibra dietética y otros compuestos como los minerales, lo que sugiere aumenta su potencial como ingrediente funcional alimentario y ser fomentado en la industria agroalimentaria y de panificación hacia el desarrollo sostenible de la misma. (P.I. Bautista-Espinoza, 2024)

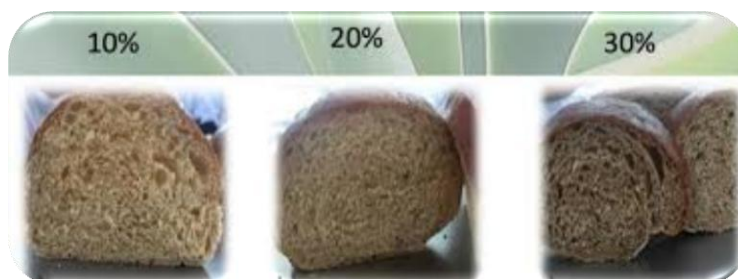


Figura 10. Masa madre de bagazo de agave para pan con harina de trigo

(Avendaño Rito María del Carmen, 2024)

4.4.4 Aprovechamiento de bagazo de agave pulquero en procesos agrícolas sostenibles

El bagazo de *la salmiana* de *Agave* (maguey pulquero) es un residuo generado durante la explotación de la planta para obtener pulque, inulina y aguamiel, etc. Debido a su composición química, se puede utilizar para el cultivo de hongos del género *Pleurotus* y el uso posterior del material degradado "sustrato degradado (DS)" como soporte para la germinación de vegetales. El objetivo de este estudio fue caracterizar el bagazo de maguey pulquero biodegradado por el *djamor* *Pleurotus* como nueva perspectiva gracias a su gran valor, para posterior ser usado para la germinación de *Lycopersicon esculentum* (tomato). El DS fue recuperó a 60 d del cultivo de *P. djamor*, se caracterizó fisicoquímicamente y la conformación del tejido vegetal, fue observado mediante microscopía electrónica de barrido. El DS mostró disminución en el contenido de proteínas (4.8-3.3%) y fracción fibrosa (54–36%), pero la digestibilidad de la materia seca presento un aumentó de 47 a 71%; además, se observaron cambios en la composición mineral, principalmente en la concentración de calcio (6%). Los resultados mostraron que se puede utilizar hasta el 25 % de maguey DS mezclado con el 75 % de musgo de turba (25:75) y así alcanzar un porcentaje de germinación del 85 % y presentando un aumento del índice de velocidad de emergencia de plántulas de 0,96 – 1,25. Concluyendo que es un gran potencial el implementar una estrategia circular en la utilización de bagazo de agave para el cultivo de hongos y la posterior recuperación del sustrato gastado para la germinación del tomate y otros cultivos.. (B.S. Velázquez-De Lucio, 2024)

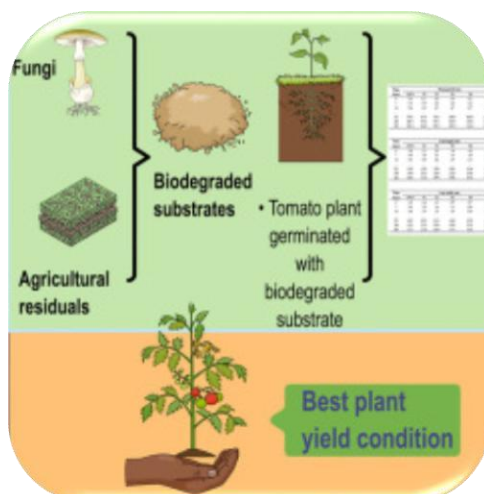


Figura 11. Aprovechamiento del bagazo de agave en procesos agrícolas

(B.S. Velázquez-De Lucio E. H.-D.-L.-J.-C., 2024)

4.4.5 Importancia del agave en México y su aprovechamiento en distintas industrias

El agave, o comúnmente conocido como “maguey” es parte importante de la tradición y la economía mexicana, el cual es utilizado principalmente para la producción de bebidas alcohólicas, como el tequila y pulque. La explotación industrial genera subproductos, incluyendo hojas, bagazo y fibras, que pueden ser revalorizados por las industrias. El agave está compuesto de celulosa, hemicelulosa, lignina, fructanos y pectina, así como carbohidratos simples. En cuanto a las propiedades funcionales, el contenido de fructanos hace que el agave sea una fuente potencial de prebióticos con la capacidad de reducir la glucosa en sangre y mejorar la homeostasis de los lípidos cuando se incorpora como un ingrediente prebiótico en diferentes productos como galletas, pan y barras funcionales. El agave también tiene fitoquímicos, como saponinas y flavonoides, que confieren propiedades antiinflamatorias, antioxidantes, antimicrobianas y anticancerígenas, entre otros beneficios. Las fibras de agave se utilizan para el refuerzo y la elaboración de compuestos a base de polímeros, debido a sus propiedades termomecánicas. El bagazo de agave es considerado como materia prima de biocombustibles prometedora, atribuida a su alta eficiencia de agua y productividad de biomasa, así como a su alto contenido de carbohidratos. La optimización de los pretratamientos físicos y químicos, la sacarificación enzimática y la fermentación son clave para la producción de biocombustibles. Las tecnologías emergentes, como el ultrasonido, pueden proporcionar una alternativa a los procesos de pretratamiento actuales. En conclusión, los agaves son fuente potencial de subproductos, con una amplia gama de aplicaciones industriales, por lo que se están explorando nuevos métodos de procesamiento para una revalorización sostenible de estos residuos agroindustriales. (Jimena ÁlvarezChávez, 2021)



Figura 12. Aprovechamiento del agave en distintas industrias

(Estefanía Sierra, 2021)

4.5 Bacterias ácido-lácticas

4.5.1 Importancia de la masa madre y las bacterias ácido lácticas en la industria alimentaria

La masa madre para elaboración de pan es una fuente prometedora de agentes biológicos de microbiotas tecnológicas, antimicrobianas, degradantes de toxinas, sistemas inmunológicos y microbiotas fecales para la preparación de alimentos, nutraceuticos y piensos, los cuales presentan un gran potencial a escala de biotecnología industrial. Hay muchas aplicaciones de bacterias del ácido láctico (LAB) de masa madre, que son los principales microorganismos espontáneos encontrados en la misma. Además de su aplicación como cepas tecnológicas puras en las industrias alimentaria, teniendo en cuenta las propiedades específicas de estos microorganismos (antimicrobianos, antifúngicos, inmuno y microbiotamoduladores, etc.), se utilizan como ingredientes valiosos en alimentos de mayor valor, así como formulaciones nutraceuticas. Adicionalmente, una aplicación muy prometedora de LAB es su uso en combinación con ingredientes de origen vegetal y/o animal para aumentar las propiedades funcionales de toda la combinación debido a diferentes mecanismos de acción, así como a la actividad simbiótica deseable. Además de los alimentos tradicionales preparados con microorganismos de masa madre (pan, galletas, productos cárnicos, lácteos, bebidas, etc.), podrían encontrar aplicación en la preparación de ingredientes de valor agregado para las industrias alimentaria, piensos y nutraceutica. El cual nos presenta una posible aplicación de la masa madre LAB en las industrias de alimentos y nutraceuticos con muchos más valores nutrimentales al igual teniendo una posible aplicación en la industria de pienso, que son alimentos prensados para animales a base de forrajes y cereales. (Elena Bartkiene Ć. Ö., 2022)

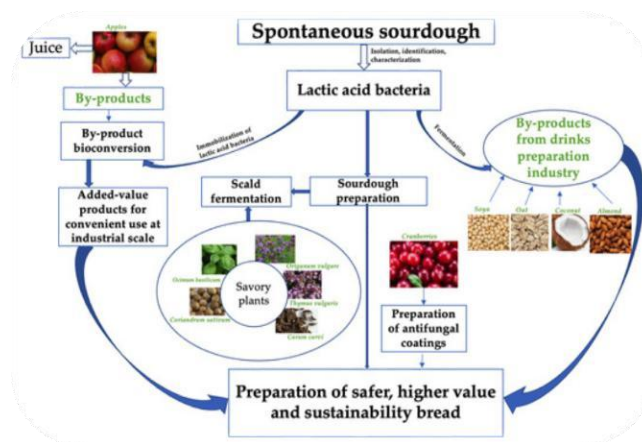


Figura 13. Importancia de las bacterias ácido lácticas en la industria alimentaria (Elena Bartkiene y Ö., 2022)

4.5.2 Evaluación de cómo mantener vivos los prebióticos en el pan después del horneado

En esta investigación nos presenta, la viabilidad de *Lactobacillus rhamnosus* GG (LGG) encapsulado y no encapsulado (célula libre) en pan horneado a diferentes condiciones de cocción (180 °C durante 30 min, 220 °C durante 20 min y 250 °C durante 15 min) y en condiciones gastrointestinales simuladas. Las células fueron encapsuladas con alginato de sodio solo y al igual en una combinación con quitosano, almidón de yuca y almidón resistente a alta resistencia al maíz. El cual mostro que la incorporación de LGG no encapsulado tuvo una perdida completa después de su cocción a comparación de LGG con alginato de sodio + almidón resistente a alta resistencia al maíz + perlas de quitosano (SHCB) el cual presento una mayor viabilidad del ($P < 0,05$), además de que no tuvo una influencia significativa ($P < 0,05$) sobre el volumen, el volumen específico, la humedad, la ceniza, la grasa y el contenido de fibra del pan. Sin en cambio el contenido de humedad más bajo se obtuvo en condiciones de cocción de 180 °C durante 30 min, mientras que el valor más alto fue a 250 °C durante 15 min. La condición de horneado no causó un cambio significativo ($P > 0,05$) en el contenido de grasa, cenizas y carbohidratos del pan, la encapsulación de LGG con múltiples capas de materiales de encapsulación si conservó significativamente su viabilidad durante el horneado y en condiciones gastrointestinales simuladas por lo que nos muestra una nueva aplicación de sepas encapsuladas de LGG en la industria alimentaria para favorecer los niveles nutrimentales y que este sea apto para mucho más público. (Olufunke Oluseyi Ezekiel, 2020)



Figura 14. Fermentación del pan para obtener los microorganismos vivos después del horneado

(Juárez, 2020)

4.5.3 Análisis de probióticos vivos durante el horneado

Para maximizar la viabilidad de un microorganismo tan beneficioso sobre la salud humana es el reto e innovación de la actualidad, ya que la demanda de alimentos funcionales los cuales contengan beneficios sobre la salud, es cada vez más por lo que este estudio cinético, sobre la inactivación de los probióticos durante el horneado. La inactivación térmica de *Lactobacillus plantarum* P8 durante la cocción del pan fue evaluado con modelos cinéticos dependientes de la velocidad. Se estudiaron explícitamente las influencias de la temperatura, el contenido de humedad, la velocidad de secado y la tasa de variación de temperatura en la cinética de inactivación. Se encontró que un modelo cinético, que incluía la temperatura (T), el contenido de humedad (X) y la tasa de variación de temperatura (dT/dt) como variables, describía mejor las curvas de supervivencia cóncava y sigmoidal de los probióticos en la corteza del pan y en la miga durante el horneado, respectivamente. La velocidad de secado (dX/dt) fue de poca influencia en la cinética. La aplicación del modelo propuesto se limita a los procesos de cocción, pero podría utilizarse para maximizar la supervivencia de los probióticos en los productos de pan y así poder elevar mucho más sus beneficios en un solo producto. (Maarten A.I. Categoría: Schutyser, 2018)



Figura 15. Probioticos vivos después del horneado

(Espinosa, 2018)

4.5.4 Estudio de bacterias ácido lácticas presentes en masas madre tradicional de trigo

Para la elaboración de productos a base de masa madre, se aislaron bacterias de ácido láctico (LAB) de masas madre de trigo tradicionales griegas, sin la adición de levadura de panadero. La aplicación de electroforesis en gel de dodecil sulfato de sodio-poliacrilamida de proteína celular total, ADN-PCR polimórfica amplificada aleatoriamente, hibridación de ADN-ADN y análisis de secuencia de ADN ribosómico 16S, en combinación con algunos rasgos fisiológicos tales como fermentación de fructosa y producción de manitol, permitió clasificar las bacterias aisladas en la especie *Lactobacillus sanfranciscensis*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus paralimentarius* y *Weissella cibaria*. Esta mezcla parece ser única para las masas de trigo tradicionales griegas estudiadas. Durante este estudio no se encontraron cepas de *Lactobacillus pontis* o *Lactobacillus panis*. Durante las fermentaciones de laboratorio se observó que, todas las cepas de LAB de masa madre heterofermentativa producen ácido láctico, ácido acético y etanol. Además de la glucosa, casi todas las aisladas de LAB presentaron una fermentación de maltosa, mientras que la fructosa como única fuente de carbohidratos se fermentó mediante todo el LAB de masa madre probado excepto *L. sanfranciscensis*. Estos datos produjeron un coeficiente de fermentación variable, una composición única de metabolitos de masa madre y una fuente potencial para poder incluir LAB en productos fermentados teniendo un mayor valor nutricional. (Luc De Vuyst, 2002)



Figura 16. Bacterias ácido lácticas presentes en masa madre

(Papurrak.eus, 2018)

4.6 Microorganismos probióticos

4.6.1 Beneficios de los probióticos, prebióticos y simbióticos sobre la microbiota intestinal y enfermedades metabólicas

Las enfermedades metabólicas son grandes amenazas para la salud pública, estas están relacionadas con la microbiota intestinal. Los probióticos, prebióticos, sinbióticos y postbióticos (PPSP) son microorganismos poderosos reguladores de la microbiota intestinal, para la prevención de enfermedades metabólicas. Por lo tanto, es importante aclarar los efectos y mecanismos de la PPSP sobre las enfermedades metabólicas dirigidas a la microbiota intestinal. En general, la PPSP benefician el manejo de enfermedades metabólicas, principalmente la obesidad y la diabetes mellitus tipo 2. Los mecanismos relacionados con los microbianos intestinales son principalmente la modulación de la composición de la microbiota intestinal, la regulación de los metabolitos microbianos intestinales y la mejora de la función de la barrera intestinal. Además, se presentaron beneficios de la PPSP en pacientes con enfermedades metabólicas, mientras que las estrategias clínicas para la diabetes mellitus gestacional, la fórmula óptima de los sinbióticos y los beneficios para la salud de los postbióticos requieren de muchos más estudios. Esta investigación resume completamente la relación entre probióticos, prebióticos, sinbióticos, postbióticos y enfermedades metabólicas, presentando resultados prometedores para la mejora y control de dichas enfermedades. (Hang-Yu Li, 2021)

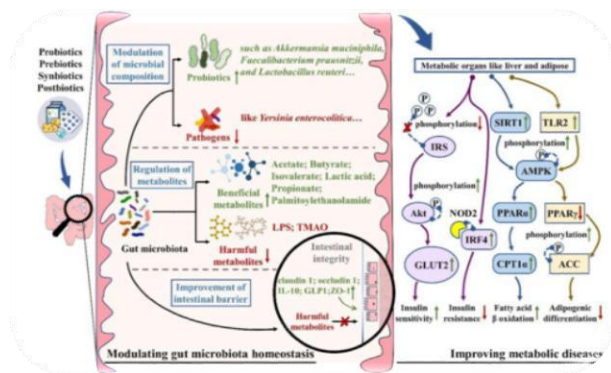


Figura 17. Los probióticos y prebióticos en enfermedades metabólicas

(Hang-Yu Li D.-D. Z.-Y.-B.-Y.-Y.-N., 2021)

4.6.2 Beneficios de probióticos sobre la obesidad y la microbiota intestinal

La obesidad es considerada actualmente una epidemia y esta conduce a varias alteraciones en el cuerpo humano y su metabolismo. Hay evidencias que demuestran que la microbiota intestinal puede influir en la obesidad. La microbiota juega un papel importante no solo en la digestión y absorción de nutrientes, sino también en el mantenimiento homeostático de la inmunidad del huésped, el metabolismo y la barrera intestinal. La evidencia emergente sugiere que la modificación de la composición de la microbiota intestinal a través de la suplementación probiótica, prebiótica y sinbiótica puede ser una opción de tratamiento adyuvante viable para los individuos obesos. Los cambios en la composición y la actividad metabólica de la microbiota intestinal a través de la administración de nutrientes con propiedades probióticas, prebióticas o sinbióticas pueden modular el metabolismo del huésped, y por lo tanto influir positivamente en el desarrollo del tejido adiposo del huésped y los trastornos metabólicos relacionados. Los efectos beneficiosos sobre el metabolismo del huésped promovido por los prebióticos, los probióticos y los sinbióticos han sido demostrados con éxito, esto gracias a varios estudios realizados en pacientes con obesidad. (Tatiane Ferreira da, 2020)



Figura 18. Los probióticos y prebióticos sobre la microbiota intestinal

(Sandra., 2024)

4.6.3 Cómo proteger los probióticos en los alimentos.

Los probióticos son susceptibles a factores como el ácido del estómago, las enzimas y las sales biliares. Además, cuando se incorporan en matrices alimentarias, los factores intrínsecos o de procesamiento con el pH bajo, la alta actividad del agua o altas temperaturas de cocción pueden afectar negativamente a los microorganismos. La tecnología de encapsulación garantiza la entrega segura de probióticos al intestino y una mayor supervivencia durante el procesamiento y el almacenamiento. Se usaron varias técnicas para proteger lo probióticos, como son la, emulsión, extrusión, secado por pulverización, liofilización, liposoma, electrohilado y otros. En este caso, se describe a detalle los principales métodos de encapsulación de probióticos, incluyendo técnicas de emulsión, extrusión y secado por pulverización. (Camelo-Silva, 2023)



Figura 19. Alimentos que favorecen a los probióticos y prebióticos

(López, 2024)

4.6.4 Alimentos funcionales y desarrollo de productos más saludables para consumidores

La alimentación funcional es una de las tendencias del futuro, ya que la ciencia actual permite la fabricación de productos procesados con muchos más beneficios para la salud, más allá de los alimentos originales, los cuales satisfacen las demandas de los consumidores modernos. Sin embargo, muchos ingredientes funcionales pueden afectar las características de los productos, incluida la textura, que es muy importante para la aceptación del consumidor. Los probióticos (*Lactobacillus* spp., *Bifidobacterium* spp., etc.) y (inulina, fructooligosacáridos, galactooligosacáridos, etc.) son ingredientes funcionales ampliamente estudiados los cuales pueden cambiar la textura de los alimentos, mejorándolo o no. Los estudios se centran en el desarrollo de productos funcionales con características texturales mejoradas que asocian la característica saludable con la sensorial, agregando así un gran valor para estos productos. (Jonas T Guimarães 1, 2020)

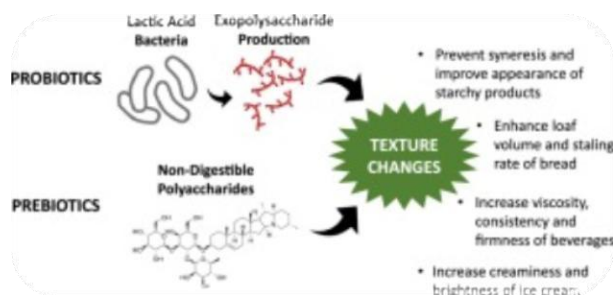


Figura 20. Alimentos funcionales y desarrollo de productos saludables

(Jonas T Guimarães, 2020)

4.6.5 Efectos de los probióticos en el envejecimiento y estrés oxidativo en las personas

Los probióticos influyen positivamente en la degeneración molecular relacionada con la edad (DMAE) dada su propensión a el estrés oxidativo e inflamatorio. Se aborda el impacto de los probióticos en los perfiles metabólicos, índices clínicos, parámetros de estrés inflamatorio y oxidativo en pacientes con DMAR. Se realizó un ensayo, donde se, controló con placebo que analizó 57 personas con ARMD de entre 50 y 85 años. Las personas fueron distribuidas aleatoriamente en dos grupos, y recibieron diariamente durante 8 semanas cápsulas probióticas o placebo. Se obtuvieron muestras de sangre en ayunas al inicio y después de la intervención de las 8 semanas para la determinación de perfiles metabólicos y biomarcadores de estrés oxidativo. Después de la intervención de 8 semanas, en comparación con el placebo, la suplementación con probióticos aumentó significativamente significó colesterol HDL (grupo probiótico: $+3,86 \pm 4,42$ vs. Grupo placebo: $-0,55 \pm 4,93$ mg/dL, $P = .001$), capacidad antioxidante total en plasma (TAC) (grupo probiótico: $+77,43 \pm 168,30$ vs. Grupo placebo: $-23,12 \pm 169,22$ mmol/L, $P = .02$) y disminución significativa de los niveles de malondialdehído (MDA) (grupo probiótico: $-0,18 \pm 0,46$ vs. Grupo placebo: $+0,18 \pm 0,25$ μ mol/L, $P = 0,001$). No hubo un efecto significativo de la administración de probióticos en otros perfiles metabólicos y síntomas clínicos. En general, una administración probiótica de 8 semanas entre los pacientes con ARMD tuvo efectos beneficiosos sobre los niveles de TAC, MDA y colesterol HDL, siendo este una nueva alternativa para evitar el envejecimiento y estrés oxidativo. (Hasan Farajipour, 2022)

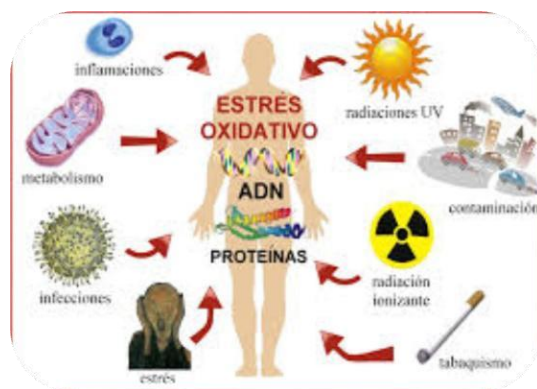


Figura 21. Efecto de los simbióticos en el envejecimiento y estrés oxidativo
(Galano, 2024)

4.6.6 Efecto de suplemento simbiótico en personas con diabetes tipo 2

Este estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de la suplementación simbiótica con *Bacillus Coagulans* en factores metabólicos e inflamatorios en pacientes con diabetes tipo 2. Este ensayo clínico, de 50 pacientes con diabetes tipo 2 fueron asignados aleatoriamente a los grupos simbióticos (que contenían *Bacillus Coagulans* + *Lactobacillus rhamnosus* + *Lactobacillus acidophilus* y fructooligosacárido) o placebo para recibir un sobre diariamente durante 12 semanas. Se midió el índice glucémico, el perfil lipídico y la hs-CRP al principio y al final del estudio. El análisis de la covarianza presento que la glucosa en sangre en ayunas (FBG), la insulina, la evaluación del modelo homeostático para la resistencia a la insulina (HOMA-IR), la función de las células β (HOMA- β) ($p < 0,05$) y hs-CRP ($p < 0,05$) disminuyó significativamente en el grupo de tratamiento con probioticos en comparación con el grupo placebo. Por lo tanto, el estudio actual indicó que la suplementación simbiótica con *Bacillus Coagulans* podría se una alternativa para mejorar los factores metabólicos e inflamación en pacientes con diabetes tipo 2. (Aynaz Velayati, 2021)

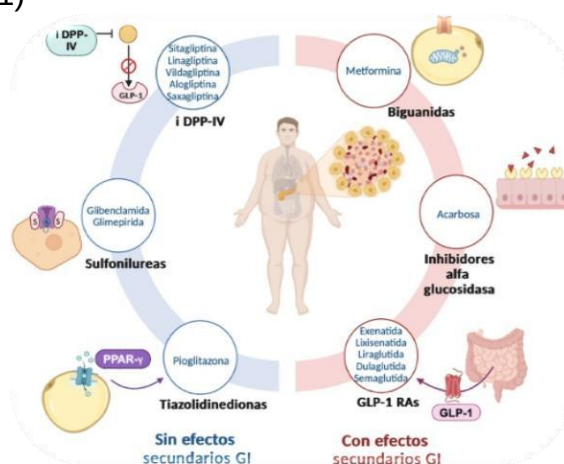


Figura 22. Simbióticos en personas con diabetes Nota.

(Barrientos-Ávalos, 2024)

4.6.7 Importancia de los probióticos y prebióticos sobre la salud humana

En los últimos años, ha habido un creciente interés en identificar y aplicar nuevas moléculas naturales que promueven la salud. Los probióticos se definen como “microorganismos vivos que, cuando se administran en cantidades adecuadas, confieren beneficios para la salud al huésped”. Algunos productos fermentados sirven como la fuente de cepas probióticas, con muchos factores que influyen en la eficacia de los probióticos, incluidas las interacciones de las bacterias probióticas con el microbioma del huésped. Los prebióticos no contienen microorganismos, solo sustancias que estimulan su crecimiento. Los prebióticos se pueden obtener de diversas fuentes, incluyendo la leche materna, la soja y la avena cruda, sin embargo, los prebióticos más populares son los oligosacáridos contenidos en las plantas. Investigaciones recientes afirman cada vez más que los probióticos y los prebióticos alivian muchos trastornos relacionados con el sistema inmunológico, la metástasis del cáncer, la diabetes tipo 2 y la obesidad. Sin embargo, se sabe poco sobre el papel de estos suplementos como componentes dietéticos importantes en la prevención o el tratamiento de enfermedades cardiovasculares. Sin embargo, se realizaron algunos informes y estudios clínicos, que ofrecen nuevas formas de tratamiento. Por lo tanto, el objetivo de esta revisión es discutir los roles de la microbiota intestinal, los probióticos y las intervenciones prebióticas en la prevención y el tratamiento de enfermedades cardiovasculares. (¿Anna Oniszczuk, 2021)

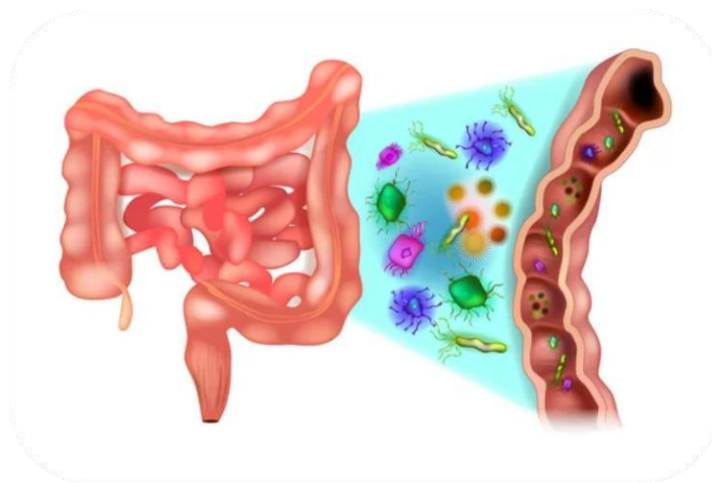


Figura 23. Probiótico y prebióticos en la salud humana

(Ainhoa Pérez, 2019)

4.7 Fermentación en los panes

4.7.1 Desarrollo de pan funcional de masa madre con probióticos y prebióticos

Hoy en día, el interés de los consumidores en consumir alimentos saludables y un alto valor nutricional ha llevado a todos, especialmente a los investigadores, al uso de alimentos ultra rentables, así como al uso de probióticos y prebióticos en productos de panadería, especialmente el pan de masa agria o bien masa fermentada. La adición de masa agria que contiene *coagulancia de bacilo* y fructoaligosacida proporciona características deseables para el pan a granel y se puede usar como iniciador en la producción de pan voluminoso o esponjoso, el cual es característico de un pan fermentado, con propiedades funcionales y alto valor nutricional. (Zahra Farajinejad, 1401)



Figura 24. Pan funcional de masa madre

(Matus, 2021)

4.7.2 Masa madre y bacterias ácido lácticas

Esta revisión nos muestra el hecho de que la masa madre en pan es una fuente muy prometedora de agentes biológicos de modelado de microbiotas tecnológicas, antimicrobianas, degradantes de toxinas, sistemas inmunológicos y microbiotas fecales para la preparación de alimentos y nutraceuticos, que tiene un gran potencial a escala de la biotecnología industrial. Hay muchas aplicaciones de bacterias del ácido láctico (LAB) de masa madre, que son los principales microorganismos en la masa madre espontánea. Además de su aplicación como cepas tecnológicas puras en las industrias alimentaria y de piensos, teniendo en cuenta las propiedades específicas de estos microorganismos (antimicrobianos, antifúngicos, inmuno y microbiota-moduladores, etc.), estos siendo utilizados como ingredientes valiosos en alimentos de mayor valor, así como formulaciones nutraceuticas. Además de los alimentos tradicionales preparados con microorganismos de masa madre (pan, galletas, productos cárnicos, lácteos, bebidas, etc.), podrían presentar aplicación en

la preparación de ingredientes con valor agregado para las industrias alimentaria y nutracéutica. Por último, esta revisión nos presenta una breve introducción a las posibles y futuras aplicaciones de la masa madre LAB en las industrias de alimentos y nutracéuticos. (Elena Bartkiene Ć. Ö., Bacterias del ácido láctico de la masa madre del pan: agentes biológicos tecnológicos, antimicrobianos, degradantes de toxinas, sistemas inmunitarios y microbiotas fecales para la preparación de alimentos, nutracéuticos y piensos., 2022)



Figura 25.masa madre con bacterias acido lácticas
(Desgarennnes, 2026)

4.7.3 Calidad del pan a partir de procesos enzimáticos y microbianos durante la fermentación de la masa

La conversión enzimática y microbiana de los componentes de la harina durante la elaboración del pan determina la calidad del mismo. El metabolismo de la microbiota de la masa madre y la actividad de las enzimas de los cereales son interdependientes. La acidificación, es el consumo de oxígeno y la acumulación de tioles por el metabolismo microbiano modulan la actividad de las enzimas de cereales y a su vez, las enzimas de cereales proporcionan sustratos para el crecimiento bacteriano. En esta revisión destaca el papel de las enzimas de cereales y el metabolismo de las bacterias ácido lácticas en la conversión de carbohidratos, proteínas, compuestos fenólicos y lípidos. Las bacterias de ácido láctico heterofermentativas que prevalecen en las masas madre del trigo y el centeno se metabolizan preferentemente sacarosa y maltosa; esta última es liberada por las enzimas de los cereales durante la fermentación. Las actividades de la peptidasa de la masa madre determinan la acumulación de péptidos (bioactivos), aminoácidos y metabolitos de aminoácidos en la masa y el pan. La conversión enzimática y el metabolismo microbiano de los compuestos es relevante en el sorgo y el mijo que contiene altos niveles de fenólicos. Como es presentado la fermentación de diferentes masas madre con distintos cereales son funcionales para poder obtener una buena masa madre y al mismo tiempo un buen pan el cual puede ser apto para diferentes personas. (Gänzle, 2014)



*Figura 26. Procesos enzimáticos de un pan de masa madre
(Vidal, 2018)*

4.8 Propiedades y características de los panes funcionales

4.8.1 Comparación de pan con probióticos y pan sin gluten

Así como, hay estudios donde demuestras la funcionalidad de pan con probióticos los cuales tienen como finalidad ayudar a una parte del mercado consumidor, también hay estudios donde la demanda de productos sin gluten (GF) debido al creciente número de personas intolerantes al gluten y saludables que eligen seguir una dieta libre de gluten. El pan sin gluten (GFB) es un producto alimenticio con gran tendencia en el mercado debido a su gran demanda; por lo tanto, muchos estudios recientes han informado de las propiedades nutricionales de GFB en las personas intolerantes al mismo. Esta revisión tuvo como objetivo recopilar la información más reciente sobre los ingredientes más utilizados en las formulaciones de GFB y la calidad nutricional de estos productos en diferentes países. Además, hay estudios que han revelado un alto índice glucémico en la mayoría de los productos, que se asocia con el uso extensivo de harina de arroz y almidón como los principales ingredientes en la formulación de GFB, lo cual conlleva a implementar diferentes estudios para una mejora del mismo.. (Etiene V. Categoría: Aguiar, 2021).



Figura 27. Pan con probióticos & Pan sin gluten
(GDA, 2025)

4.8.2 Calidad nutricional del pan sin gluten

Actualmente, los productos de panadería sin gluten ofrecen un menor contenido de micro y macro nutrientes como lo son las proteínas, fibra y minerales y un índice glucémico (IG) elevado a comparación de los alimentos que contienen gluten. Una mezcla de arroz y harina de trigo sarraceno o una baja adición de clara de huevo o proteína de suero de leche, ha demostrado potencial para la mejora de la nutrición y las cualidades sensoriales. Para aumentar el contenido de fibra, se han incorporado fibra de cereal aislada y aislados de fibra soluble en formulaciones libres de gluten teniendo un cierto éxito sensorial. Los estudios han demostrado que el IG de los productos modernos sin gluten ya no es una preocupación importante con la mejora de las formulaciones de ingredientes y los métodos de procesamiento. El bajo contenido mineral actualmente se puede aumentar con el uso de ingredientes ricos en minerales como el amaranto, el trigo sarraceno o la harina de linaza. Teniendo como objetivo una alternativa funcional y nutritiva con la mejora de este producto consumido por todas las personas. (Serventi, 2017)



Ilustración 28. Pan sin gluten
(Salinas, 2020)

4.9 Alimentos funcionales

4.9.1 Alimentos funcionales y como son definidos

La definición de los alimentos funcionales desarrollados por la "Functional Food Science in Europe" (FUFOSE): El alimento funcional es un alimento con ciertos efectos beneficiosos sobre una o más funciones que da en el cuerpo más allá de los efectos nutricionales básicos, con un resultado de la mejora del estado de salud y bienestar o reducción del riesgo de enfermedades. Se consume como parte de una dieta normal y no se utiliza en forma de píldora o cápsula o cualquier otra forma de suplemento dietético.

Recientemente, el Centro Funcional de Alimentos (FFC) introdujo una nueva definición para los alimentos funcionales como: "Alimentos naturales o procesados que contienen compuestos biológicos-activos conocidos o desconocidos; que, en cantidades no tóxicas eficaces y definidas, proporcionan un beneficio para la salud clínicamente probado y documentado para la prevención, el manejo o el tratamiento de enfermedades crónicas. En esta definición, los primeros alimentos funcionales pueden ser naturales o procesados. En segundo lugar, los compuestos bioactivos, que se consideran la fuente de la funcionalidad de los alimentos, son metabolitos secundarios que ocurren en alimentos generalmente en pequeñas cantidades que actúan sinérgicamente para beneficiar la salud. Específicamente, los compuestos bioactivos pueden eliminar los efectos antioxidantes, cardioprotectores y quimioventivos.

Los alimentos funcionales pueden ser en muchas formas. Algunos pueden ser alimentos convencionales con componentes bioactivos que ahora pueden identificarse y vincularse a efectos positivos para la salud. Algunos pueden ser alimentos fortificados o mejorados, formulados específicamente para reducir el riesgo de enfermedad. Los consumidores ya pueden elegir entre una amplia variedad de alimentos que contienen componentes funcionales de forma inherente (por ejemplo, proteína de soja, pescado, aceite de oliva) o mediante fortificación (por ejemplo, leche confortada con folato). A medida que se determinen componentes bioactivos adicionales, las oportunidades de desarrollar alimentos funcionales serán amplias. Los alimentos que naturalmente proporcionan una sustancia bioactiva pueden mejorarse para aumentar el nivel presente en los alimentos (por ejemplo, los huevos con niveles aumentados de ácidos grasos omega-3). Por otro lado, los alimentos que no contienen naturalmente una sustancia bioactiva pueden ser fortificados (por ejemplo, jugo de naranja fortificado con calcio).

La comprensión científica de la forma en que los componentes alimentarios específicos afectan a los procesos corporales implicados en la salud y el bienestar permite el desarrollo de marcadores que podrían confirmar el impacto de los nuevos productos alimenticios y también podrían utilizarse en su evaluación de la seguridad. El desarrollo de alimentos funcionales utilizando la tecnología alimentaria innovadora y los métodos bioquímicos puede ofrecer efectos beneficiosos a los consumidores para el bienestar y la reducción del riesgo de enfermedad. El diseño y el funcionamiento de tales estudios deben llevarse a cabo cuidadosamente para dar a conocer la evidencia científica para la aprobación de las declaraciones de salud y la producción exitosa de nuevos alimentos funcionales. El desarrollo de alimentos funcionales, con sus declaraciones de propiedades saludables acompañantes, procederá a avanzar en la regulación alimentaria, que es el medio para garantizar la validez de las reclamaciones, así como la seguridad de los alimentos. La ciencia en sí misma no puede regularse y la ciencia alimentaria funcional sólo proporciona la base científica para estas regulaciones (Lagouri, 2018).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materiales

- Harina de trigo marca la “LA POSADA”
- Agave
- 3 Diferentes cepas de bacterias ácido-lácticas
 - Y2
 - D15-BAL
 - GA
- Leche entera
- Azúcar
- Sal
- Mantequilla
- Levadura
- Frascos de vidrio
- Bools
- Cucharas
- Papel film
- Molino
- Tamiz

5.2 Metodología

5.2.1 Inoculación y crecimiento de los microorganismos

Los microorganismos fueron obtenidos por el laboratorio de Ciencias Químicas. Para favorecer su crecimiento, se colocaron placas Petri en dos medios de cultivo diferente: agar PDA y MRS, utilizando el método de estrías para su siembra, principalmente se tomó una asada de microorganismos y fue sembrada sobre el medio de cultivo solidificado, formando una estría. Posteriormente, se esterilizo el asa mediante quemado y, de lo que se encontraba en el medio formamos nuevas estrías alrededor del contorno de la placa, con el fin de obtener colonias pequeñas que posterior fueron útiles para su inocularlos en medio líquido.

Las placas fueron encubados a 32°C. Una vez obtenido y verificado el crecimiento mediante observación microscópica, se procedió a inocular los microorganismos en medio líquido. Aunque el procedimiento de siembra fue similar, el tipo de cultivo utilizado fue diferente. En esta etapa se utilizaron caldos MRS y YPD, se tomó una asada de microorganismos de la caja Petri y se sembró en forma sembrada en zigzag, con el propósito de favorecer un mejor crecimiento de microorganismos y así poder utilizarlos en la fermentación de masa madre.

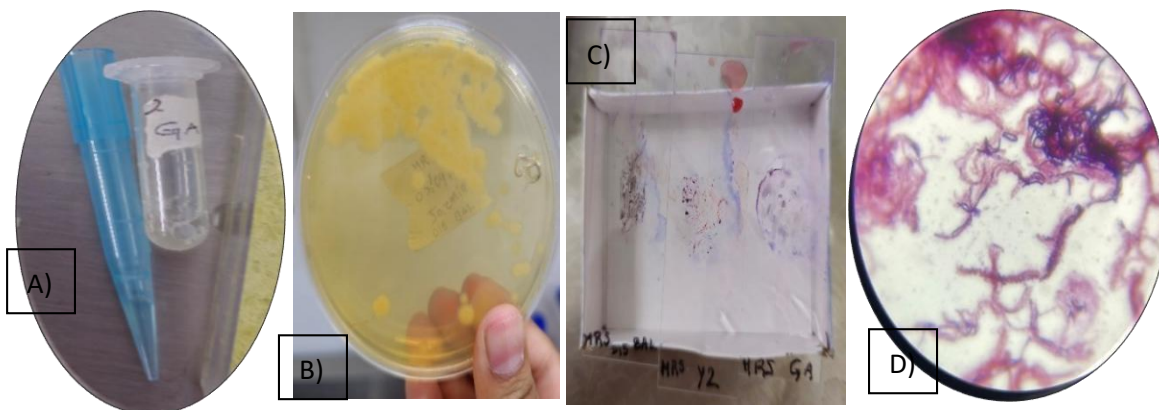


Figura 30. Inoculación y observación de los microorganismos. A) Microorganismo seleccionado. B) Crecimiento del microorganismo en caja petri. C) Tinción de los microorganismos. D) observación de los microorganismos bajo el microscopio.

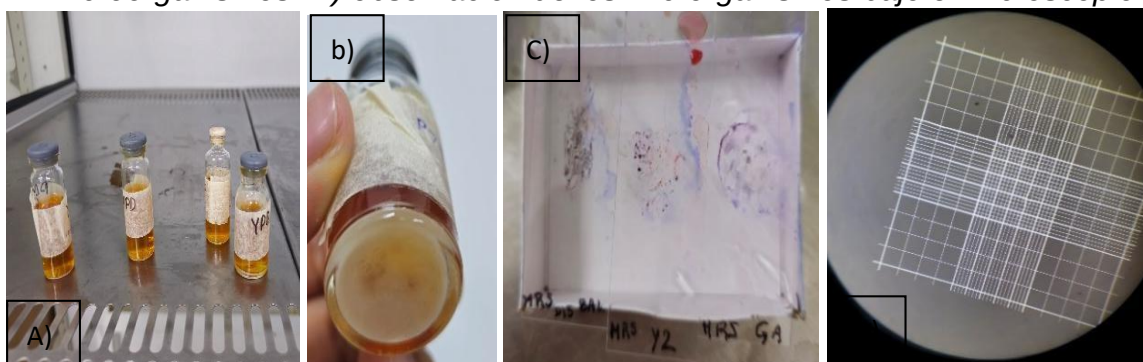


Figura 31. Crecimiento y conteo de los microorganismos. A) medio de cultivo, B) crecimiento de microorganismo, C) tinción de los microorganismos, D) conteo de los microorganismos.

5.2.2 Obtención de las harinas de agave y trigo

La harina de trigo comercial “LA POSADITA” comprada de un supermercado, trasladada a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

5.2.3 Preparación de la harina de agave

Agave salmiana, fue recolectado por agricultores de los ejidos de saltillo, en el estado de Coahuila.

La limpieza se llevó acabo en el laboratorio 2 del departamento de alimentos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, la materia prima se lavó con agua purificada para asegurar la eliminación de impurezas y posteriormente se dejó en remojo con ácido cítrico para evitar su oxidación y la presencia de una tonalidad oscura. Después de este proceso, se escurrió y se distribuyó en rejillas para su deshidratación a 90°C durante 48 hr en un deshidratador de las marcas colzer y vevor.

El Agave salmiana deshidratado fue molido y posteriormente tamizado utilizando un tamiz N.º30, obteniendo una harina con un tamaño de partícula de 0.598 mm.

Finalmente, la harina de agave se almacenó en un recipiente plástico a temperatura ambiente hasta su uso posterior.



Figura 32. Preparación de la harina de agrave. A) recolección del agave. B) Lavado del agave. C) Deshidratado del agave. D) Molienda del agave. D) Harina previamente tamizada.

5.2.4 Preparación de la masa madre

La fórmula para la preparación de la masa madre se elaboró a partir de partes iguales de harina de trigo y agua. Al mismo, se añadieron microorganismos de kéfir. El procedimiento se llevó a cabo bajo la campana de extracción, utilizando un mechero para mantener condiciones asépticas y evitar la contaminación.

La formulación se realizó en frascos de vidrio previamente esterilizados, a los cuales se agregaron 50gr de harina de trigo, 50 ml de H₂O y 500 µl de microorganismo de kéfir categoría D15-BAL, GA y Y2, cada uno inoculado en un frasco diferente.

Posteriormente, las muestras se dejaron en incubación durante 24 horas a una temperatura de 32°C en una incubadora orbital modelo INO 650V-7.

Trascurridas las 24 horas, la masa madre fue alimentada con harina y agua en proporciones 5gr-5ml, respectivamente durante 5 días, manteniéndose bajo las mismas condiciones de incubación.

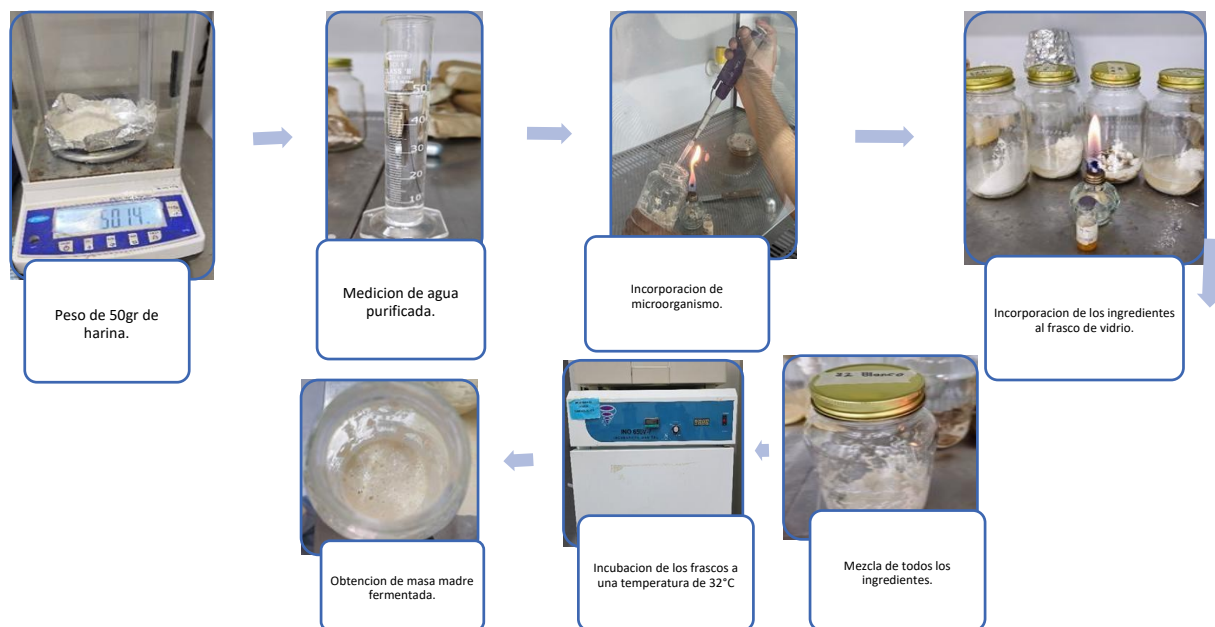


Figura 33. Preparación de la masa madre

5.2.5 Preparación del pan

Una vez obtenida la masa madre fermentada durante 5 días, se inició la elaboración del pan. Los panes se elaboraron con 3 concentraciones diferentes de inclusión (10%, 20% y 30%) y con 3 tipos de microorganismos (D15-BAL, GA y Y2). Asimismo, se elaboró un pan control sin masa madre. Para cada tratamiento se emplearon los ingredientes y proporciones indicadas en la tabla 1.

Tabla 1. Tabla de ingredientes y formulaciones del pan

Ingredientes	Inclusión			
	Masa Control	10%	20%	30%
Harina de trigo	100g	90g	80g	70g
Harina de agave	0	10g	20g	30g
Masa madre	0	10g	20g	30g
Leche entera	62 ml	56ml	50ml	43ml
Azúcar	5g	5g	5g	5g
Sal	1.5g	1.5g	1.5g	1.5g
Mantequilla	15g	15g	15g	15g
Levadura	3.5g	1g	1g	1g

Una vez reunido todos los ingredientes, se inició la activación de la levadura junto con la masa, con el fin de obtener una masa más esponjada, característica de productos elaborados con masa madre. A cada tratamiento se le añadió 1g de levadura, 1cucharadita de azúcar, 1 cucharadita de harina y una pequeña cantidad

de leche correspondiente a su formulación. La mezcla se colocó en recipientes de vidrio, se mezcló y se introdujo en el horno para acelerar la activación.

Por otro lado, se hidrató la harina de agave con el propósito de evitar que absorbiera humedad de la masa durante el mezclado. Cada concentración se hidrató con diferentes cantidades de agua: 10g con 33ml, 20g con 66ml y 30g con 99ml.

Una vez que la masa activada la levadura con la masa madre e hidratada la harina de agave, se procede a la preparación de la masa para el pan. En un recipiente se incorporaron harina de trigo, la harina de agave previamente hidratada, sal, azúcar y leche. La mezcla se amasa utilizando el método de Lepard (pliegues y reposo). Cuando se obtuvo una masa semisólida y manejable, se añadió la mantequilla para fortalecer su estructura. Se continuó con el amasando mediante el mismo método hasta obtener el punto de “prueba de cortina”, indicativo de un adecuado amasado.

Posteriormente, la masa se boleó y se dejó reposar durante 1hr en el horno para favorecer su crecimiento. Tras este periodo, se volvió a masar mediante pliegues y reposo), se boleó se dejó fermentar por otra hora, finalmente, los panes se hornean a 150°C durante 20 minutos. Una vez horneados, se retiran del horno y se dejaron enfriar a temperatura ambiente.

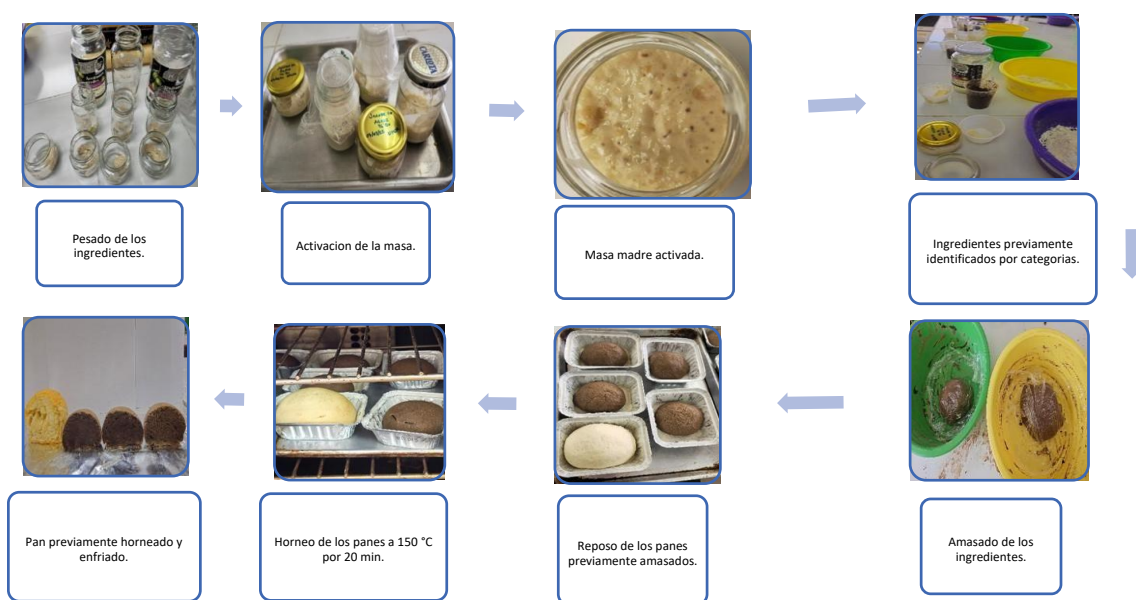


Figura 34. Elaboración de pan.

5.2.6 Determinación de análisis fisicoquímicos del pan y la harina de agave

Todos los análisis fisicoquímicos se realizaron por triplicado, con la finalidad de obtener un promedio representativo de cada una de las muestras.

5.2.6.1 Determinación de cenizas (minerales) y materia seca total

La determinación de cenizas es importante en la elaboración de un alimento, ya que permite identificar el contenido de minerales presentes en forma de cenizas. Así mismo, la determinación de materia seca total permite conocer la cantidad de humedad de la muestra, un parámetro relevante en la muestra, debido a que, al ser una muestra derivada de la harina, requiere un contenido específico de humedad para evitar resequedad y garantizar una textura agradable para el consumidor.

Para su determinación se pesaron previamente los crisoles, los cuales se encontraban a peso constante tras haber sido colocados en la estufa. Posteriormente se añadió 1gr de muestra, considerando sus respectivas repeticiones. Los crisoles con la muestra se introdujeron en la estufa durante 12 horas.

Trascurrido este tiempo, se sacaron y colocaron en un desecador y se dejaron enfriar durante 20 minutos. Una vez fríos, se pesaron nuevamente y se registró el peso, el cual nos permitió calcular la materia seca total de la muestra.

Para la determinación de cenizas, la muestra previamente deshidratada se sometió a una preincineración en una parrilla, el proceso que se consideró completo cuando dejó de desprender humo, indicando de la materia orgánica. Posteriormente, las muestras, se colocaron en una mufla a 600°C durante aproximadamente 1 a 2 horas con el fin de obtener las cenizas.

Finalmente, los crisoles se retiraron de la mufla, se dejaron enfriar en un desecador y se pesaron para registrar el contenido final de cenizas, procediendo después a realizar los cálculos correspondientes mediante la siguiente fórmula:

$$\%MST = \frac{\text{peso del crisol con muestra seca} - \text{peso del crisol solo}}{\text{g de la muestra}} \times 100 \quad (1)$$

$$\%Humedad = 100 - \%MST \quad (2)$$

La fórmula para obtener los resultados de cenizas es:

$$\%C = \frac{\text{peso del crisol con cenizas} - \text{peso de crisol solo}}{\text{g de la muestra}} \times 100 \quad (3)$$



Figura 35. Determinación de materia seca y humedad. A) Peso de la muestra, B) Secado en la estufa durante 12hr, C) Pre-incineración de la muestra, D) Muestras en la mufla a 600°C, E) Muestras incineradas, F) Pesado la muestra una vez hecho cenizas.

5.2.6.2 Determinación de proteína

La determinación de nitrógeno total o bien proteína, constituye una parte fundamental de los análisis realizados en este trabajo. Su determinación se llevó a cabo mediante el método kjeldahl, un método analítico común que permite determinar el contenido total de nitrógeno y, a partir de este, estima el contenido proteico de los alimentos.

Este método se divide por tres etapas principales que deben realizarse de manera adecuada. La primera etapa corresponde a la digestión, la cual inició en el pesaje de un gramo de muestra colocado sobre papel de celulosa, considerando que cada muestra se analizó por triplicado. Posteriormente, la muestra envuelta se transfirió a un matraz kjeldahl, al que se añadieron 6 perlas de vidrio, una cucharada de mezcla reactiva de selenio y 30ml de ácido sulfúrico (a una concentración de 0.03955). Una vez incorporados todos los reactivos, el matraz se colocó en el equipo macrokjeldahl en el módulo de digestión hasta obtener una mezcla completamente digerida de color verde claro.

Posteriormente, la mezcla se dejó enfriar completamente durante aproximadamente 12 horas, con el fin de continuar con la segunda etapa, correspondiente a la destilación. Esta fase consiste en la reelección del nitrógeno. En un matraz de 500

ml se añadieron 50 ml de ácido bórico al 4% y 3 gotas de indicador mixto. Al matraz kjeldahl que contenía la muestra digerida se le agregan 4 perlas negras, 300 ml de agua destilada y 100 ml de hidróxido de sodio al 40%. Posteriormente, colocarlo nuevamente en el equipo macro-kjeldahl, en el apartado de destilación, situando el matraz kjeldahl en la parte superior y el matraz receptor en la parte de recolección de nitrógeno. La destilación se detuvo hasta obtener aproximadamente 400ml de destilado, momento en el cual se retiró la muestra.

Finalmente, se procedió a la etapa de la titulación con ácido (a una concentración de 0.089), hasta alcanzar una coloración ámbar claro. Se registró el volumen de ácido consumido y el contenido nitrógeno se calculó multiplicando dicho volumen por el factor de conversión (6.25, con el fin de estimar el contenido de proteína mediante la fórmula:

$$\%N = \frac{\text{ml gastados} * 0.014\text{ml equivalentes al nitrógeno} * 0.02439}{\text{gr de muestra}} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Proteína} = \% \text{Nitrogeno gastado} * 6.25 \quad (5)$$

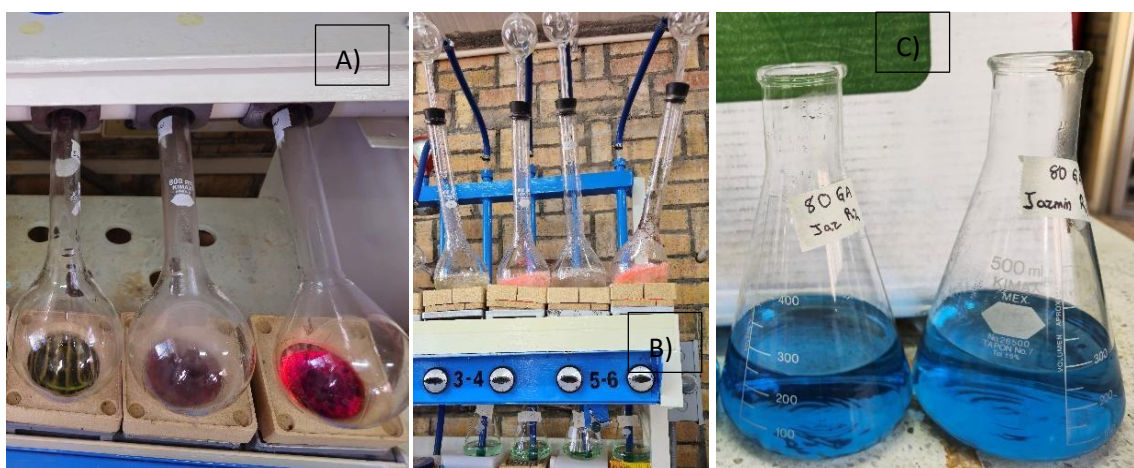


Figura 36. Determinación de proteína. A) Digestión de la muestra, B) Destilación de la muestra y C) Titulación de la muestra.

5.2.6.3 Determinación de lípidos por el método de Soxhlet

La determinación de grasa constituye a un análisis importante, ya que permite posteriormente estimar el contenido de fibra presente en la muestra. Su cuantificación se realizó mediante el método Soxhlet, el cual, aunque es un procedimiento prolongado, ofrece resultados precisos respecto a la cantidad de grasa extraída.

Para su determinación se utilizó un matraz bola fondo plano previamente llevado a peso constante. Este fue retirado de la estufa y colocado en un desecador durante 20 minutos para su enfriamiento. Trascurrido el tiempo se pesó en una balanza analítica y se registró el peso obtenido, ya que este dato se empleó posteriormente en los cálculos.

Posteriormente, se añadió hexano hasta un poco más de la mitad de la capacidad del matraz. La muestra se coloca dentro de un dedal de celulosa, el cual se introdujo en la parte correspondiente del extractor, para después ensamblar el equipo Soxhlet. El matraz se sometió a calentamiento con el fin de evaporar el disolvente (hexano), el cual se condensó en el extractor y entro en contacto con la muestra. A partir de la primera gota condensada, se contabilizaron 8 horas continuas de extracción.

Una vez concluido el tiempo de extracción, el disolvente fue retirado del matraz hasta obtener únicamente la grasa extraída. El matraz se colocó en la estufa durante 12hr, para eliminar completamente los residuos de disolvente. Posteriormente, se transfirió al desecador para enfriarlo durante 20 minutos y, una vez alcanzado la temperatura ambiente, se pesó nuevamente en la balanza analítica. Finalmente, se realizaron los cálculos correspondientes para determinar la cantidad exacta de grasa obtenida de la muestra.

Fórmula para lípidos

$$\%Grasa = \frac{\text{matraz con grasa} - \text{matraz solo}}{\text{gr de muestra}} \times 100$$

(6)



Figura 37. Determinación de lípidos. A) Peso de la muestra, B) Peso del matraz bola fondo plano, C) instalación al equipo soxhlet con hexano, D) peso del matraz con grasa.

5.2.6.4 Determinación de fibra

La determinación de fibra constituye otro de los análisis fundamentales que deben realizarse a la muestra, ya que permite conocer el nivel de fibra presente y su digestibilidad. Este parámetro es relevante en los alimentos, pues facilita la identificación del público al que va dirigido el producto, considerando que una baja o alta digestibilidad puede influir en la tolerancia del consumidor.

La cuantificación de fibra se realizó mediante la técnica (). En primer lugar, pesó la muestra previamente desengrasada, registrando un peso aproximado de 2 a 3 gramos. Posteriormente, la muestra se transfirió a un vaso de Berzelius, al cual se le añadieron 100ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4). El vaso se llevó a ebullición y, una vez iniciada, se contabilizaron 30 minutos de calentamiento.

Trascurrido este tiempo, la mezcla se filtró utilizando tela de filtro y embudo. Una vez escurrida, la tela con la muestra se colocó nuevamente en un vaso de Berzelius, donde se agregaron 100ml de solución de hidróxido de sodio (NaOH). La mezcla se sometió nuevamente a ebullición durante 30 minutos. Finalizado este periodo, se realizó una segunda filtración empleando otra tela de filtro y, con ayuda de agua destilada caliente, se recuperó completamente la muestra tanto de la primera tela como del vaso de Berzelius.

La muestra recuperada se recogió con ayuda de una espátula y se transfirió a un crisol previamente identificado. Posteriormente, se colocó en la estufa durante 12 horas. Al término de este periodo, el crisol se retiró, se dejó enfriar en un desecador y se pesó, registrando el valor obtenido. Después, la muestra se pre-incinero y se introdujo en una mufla a $600^{\circ}C$ durante 1 hora. Finalmente, se retiró, se dejó enfriar nuevamente en el desecador y se pesó. Con los datos obtenidos se realizaron los cálculos necesarios para determinar el contenido de fibra presente en la muestra.

$$\%Fibra = \frac{\text{peso de crisol con fibraseca} - \text{peso de crisol con fibra en cenizas}}{\text{gr de muestra}} \times 100 \quad (7)$$



Figura 38. Determinación de fibra. A) Peso de la muestra, B) Instalación del vaso de Berzelius al equipo, con ácido sulfúrico, C) enjuague sobre tela filtro, D) se coloca nuevamente al equipo junto con la tela e hidróxido de sodio, E) Peso de la muestra previamente seca por 12hr, F) Peso de muestra en cenizas.

5.2.7 Características físicas del pan

5.2.7.1 Colorimetría

Dentro de algunas de las características de pan, se tomaron muestras de color, con la ayuda de colorímetro, al pan se le tomaron tres muestras de tres puntos diferentes esto para poder tener un promedio y así evaluar, cuantificar y estandarizar el color del pan y que este sea agradable a la vista



Figura 39. Determinación de colorimetría del pan.

5.2.7.2 Esponjosidad

La esponjosidad es una de las características importantes en productos de panificación, ya que nos ayuda a tener una visión exacta de la fermentación del pan, principalmente evaluando el nivel de fermentación que aportaron los microorganismos a él. Para su determinación una vez el pan horneado y frío se cortó por la mitad para posterior medirlo con ayuda de una regla, esto para ver cuando centímetros presento cada uno.



Figura 40. Determinación de esponjosidad del pan.

5.2.7.3 Textura

Otra de las características indispensables en un producto de panificación es la textura que este presenta, el cual nos ayudara a determinar la firmeza, suavidad, dureza y elasticidad que este puede llegar a presentar. Para su determinación utilizamos un penetrometro con la aguja de 11 mm, donde tomamos tres puntos diferentes para poder determinar un promedio y con ello determinar el que condiciones esta.



Figura 41. Determinación de textura del pan.

5.2.8 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial constituye uno de los análisis más relevantes en el desarrollo de un producto, ya que permite obtener respuestas directas y sinceras por parte de los panelistas, ya sea para la mejora del producto o para determinar su nivel de aceptación. En este análisis se evaluaron distintos atributos esenciales de diversas muestras. Su importancia radica en que, independientemente de que un producto sea saludable, si no presenta un color, sabor, olor y textura agradable, es poco probable que sea aceptado por los consumidores debido a factores sensoriales desfavorables.

La evaluación sensorial se llevó acabo en el laboratorio de Ciencia Química de la universidad Autónoma de Coahuila (UADEC). El panel estuvo conformado por 40

consumidores habituales del pan. En la prueba se evaluaron 4 muestras; una muestra control (pan blanco), la muestra Y-2 (elaborada con el microorganismo Y2 y 10% de harina de agave), la muestra D-15 (con el microorganismo D15-BAL y con 10% de harina de agave) y la muestra GA (con el microorganismo GA y 10% de harina de agave).

Los atributos a evaluar fueron color, olor, sabor, textura, apariencia global. Para la valoración se utilizó una escala hedónica de 5 a 1, donde 5 correspondió a “me gusta mucho” y 1 a “me disgusta”.

La evaluación se llevó a cabo mediante el formato presentado en la ilustración 1. Debido a que los participantes fueron panelistas consumidores y no contaban con la formación técnica necesaria para realizar una evaluación más rigurosa, se optó por un instrumento sencillo, con el fin de evitar posibles bloqueos de información y facilitar la comprensión del procedimiento.

En primer lugar, se acondicionaron las mesas y los bancos, colocando sobre cada mesa el material necesario para que los panelistas pudieran realizar la evaluación adecuadamente. Posteriormente, se les consultó si presentaban alergia a la harina de agave, con el propósito de identificar quienes eran aptos para participar en la prueba.

Una vez recopilada esta información, se proporcionaron las instrucciones necesarias para asegurar una evolución correcta. Finalmente se otorgó un incentivo a los participantes y se les expresó un agradecimiento por su colaboración en la evolución.


Universidad Autónoma de Coahuila

Edad: _____ Sexo: ☐ F ☐ M



Agradezco de antemano su participación en esta evaluación sensorial. Frente a Usted tiene 4 muestras, por favor, observe y pruebe cada una de ellas y califique las muestras de acuerdo a la escala que se muestra a continuación:

Me gusta mucho	Me gusta	Regular	No me gusta	Me disgusta
5	4	3	2	1

Código de la muestra	Color	Olor	Sabor	Textura	Apariencia global
1					
Y-2					
D-15					
GA					

Observaciones:

Muchas Gracias

Figura 42. Formato de evaluación sensorial.

A los panelistas se les proporciono el material esencial para llevar a cabo la evaluación, como se muestra en la ilustración 2. A cada panelista se le entrego una charola con las muestras debidamente etiquetadas, la hoja de evaluación correspondiente, una pluma, vaso con agua simple para el enjuague bucal entre muestras y una servilleta.



Figura 43. Material necesario para evaluación sensorial.

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1 Conteo de microorganismos

En la tabla 2, nos muestra el conteo realizado por medio de la ayuda del microscopio, al igual nos demuestra cual fue el microorganismo con mayor número de colonias el cual fue el D15-BAL con un total de 1038 colonias, seguido del GA con un total de 510 colonias y finalmente Y2 con un total de 458, esto es clave para identificar cuál de los 3 microorganismos tiene mayor concentración y cual va ser el que tenga mayor fermentación. De acuerdo a un reporte realizado por (Knapp, 2024)

Menciona que para que un alimento pueda ser considerado alimento probiotico este debe contener al menos 1.000 millones de bacterias viables y para que este pueda ser más eficaz es esencial utilizar cepas de bacterias presentes de forma natural en el organismo. Donde los resultados de esta investigación son inferiores ya que solo se le añadió una cantidad proporcional para que ayudara al proceso de fermentación, sin en cambio al ser este un alimento horneado no puede ser considerado alimento probiotico debido a que las bacterias mueren durante el horneado.

Tabla 2. Conteo de microorganismos.

		N. Microorganismos		
		Tipo de microorganismo		
Líneas	Cuadrante	GA	D15 BAL	Y2
1	1	15	38	21
	5	23	47	17
2	2	20	50	21
	3	16	42	18
	4	16	45	23
3	2	20	44	20
	3	15	39	13
	4	27	44	16
4	2	16	36	17
	3	28	32	20
	4	26	45	18
5	1	23	31	20
	5	20	47	14
		20	42	18
	Total	510	1038	458

6.2 Análisis bromatológico

6.2.1 Determinación de humedad

En la figura 7, se puede observar que la muestra con mayor humedad es la muestra control, la cual está elaborada en su totalidad con harina de trigo, seguido de la muestra a 10%, 20% y 30% ya que estas están hechas con una mezcla de harina de trigo y harina de agave.

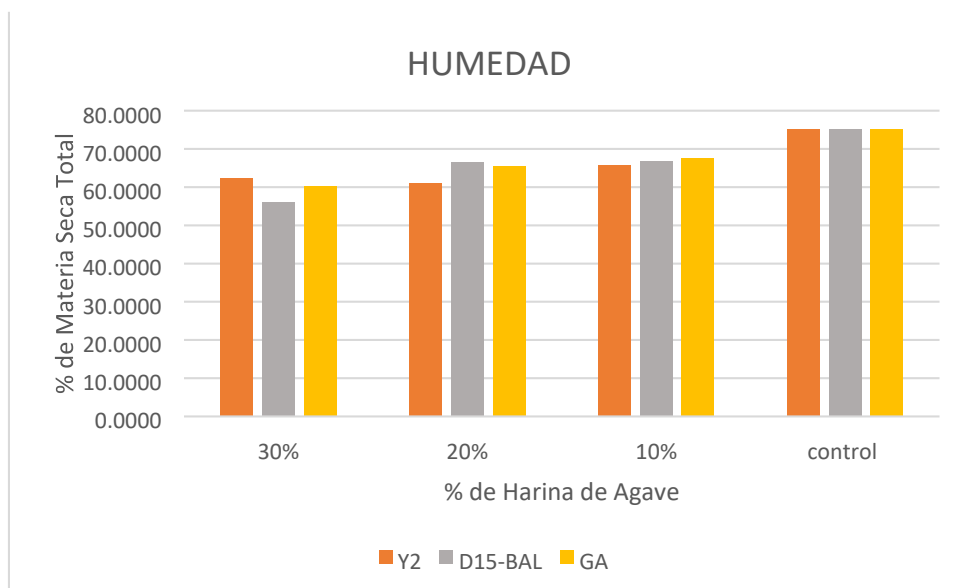


Figura 44. Determinación de humedad. Donde Y2, D15-BAL y GA corresponden a las cepas de microorganismos utilizadas durante la fermentación de masa madre y los porcentajes 10%, 20%, 30% y control determinan a la cantidad de harina de agave utilizada.

La cual es rica en fibra con una alta capacidad de absorción de agua lo cual carece de la capacidad de formulación de gluten, al mezclarse con agua y se amasa, ya que el gluten es una proteína (gliadinas y gluteninas) que, al hidratarse, se forma su estructura viscoelástica y es eficiente para atrapar y retener agua dentro de la masa, posteriormente el producto al momento del horneado, el gluten es más eficiente para atrapar agua durante la cocción, un efecto que no pasa con la muestra control.

6.2.2 Determinación de cenizas

Los resultados obtenidos se observan en la figura 8, donde las muestras con mayor cantidad de cenizas, es la muestra GA al 30% con 2.3025%, la cual está elaborada a partir de 70% de harina de trigo y 30% de harina de agave, seguido de la muestra Y2 al 30% con 2.2890%, a diferencia de la muestra más baja la cual es el control, elaborada con 100% harina de trigo.

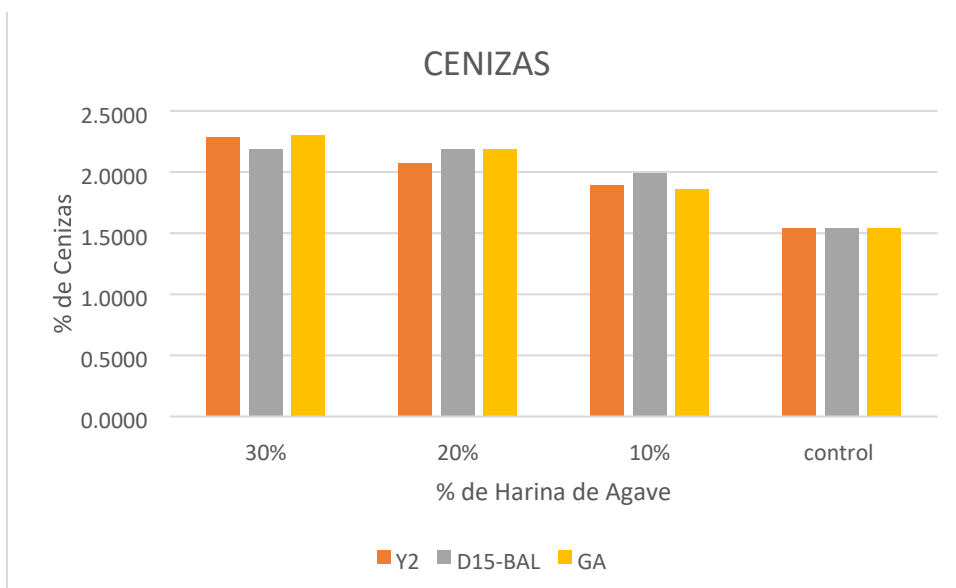


Figura 45. Determinación de cenizas. Donde Y2, D15-BAL y GA corresponden a las cepas de microorganismos utilizadas durante la fermentación de masa madre y los porcentajes 10%, 20%, 30% y control determinan a la cantidad de harina de agave utilizada.

Un estudio realizado por (Ampaka Mafu, 2022) en donde se analizó un pan integral enriquecido con polvo de cricket reporto valores para este radical de 2.09-2.33% en el pan con incremento de polvo cricket que los del pan control. Donde los resultados de esta investigación son más altos debido a la gran cantidad total de minerales inorgánicos que esta contiene, la harina de agave es una de las harinas con mayor contenido de cenizas y minerales, principalmente potasio, calcio y magnesio

6.2.3 Determinación de proteína

Los resultados obtenidos se observan en la figura 47, donde se muestra lo siguiente: el pan de control es el que presenta un mayor porcentaje de proteína la cual está elaborada con harina de trigo con 9.91%, seguido de la muestra GA al 30% elaborada con 70% harina de trigo y 30% de harina de agave presento un promedio de 8.30, continuando con la muestra Y2 a 10% con un promedio de 7.79 y GA al 10% con un promedio de 7.78 y la muestra con menor porcentaje de proteína fue la muestra D15-BAL a 10% con un promedio de 5.89.

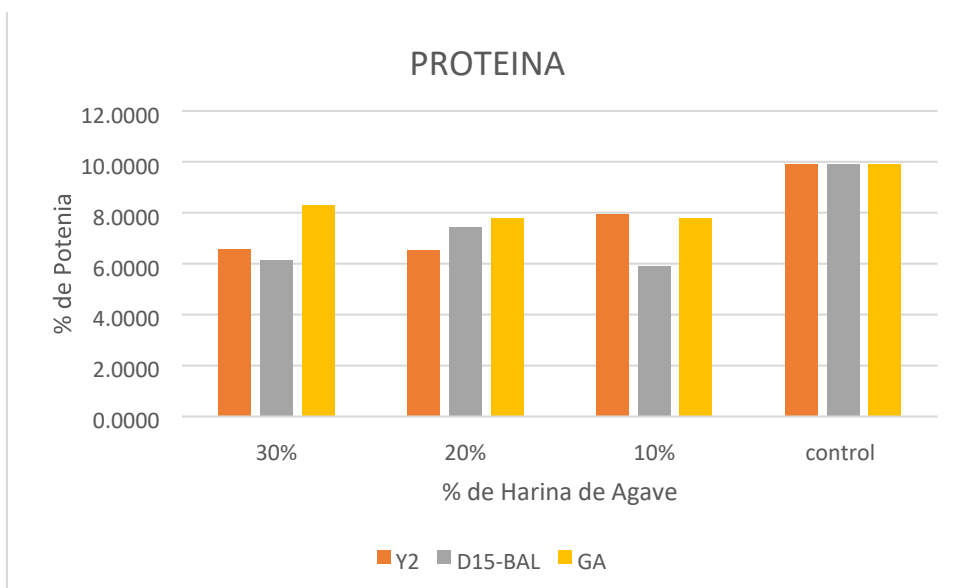


Figura 46. Determinación de proteína. Donde Y2, D15-BAL y GA corresponden a las cepas de microorganismos utilizadas durante la fermentación de masa madre y los porcentajes 10%, 20%, 30% y control determinan a la cantidad de harina de agave utilizada.

Un estudio analizado por (P.I. Bautista-Espinoza R. R.-C.-A.-A.-G.-M., 2024), donde analizo la revalorización de bagazo de agave en la obtención de una masa madre inoculada con *Lactococcus lactis* NRRL B-50307 mediante un pan, reporta un porcentaje de $2.95 \pm 0.4\%$ de proteína. Donde los resultados de esta investigación fueron superiores en las muestras control, al igual que las muestras elaboradas a partir de mezcla de harinas, ya que la harina de trigo es rica en proteína, al igual que la harina de agave y al realizar una mezcla esta se fortaleció en conjunto con los demás ingredientes.

6.2.4 Determinación de grasa

Los resultados obtenidos se observan en la figura 48, donde nos presenta que la muestra con mayor cantidad de grasa es el control con 7.87%, seguido de las muestras Y2 al 10% con 6.31% y GA al 10% con 6.29% destacando de las otras muestras.

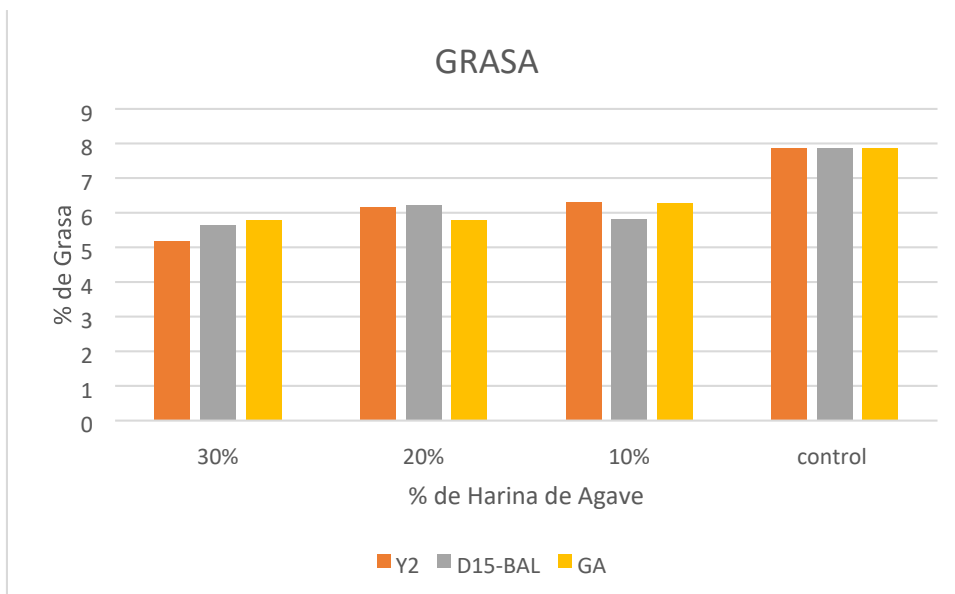


Figura 47. Determinación de grasa. Donde Y2, D15-BAL y GA corresponden a las cepas de microorganismos utilizadas durante la fermentación de masa madre y los porcentajes 10%, 20%, 30% y control determinan a la cantidad de harina de agave utilizada.

Un estudio analizado por (I.N. ¿Okwunodulu, 2024), donde evaluó un panes de masa madre sin gluten de mijo de perla-nuez de bambara y pasta de mijo de perlasoja, reporta un porcentaje de 3.78-6.35% de grasa en los panes esto debido que los mijos son cereales principalmente ricos en fuentes de energía y proteínas como la metionina. Los resultados de esta investigación dan valores más altos en las muestras control debido a que este es elaborado de harina de trigo, sin en cambio las muestras elaboradas a partir de una mezcla de harina de agave y trigo presentan resultados inferiores debido a su bajo promedio de grasa ya que es una harina bastante hidrofóbica y principalmente rica en fibra.

6.2.5 Determinación de fibra

Punto muy importante en la elaboración de estas 4 muestras es el contenido porcentual de fibra que estas aportan, donde se observa que la muestra D15-BAL AL 30% es la que mayor presenta contenido de fibra con 7.8654 % que a simple vista es la que más sobre sale a diferencia de las otras 3.

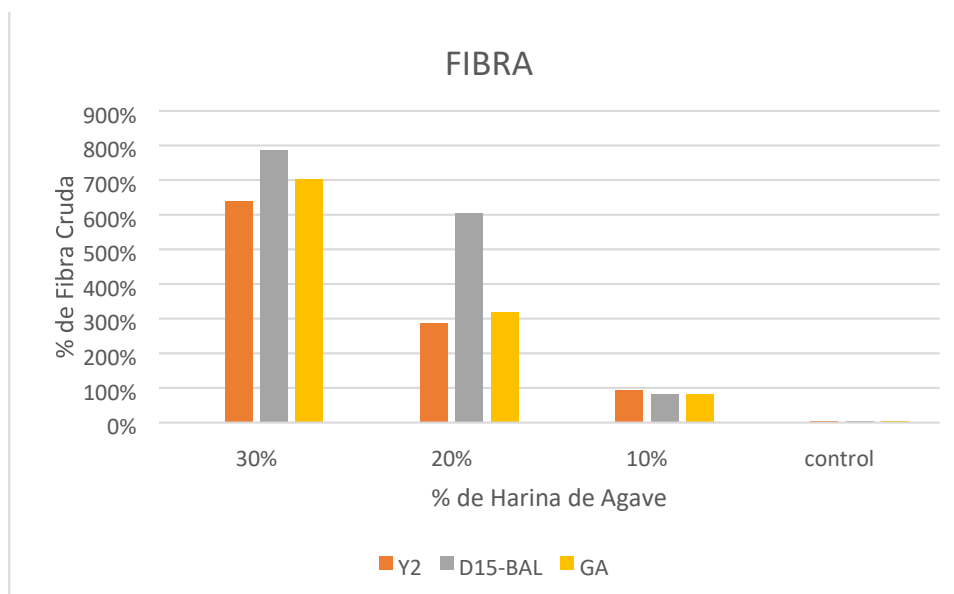


Ilustración 48. Donde Y2, D15-BAL y GA corresponden a las cepas de microorganismos utilizadas durante la fermentación de masa madre y los porcentajes 10%, 20%, 30% y control determinan a la cantidad de harina de agave utilizada

Un estudio analizado por (I.N. ¿Okwunodulu, 2024), donde evaluó un panes de masa madre sin gluten de mijo de perla-nuez de bambara y pasta de mijo de perlasoja, reporta un porcentaje de 1.08-1.17% de fibra un valor inferior a los reportados por esta investigación debido a que el mijo es rico en proteína. Los resultados de esta investigación son superiores debido esto a que el bagazo de agave es esencialmente la fibra residual del agave desde que se extraen los azucares, y sus componentes principales son paredes celulares vegetales lo que nos da como resultado un contenido de fibra dietética muchas veces superior al 50% por lo que esta muestra destaca debido a su elaboración con 70% de harina de trigo y 30% de harina de agave.

6.3 Características físicas del pan

6.3.1 Colorimetría

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 3, donde muestra la coloración que presenta nuestro pan de acuerdo a la mezcla de harinas y la adición de micoorganismos, donde la muestra control tiene un valor de L) de 64.22 a diferencia de los demás que caen en rangos de 29 a 38, en el valor b la muestra control tiene un valor de 31.34 a comparación de las otras muestras que disminuyen entre 6 y 10 y en el valor de a mostrando un rango de valores desde 7.44 a 2.57.

Tabla 3. Colorimetría del pan. De acuerdo al tipo de microorganismo, la concentración y L) luminosidad/claridad, a) eje rojo-verde, b) eje amarillo-azul.

Micoorganismo	Concentración %	L	a	b
Sin micoorganismo	Control	64.22	7.44	31.34
GA	10	38.82	3.97	10.64
	20	32.66	2.57	6.20
	30	29.80	3.72	7.76
D15-BAL	10	37.85	3.21	7.75
	20	33.87	2.85	7.15
	30	32.40	2.96	5.92
Y2	10	36.98	4.11	9.94
	20	34.10	2.7	6.66
	30	33.62	3.14	7.13

Estos valores nos demuestran que la combinación de harinas y la adición de microorganismos tiene un impacto significativo en la apariencia visual, por lo que el pan elaborado con mezcla de harinas y adición de micoorganismos presenta una tonalidad mucho más oscura, opaca y neutra en comparación con el control que demuestra tonos claros y dorados.

6.3.2 Esponjosidad

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 3, donde muestra la esponjosidad del pan esto con la ayuda de una regla, esto para medir la altura que presento, al igual nos demuestra cual fue el pan con mayor altura el cual fue el control con 8.5 cm, seguido de los panes Y2 al 10%, D15-BAL al 10% y GA al 10%.

Tabla 4. Altura del pan. De acuerdo a cada cepa de microorganismo y la concentración.

Microorganismo	Concentración %	Altura cm
Sin microorganismo	Control	8.5
GA	10	6.5
	20	6
	30	6
D15-BAL	10	6.5
	20	6
	30	5.5
Y2	10	6.5
	20	6.5
	30	5.7

Estos resultados nos demuestran, la capacidad de fermentación que presentaron los microorganismos tanto en la masa madre como en la elaboración del pan, al igual que al agregar una harina rica en fibra su nivel de esponjosidad seria variado debido a su ausencia de gluten.

6.3.3 Textura

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 3, donde muestra la textura que presenta el pan, mediante la ayuda del penetrometro, al igual nos demuestra cual pan tienen mayor suavidad o dureza, donde la muestra control presenta una textura suave, seguido de la muestra Y2 20% y D15-BAL al 10%.

Tabla 5. Textura del pan. De acuerdo al tipo de microorganismo y a la concentración de la mezcla de harina de trigo y agave

Microorganismo	Concentración %	Textura KG
Sin microorganismo	Control	1.46
GA	10	4.53
	20	5.83
	30	6.07
D15-BAL	10	4.02
	20	4.37
	30	5.71
Y2	10	4.08
	20	3.98
	30%	5.77

Esto nos demuestra la resistencia que presenta el pan, lo cual el control presenta una suavidad superior a los demás debido a sus ingredientes que contiene, sin en cambio el pan con mezcla de harina de trigo y agave representa una resistencia superior debido a el tipo de harina rica en fibra y con una ausencia de gluten es mucho más resistente y compacta.

6.4 Evaluación sensorial

Los resultados obtenidos se observan en la ilustración 50, donde presenta que la muestra D15-BAL tiene una mayor aceptabilidad con respecto al color, sabor y en la apariencia global, seguido de la muestra control con una mayor aceptabilidad en color y sabor, e por otra parte las muestras Y2 Y GA presentaron puntuaciones inferiores en algunos atributos, principalmente en textura y apariencia global.

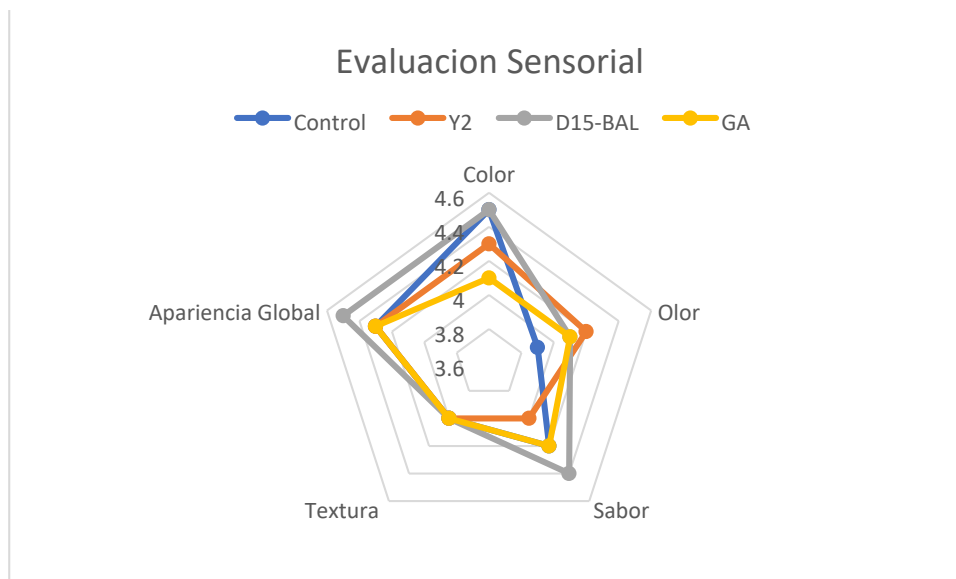


Ilustración 49. Evaluación sensorial.

No obstante, las diferencias observadas entre las muestras fueron pequeñas, ya que todas las calificaciones se encontraron dentro de los rangos de aceptación favorables (superiores a 3.5 en una escala hedónica de 5 puntos), indicando que ninguna muestra presentó características sensoriales rechazadas por los consumidores, en los comentarios propuestos fue que la elaboración de un pan a base de residuos agroindustriales es la tendencia de hoy.

7. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados en esta investigación, se logró obtener una harina funcional a partir de residuos “bagazo de agave”.

Los análisis bromatológicos demostraron un alto contenido de fibra y minerales, lo que demuestra su potencialidad como ingrediente funcional.

Asimismo, se logró activar y crecer bacterias ácido-lácticas de kéfir de agua, llevando acabo un conteo microbiológico donde se demostró que la cepa D15-BAL tuvo una mayor concentración de microorganismos, seguida de GA y Y2, presentando una mayor capacidad fermentativa.

Fue posible desarrollar una masa madre con las cepas seleccionadas, lo cual permitió obtener fermentaciones más rápidas, asimismo desarrollar formulaciones con 10%, 20% y 30% de harina de agave para la elaboración de un pan de masa madre.

Del mismo modo se logró desarrollar un pan de masa madre elaborado con harina de trigo y harina de agave, empleando diferentes cepas de bacterias ácido-lácticas.

Llevando acabo la evolución de sus propiedades funcionales y sensoriales, destacando por el aumento de fibra dietética, especialmente en la formulación D15BAL al 30%. Con base a la evaluación sensorial, la muestra D15-BAL demostró una mayor aceptabilidad en color, sabor y apariencia global.

Las muestras realizadas con harina de agave presentaron una textura más firme y una coloración más oscura que el control, todas las formulaciones mostraron una calificación favorable de aceptación.

Los resultados obtenidos demuestran que el bagazo de agave es un subproducto el cual puede ser aprovechado como una fuente funcional para la elaboración de pan de masa madre, debido a su gran aporte de fibra y minerales y la incorporación de harina de agave permitió obtener panes con un gran contenido de fibra dietética y propiedades funcionales, manteniendo una aceptable aceptación sensorial.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ¿Anna Oniszczuk, T. O. (22 de 02 de 2021). *Papel de la microbiota intestinal, los probióticos y los prebióticos en las enfermedades cardiovasculares* . Obtenido de <https://doi.org/10.3390/molecules26041172>
2. Alireza Sadeghi, M. E. (29 de 10 de 2023). *Avances recientes en panes probióticos; una tendencia del mercado en los productos de panadería funcional*. Obtenido de Revisiones críticas en ciencia de los alimentos y nutrición: <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2261056>
3. Ampaka Mafu, S. K. (12 de 07 de 2022). *Pan integral enriquecido con polvo de cricket como proteína alternativa*. Obtenido de Productos basados en granos: tecnologías de procesamiento innovador y calidad.: <https://doi.org/10.3390/foods11142142>
4. Aynadis Tamene, D. D. (12 de 2025). *Valor añadido a las galletas de trigo de pan blando compuesto utilizando semillas de aguacate y harinas de mijo de dedo: evaluación de las propiedades nutricionales, tecnofuncionales y sensoriales*. Obtenido de Medición: Alimentos.: <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2025.100262>
5. Aynaz Velayati, I. K. (02 de 06 de 2021). *¿La suplementación simbiótica que contiene Bacillus Coagulans Lactobacillus rhamnosus, Lactobacillus acidophilus ¿Y el fructooligosacárido tiene efectos favoritos en pacientes con diabetes tipo 2? Un ensayo aleatorizado, doble ciego, controlado con placeb*. Obtenido de Archivos de fisiología y bioquímica: <https://doi.org/10.1080/13813455.2021.1928225>
6. B.S. Velázquez-De Lucio, E. H.-D.-L.-J.-C. (2024). *Revalorización del sustrato de maguey pulquero degradado para la germinación del Lycopersicon esculentum*. Obtenido de Investigación actual en Ciencias Microbianas: <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2024.100283>
7. Camelo-Silva, C. F. (2023). En *Alimentos probióticos y bebidas* (págs. 119-212). Humana, Nueva York, NY.
8. Categoría: Beata Nalepa, E. S. (02 de 11 de 2011). *Influencia de Bifidobacterium bifidum Sobre la liberación de minerales de pan con contenido de salvado diferente*. Obtenido de Revista de Toxicología y Salud Ambiental, Parte A: <https://doi.org/10.1080/15287394.2011.615106>
9. *Diversidad biológica Magueyes* . (25 de 05 de 2021). Obtenido de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad:

10. Divyasree Arepally, R. S. (21 de 03 de 2022). *Una revisión sobre la microencapsulación de probióticos y los recientes avances de su aplicación en productos de panadería*. Obtenido de Tecnología de alimentos y bioprocesos.: <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02796-2>
11. Elena Bartkiene, ĺ. Ö. (03 de 02 de 2022). *Bacterias del ácido láctico de la masa madre del pan: agentes biológicos tecnológicos, antimicrobianos, degradantes de toxinas, sistemas inmunitarios y microbiotas fecales para la preparación de alimentos, nutraceuticos y piensos*. Obtenido de Regulación de las fermentaciones alimentarias por bacterias, levaduras y hongos filamentosos.: <https://doi.org/10.3390/foods11030452>
12. Elena Bartkiene, ĺ. Ö. (03 de 02 de 2022). *Bacterias del ácido láctico de la masa madre del pan: agentes biológicos tecnológicos, antimicrobianos, degradantes de toxinas, sistemas inmunitarios y microbiotas fecales para la preparación de alimentos, nutraceuticos y piensos*. Obtenido de Regulación de las fermentaciones alimentarias por bacterias, levaduras y hongos filamentosos.: <https://doi.org/10.3390/foods11030452>
13. Elena Bartkiene, ĺ. Ö. (03 de 02 de 2022). *Bacterias del ácido láctico de la masa madre del pan: agentes biológicos tecnológicos, antimicrobianos, degradantes de toxinas, sistemas inmunitarios y microbiotas fecales para la preparación de alimentos, nutraceuticos y piensos*. Obtenido de Regulación de las fermentaciones alimentarias por bacterias, levaduras y hongos filamentosos.: <https://doi.org/10.3390/foods11030452>
14. Etienne V. Categoría: Aguiar, F. G.-K. (22 de 07 de 2021). *Datos nutricionales sobre el pan sin gluten disponible comercialmente en todo el mundo: avances recientes y desafíos futuros*. Obtenido de Revisiones críticas en ciencia de los alimentos y nutrición: <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1952403>
15. Gänzle, M. G. (02 de 2014). *Conversiones enzimáticas y bacterianas durante la fermentación de la masa madre*. Obtenido de Microbiología de los alimentos: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.04.007>
16. Haixin Bi, J. X. (01 de 03 de 2026). *Efecto de la catálisis por peroxidasa y su imitación sobre la estructura de la harina de trigo suplementada con salvado*

- fermentado y su textura de masa, calidad y funcionalidad del pan.* Obtenido de Química de alimentos: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2026.147926>
17. Hang-Yu Li, D.-D. Z.-Y.-B.-Y.-N.-Y. (12 de 08 de 2021). *Efectos y mecanismos de los probióticos, prebióticos, sinbióticos y postbióticos sobre las enfermedades metabólicas dirigidas a la microbiota intestinal: una revisión narrativa.* . Obtenido de Edicion especial de probioticos, prebioticos, postbioticos y funcion de barrera intestinal.: <https://doi.org/10.3390/nu13093211>
 18. Hasan Farajipour, S. S. (28 de 12 de 2022). *Efecto terapéutico de los probióticos sobre los índices metabólicos y los signos clínicos en la degeneración macular relacionada con la edad.* Obtenido de Revista de Inmunoensayo e Inmunoquímica: <https://doi.org/10.1080/15321819.2022.2159765>
 19. Hossein Shakeri, ğ. H.-E. (06 de 04 de 2014). *El consumo de pan sinbiótico disminuye los niveles de triacilglicerol y VLDL al tiempo que aumenta los niveles de HDL en suero de pacientes con diabetes tipo 2.* Obtenido de Your Global Fats and Oils Connection: <https://doi.org/10.1007/s11745-014-3901-z>
 20. Ilaria ProettoProetto, F. P. (12 de 2024). *Uso de harinas vegetales obtenidas de subproductos de alcachofa como ingrediente funcional en formulaciones de pan sin gluten.* Obtenido de
Revista Internacional de Gastronomía y Ciencia de los Alimentos.:
<https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2024.101015>
 21. Isabel Márquez-Rangel, H. A.-J. (12 de 2023). *Residuos de agave como fuente de polímeros prebióticos: aplicaciones tecnológicas en los alimentos y su efecto beneficioso para la salud.* Obtenido de Biociencia de los alimentos:
<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103102>
 23. Jimena Álvarez-Chávez, L. S.-Z.-J. (21 de 09 de 2021). *Subproductos de Agave: una visión general de su valor nutracéutico, aplicaciones actuales y métodos de procesamiento.* Obtenido de Eco-friendly/Sustainable Approach to Polysaccharides as (nano) materials.:
<https://doi.org/10.3390/polysaccharides2030044>
 24. Jonas T Guimarães 1, C. F. (06 de 2020). *Impacto de los probióticos y prebióticos en la textura de los alimentos.* Obtenido de Opinión actual en la ciencia de los alimentos: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.002>
 25. Kah Wei Chin 1, S. C.-I. (19 de 06 de 2024). *Potencial de los sinbióticos y probióticos como agente quimiopreventivo,.* Obtenido de Probióticos y proteínas antimicrobianas: <https://doi.org/10.1007/s12602-024-10299-z>

26. Kamila Koj, E. P. (16 de 02 de 2023). *Componentes de fibra dietética de centeno sobre la influencia de la fermentación inoculada con microorganismos probióticos*. Obtenido de Aplicación de la biotecnología alimentaria en la química de los alimentos.:
<https://doi.org/10.3390/molecules28041910>
27. Kamila Koj, E. P. (16 de 02 de 2023). *Componentes de fibra dietética de centeno sobre la influencia de la fermentación inoculada con microorganismos probióticos*. Obtenido de Aplicación de la biotecnología alimentaria en la química de los alimentos.:
<https://doi.org/10.3390/molecules28041910>
28. Kamila Koj, E. P. (16 de 02 de 2023). *Componentes de fibra dietética de centeno sobre la influencia de la fermentación inoculada con microorganismos probióticos*. Obtenido de Aplicación de la biotecnología alimentaria en la química de los alimentos.:
<https://doi.org/10.3390/molecules28041910>
29. Lagouri, V. (2018). *Alimentos funcionales*. Grecia : Orden Print.
30. Luc De Vuyst, S. V. (01 de 12 de 2002). *La biodiversidad de las bacterias del ácido láctico en las masas madre de trigo tradicionales griegas se refleja tanto en la composición como en la formación de metabolitos*. Obtenido de metabolitos. Appl Environ Microbiol68: <https://doi.org/10.1128/AEM.68.12.6059-6069.2002>
31. M. Socorro González–Elizondo, M. G.–E.–E.–R.–F.–R. (02 de 2011). *El complejo Agave victoriae–reginae (Agavaceae)*. Obtenido de Acta botánica mexicana.:
<https://doi.org/10.21829/abm95.2011.268>
32. M.S., J. M. (09 de 2018). *Flora y Fauna de Coahuila*. Obtenido de Fundación JCANGELCRAFT A.C:
<https://fundacionjcangelcraftacparalaeducacion.wordpress.com/2018/09/08/flora-yfauna-de-coahuila/>
33. Maarten A.I. Categoría: Schutyser, R. M. (08 de 09 de 2018). *Estudio cinético de la inactivación térmica de Lactobacillus plantarum Durante la cocción del pan*. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1495647>
34. MAGUEY. (s/f). *Uadec.mx*. (06 de 04 de 2026). Obtenido de <https://www.uadec.mx/maguey/>
35. Martha Lucía Arenas Ocampo, I. C.-A.-S.-R.-D. (Junio de 2023). *Los efectos del consumo de pan enriquecido con fructanos de agave, ciclodextrinas y probióticos en ratones en crecimiento*. Obtenido de Revista de Alimentos Funcionales: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105556>

36. Mohammad Rostamian, J. M. (19 de 06 de 2014). *Propiedades físicas del pan sin gluten hecho de maíz y harina de garbanzo*. Obtenido de Revista Internacional de Ingeniería de Alimentos.: <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/ijfe-20130004/html#articleAbstractView>
37. Nikhil Dnyaneshwar Patil, A. B. (04 de 2025). *Efecto de la fermentación en estado sólido sobre la harina de frijol: propiedades funcionales, biodisponibilidad de minerales y formulación de productos*. Obtenido de Química de alimentos: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102339>
38. Olufunke Oluseyi Ezekiel, I. D. (22 de 09 de 2020). *Viabilidad de Lactobacillus rhamnosus GG en condiciones gastrointestinales simuladas y después de hornear pan blanco a diferentes regímenes de temperatura y tiempo*. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s00284-02002203-z>
39. P.I. Bautista-Espinoza, R. R.-C.-A.-A.-G.-M. (04 de 2024). *Revalorización del bagazo de agave en la obtención de masa madre de tipo II inoculada con Lactococcus lactis NRRL B-50307*. Obtenido de Biociencia de los alimentos: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103803>
40. R. Amiri Qandashtant, E. ¿. (06 de 2020). *INVESTIGACIÓN SOBRE PROPIEDADES DE CALIDAD DEL PAN A GRANEL TRADICIONAL CUBIERTO CON PROBIÓTICOS Y ACEITE DE SOJA REVESTIMIENTO COMESTIBLE*. Obtenido de Acta Alimentaria: <https://doi.org/10.1556/066.2020.49.2.3>
41. Sarai Escobedo-García, J. A.-T.-H. (03 de 2020). *Funcionalidad del bagazo de agave como suplemento para el desarrollo de alimentos enriquecidos con prebióticos*. Obtenido de Alimentos vegetales para la nutrición humana.: <https://doi.org/10.1007/s11130-01900785-z>
42. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. (02 de 01 de 2019). Obtenido de Agaves, maravillosas y magnánimas plantas. gob.mx: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/agaves-maravillosas-y-magnanimas-plantas>
43. Serventi, S. E. (28 de 09 de 2017). *Retos nutricionales y sensoriales de los productos de panadería sin gluten: una revisión*. Obtenido de Revista Internacional de Ciencias de los Alimentos y Nutrición: <https://doi.org/10.1080/09637486.2017.1378626>
44. Tatiane Ferreira da, S. N. (10 de 03 de 2020). *El impacto de los probióticos, prebióticos y sinbióticos en los marcadores bioquímicos, clínicos e inmunológicos, así como en la microbiota intestinal de los huéspedes obesos*.

Obtenido de Revisiones críticas en ciencia de los alimentos y nutrición:
<https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1733483>

45. Ville M. Koistinen, O. M.-M. (09 de 04 de 2018). *Perfil metabólico de trigo fermentado de masa madre y pan de centeno*. Obtenido de <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24149-w>
46. Yanan He, Y. H. (05 de 2026). *Harina de quinua germinada como ingrediente funcional en el pan de trigo: impacto en la microestructura de la masa, la reología y el perfil nutricional sensorial*. Obtenido de Hidrocoloides de alimentos.:
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.112407>
47. Zahra Farajinejad, L. S. (julio de 1401). *El efecto de la harina de trigo de pastel de polvo que contiene gasosacárido de *Flycholicos* y coagulancia de *Basillus IBRC-M 10807* sobre las propiedades tecnológicas y la calidad del pan a granel*. Obtenido de Journal of fod science and technology (IRAN):
https://fsct.modares.ac.ir/article_26749.html#aff5