



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**Evaluación del almidón de yuca modificado en las
propiedades de calidad y aceptación sensorial de una
bebida fermentada de soya**

Julián David Rodríguez Ruiz

Universidad Nacional de Colombia

Facultad Ciencias Agrarias

Bogotá D.C., Colombia

2023

Evaluación del almidón de yuca modificado en las propiedades de calidad y aceptación sensorial de una bebida fermentada de soya

Evaluation of modified cassava starch on the quality properties and sensory acceptance of a fermented soybean beverage

Julián David Rodríguez Ruiz

Tesis o trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Director:

Bio. Ph.D María Soledad Hernández

Codirector:

Ing. Ph.D Eduardo Rodríguez Sandoval

Línea de Investigación:

Ciencia y Tecnología de Alimentos

Grupo de Investigación:

Grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos -GICTA-

Universidad Nacional de Colombia

Facultad Ciencias Agrarias

Bogotá D.C., Colombia

2023

A Dios.

A mis padres por su dedicación, apoyo y motivación constante para cumplir mis logros con entrega, determinación y entereza.

“Si cada uno de nosotros pudiera entender que hay unidad en toda la vida, entonces sin duda la paz llegara a nuestro planeta.”

– Sant Raiinder Singh Ji Maharai

Agradecimientos

El autor del presente trabajo agradece a la Universidad Nacional de Colombia, por hacer parte de esta reconocida institución educativa. A mi directora María Soledad Hernández y mi codirector Eduardo Rodríguez por su paciencia y valiosa orientación para la ejecución del presente proyecto.

Se agradece a la convocatoria para la financiación de proyectos de tesis de doctorado y maestría de la facultad de ciencias agrarias, sede Bogotá, código Hermes 56134.

Al personal del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) por su apoyo. Al personal de la planta de vegetales, al laboratorio de bromatología y microbiología del ICTA de la Universidad Nacional de Colombia – sede Bogotá y al Laboratorio de Control y Calidad de Alimentos (ICTA) – sede Medellín

Se agradece a la empresa Poltec S.A.S., quien dono los almidones utilizados en el presente proyecto.

A los consumidores que hicieron parte del análisis sensorial.

A mi familia por su apoyo incondicional.

Resumen

La bebida de soya a pesar de tener una buena calidad proteica y componentes bioactivos como las isoflavonas, tiene el inconveniente de presentar factores antinutricionales. De todos los factores anti nutricionales los inhibidores de tripsina tienen el inconveniente de ser proteínas termoresistentes, por lo que se requieren tratamientos térmicos más intensivos que la pasteurización HTST o la UHT para reducir sus niveles. Sin embargo, los tratamientos térmicos reducen la solubilidad proteica, que incide directamente en características físicas y reológicas como aumento de la sinéresis, baja viscosidad y reducción de la textura. Para mejorar estas propiedades se empleó almidón de yuca modificado. Por otro lado, como pasó secundario de procesamiento la bebida de soya fue fermentada para mejorar la biodisponibilidad de factores nutricionales y la reducción de niveles antinutricionales. Bajo un diseño factorial 2³, donde los factores son tipo de almidón de yuca modificado (adipato de dialmidón acetilado (ADA), anhídrido octenil succínico (OSA) y un almidón entrecruzado-sustituido (mixto)) y concentración (0.8%, 1.0% y 1.2%), se comparó frente a un control comercial de soya y dos controles lácteos. Se evaluó el pH, la acidez titulable, sólidos solubles, sinéresis y viscosidad aparente. Los mejores tratamientos comparables al control comercial fueron las muestras con almidón OSA y mixto al 1.0% y ADA al 1.2%. Igualmente, se evaluó semanalmente las propiedades fisicoquímicas antes mencionadas durante el almacenamiento por 21 días en tratamientos con los tres tipos de almidón modificado y un almidón nativo de yuca al 1.0%, así mismo, se evaluó el color, tamaño de partícula y su microestructura, células viables de microorganismos y un análisis sensorial. En términos generales, no hubo diferencias significativas para la sinéresis en los tres tipos de almidón, el tratamiento con almidón OSA tuvo una mayor viscosidad, pero al final del tiempo de almacenamiento disminuyó, el tratamiento con almidón mixto mostró alta viscosidad y fue estable a lo largo del tiempo de almacenamiento. El conteo de células viables de microorganismos probióticos (*B. animalis* subsp. Lactis y *L. acidophilus*) fue superior a 6 Log UFC/ml por lo que se considera un producto con propiedad probióticas. El análisis sensorial mostró preferencia del producto para

el tratamiento OSA por parte de los consumidores, sin embargo, el tratamiento con almidón mixto tuvo una aceptación general similar al almidón OSA.

Palabras clave: Almidón modificado de yuca, parámetros fisicoquímicos, microorganismos fermentadores, probióticos.

Abstract

Despite the soy beverage has good protein quality and bioactive components such as isoflavones, has the drawback of presenting anti-nutritional factors. Of all the anti-nutritional factors, trypsin inhibitors have the drawback of being heat-resistant proteins, so more intensive heat treatments are required than HTST or UHT pasteurization to reduce their levels. However, heat treatments reduce protein solubility, which directly affects physical and rheological characteristics such as increased syneresis, low viscosity, and reduced texture. To improve these properties, modified cassava starch was used. On the other hand, as a secondary processing step, the soy drink was fermented to enhance the bioavailability of nutritional factors and the reduction of anti-nutritional levels. Under a 2³ factorial design, where the factors are a type of modified cassava starch (acetylated distarch adipate (ADA), octenyl succinic anhydrous (OSA), and a cross-linked-substituted starch (mixed)) and concentration (0.8%, 1.0%, and 1.2%), was compared against a commercial soybean control and two dairy controls. The pH, titratable acidity, soluble solids, syneresis, and apparent viscosity were evaluated. The best treatments comparable to the commercial control were for the treatments with OSA and mixed starch at 1.0% and ADA at 1.2%. Likewise, the aforementioned physicochemical properties were evaluated weekly during storage for 21 days in treatments with the three types of modified starch and a native cassava starch at 1.0%, likewise, the color, particle size, and its microstructure, viable cells of both microorganism and sensory analysis. In general terms, there were no significant differences for syneresis in the three types of starch, the treatment OSA starch had a higher viscosity, but at the end of the storage time it decreased, the mixed starch also showed high viscosity and was stable throughout the storage time. The viable

cell count of probiotic microorganisms (*B. animalis* subsp. *Lactis* and *L. acidophilus*) was higher than 6 Log CFU/ml, which is why it is considered a product with probiotic properties. In the sensory analysis, both the OSA and the mixed treatment showed a similar general acceptance, but OSA had a better preference for the product by consumers.

Keywords: Modified cassava starch, physicochemical parameters, fermenting microorganisms, probiotics.

Tabla de contenido

Resumen	VII
Abstract.....	VIII
Índice de figuras.....	XII
Índice de tablas	XIII
Introducción.....	1
Planteamiento del problema.....	4
1. Marco de referencia	5
1.1 Marco teórico.....	5
1.1.1 Propiedades de la bebida de soya.....	5
1.1.2 Factores anti nutricionales en la soya	6
1.1.3 Efectos en la salud de la bebida de soya y su fermentación.....	9
1.1.4 Probióticos.....	10
1.1.5 Fitoquímicos en la inclusión de yogur	11
1.1.6 Fermentación ácido láctica	11
1.1.7 Estabilizantes, espesantes y aditivos.....	12
1.1.8 Almidón	13
1.2 Estado del arte	18
1.2.1 Tratamiento térmico de la bebida de soya y solubilidad	18
1.2.2 Bebidas fermentadas.....	19
1.2.3 Almacenamiento de bebidas fermentadas	22
1.2.4 Aplicación de estabilizantes en bebidas de soya	22
1.2.5 Aplicaciones del Almidón Modificado	23
2. Objetivos	27
2.1 Objetivo general.....	27
2.2 Objetivos específicos.....	27
3. Efecto de la concentración de almidones de yuca modificado en las propiedades fisicoquímicas de una bebida fermentada de soya.....	28
3.1 Resumen.....	28
3.2 Abstract	29
3.3 Introducción	29
3.4 Materiales y métodos	32
3.4.1 Materiales	32
3.4.2 Preparación de las bebidas de soya	32

3.4.3	Fermentadores de la bebida de soya	34
3.4.4	Evaluación de parámetros fisicoquímicos y reológicos.....	34
3.4.5	Análisis estadístico	35
3.5	Resultados y discusión	36
3.5.1	Caracterización de las bebidas fermentadas	36
3.5.2	Esfuerzo cortante	43
3.6	Conclusión	48
4.	Evaluación de diferentes almidones de yuca modificados sobre las propiedades de calidad de una bebida fermentada de soya	49
4.1	Resumen.....	49
4.2	Abstract	50
4.3	Introducción	51
4.4	Materiales y métodos	53
4.4.1	Materiales	53
4.4.2	Preparación de las bebidas de soya	54
4.4.3	Adición de cultivos iniciadores y probióticos	54
4.4.4	Análisis proximal de componentes principales de la bebida fermentada de soya ...	55
4.4.5	Evaluación de las propiedades de calidad durante el almacenamiento de las bebidas fermentadas	55
4.4.6	Evaluación de calidad microbiológica	58
4.4.7	Recuento de células viables de microorganismos fermentadores y probióticos	59
4.4.8	Determinación de la microestructura por microscopía electrónica de barrido (SEM)	59
4.4.9	Evaluación sensorial	60
4.4.10	Análisis estadístico de los parámetros de calidad para los tratamientos durante su almacenamiento.....	60
4.5	Resultados y discusión	61
4.5.1	Análisis proximal	61
4.5.2	Caracterización de las bebidas fermentadas durante el almacenamiento.....	64
4.5.3	Propiedades reológicas	69
4.5.4	Color	71
4.5.5	Tamaño de partícula.....	73
4.5.6	Calidad microbiológica	77
4.5.7	Conteo de bacterias ácido lácticas y probióticos durante el almacenamiento	78
4.5.8	Microestructura.....	83
4.5.9	Análisis sensorial	88

4.6	Conclusión	91
5	Conclusiones y recomendaciones	93
5.1	Conclusiones.....	93
5.2	Recomendaciones	94
	Referencias	96
	Anexo 2.....	110
	Anexo 3.....	113
	Anexo 4.....	117

Índice de figuras

Figura 1.	Elaboración bebida fermentada de soya por molienda húmeda.....	34
Figura 2:	efectos de la sinéresis para tratamientos con los tres tipos de almidón a una concentración de 0.8%.....	39
Figura 3:	efectos principales en la evaluación de la sinéresis (A) y en viscosidad (B) en la inclusión del tipo de almidón de yuca modificado y concentración en la bebida fermentada de soya.....	41
Figura 4.	A. Esfuerzo cortante en función de la velocidad de corte para tratamientos con almidón al 0.8%. B. Influencia de la velocidad de corte en la curva de viscosidad aparente para tratamientos con 1.0% de almidón.....	47
Figura 5.	Densidad en volumen en función del tamaño de partícula en la bebida fermentada de soya con almidón evaluado el día 7 (A) y el día 21 (B).	77
Figura 6.	Cambios en el conteo de células viables para bacterias acidolacticas (A), <i>B.animalis</i> (B) y <i>L. acidophilus</i> (C) durante el tiempo de almacenamiento a 4°C por 21 días.	79
Figura 7.	Micrografías electrónicas de barrido (SEM) de bebida fermentada de soya al tercer día de almacenamiento para almidón nativo (A. 1000x y B a 10000x). Tratamiento con almidón ADA (C. 1000x y D. 10000x). Tratamiento con almidón osa (E. 1000x y F. 10000x). Tratamiento con almidón Mixto (G. 1000x y H. 10000x... ..	86
Figura 8.	A. Preferencia general de los tratamientos; B. Distribución de la aceptación general de acuerdo a la categorización en la escala Hedónica.	91

Índice de tablas

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de la bebida fermentada de soya a partir de los tratamientos de acuerdo al tipo de almidón (ADA, OSA y mixto) y concentración del almidón (0.8%, 1.0% y 1.2%).	37
Tabla 2. Datos predictivos de acuerdo al modelo de ley de potencia para los tratamientos y controles comerciales.	44
Tabla 3. Análisis proximal para los cuatro tratamientos.	63
Tabla 5. Datos predictivo de acuerdo al modelo de ley de potencia con datos experimentales para los tratamientos y patrones.	70
Tabla 6. Cambio en el color en sistema CieLab de la bebida fermentada de soya con los diferentes tipos de almidón durante el almacenamiento a 4°C por 21 días.	71
Tabla 7. Diferencia general de color (delta E) entre tratamientos a lo largo del tiempo de almacenamiento.	72
Tabla 8. D [3,2]: diámetro medio basado en la superficie; D [4,3]: diámetro medio basado en volumen; Dx (90): basado en método estadístico y el área superficial específica de la bebida fermentada de soya con diferentes tipos de almidón evaluado durante el día 7 y 21.	76
Tabla 9. Conteo de coliformes totales para cada uno de los tratamientos por método de número más probable (NMP).	77
Tabla 10. Conteo de hongos y levaduras para cada uno de los tratamientos por método de recuento en placa.	78
Tabla 11. Medias de aceptabilidad de acuerdo a puntaje expresado por los consumidores.	89

Introducción

La economía de la soya a nivel mundial ha crecido bastante desde que se impulsó la globalización económica tanto de materias primas, como de productos industriales. De manera general, la soya tiene un fuerte mercado a nivel mundial, los principales productores son Brasil y Estados Unidos con 124 y 96.8 millones de toneladas respectivamente para el año 2019, sus exportaciones son destinadas principalmente a China (con 64% de las importaciones mundiales de soya), de las cuales 92 millones de toneladas son importadas de Brasil y Estados Unidos y otros países productores minoritarios (Centro de Información de Mercados Agroalimentarios, 2020). Por otra parte, hay una correlación directa con las importaciones de soya hacia China, como también el mayor productor y exportador de carne de cerdo del mundo, que de acuerdo al Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) obedece a que la soya es destinada al forraje de animales.

En Sur América, La producción de soya está dominada por Brasil, seguida de Argentina (53 millones de toneladas) y Paraguay (9.9 millones de toneladas) para el año 2019 (Romina et al., 2020). Para Colombia la producción es de 0.1 millones de toneladas y sus importaciones son de aproximadamente 0.65 millones de toneladas (Minagricultura, 2019), de las cuales, su principal uso es para el forraje de animales con el fin de incrementar la producción del sector ganadero, seguido de la producción de aceite de soya y alimentos a base de soya. Por consiguiente, se prevé que el uso de granos y cereales para el forraje excederá el incremento del uso alimentario (OCDE-FAO, 2019).

En cuanto al uso alimentario de la soya hay una gran variedad de trabajos e investigaciones relacionadas a esta leguminosa. Los principales estudios son originarios de países asiáticos obedeciendo a su tradición alimentaria. Estas investigaciones son concernientes a la obtención de aceite de soya (Rosenthal et al. 1998), proteína e hidrolizado (Mark Hsieh et al., 1999), así como sucedáneos a base de soya como la leche, queso y derivados del mismo, igualmente, se han

hecho avances en la utilización del residuo (*okara*) para la formulación de hamburguesas y derivados similares (T. Zhang et al., 2021).

Así mismo, la sociedad occidental progresivamente ha adoptado el consumo de sucedáneos de la leche de diversas fuentes vegetales entre ellas la bebida de soya, considerada una alternativa saludable a los lácteos en una población creciente de consumidores vegetarianos y veganos (Collard & McCormick, 2021). Además, la huella de carbono a lo largo de la cadena de suministro para producir un litro es un 50% menor en la bebida de soya frente a la leche de vaca (Coluccia et al., 2022). Así mismo, el crecimiento de consumo de bebidas de soya obedece a un crecimiento de mercado constante a nivel mundial, la cual estima una tasa de crecimiento anual (TCAC) de 6.1% de 2019 a 2024, lo que proporciona una gran plataforma comercial para la participación en el mercado.

Por otra parte, diversas investigaciones muestran la fermentación de bebidas de soya como forma viable para mejorar la biodisponibilidad de las isoflavonas, componentes con efecto bifidogénico, junto al aumento de vitaminas del complejo B y la reducción de los niveles antinutricionales (Zhu et al., 2020).

A Pesar de los beneficios que pueda tener la bebida de soya, esta ha sido criticada por el contenido de factores anti nutricionales, especialmente por el contenido de inhibidores de tripsina que pueden producir deficiencia proteica e hipertrofia pancreática, que se han encontrado altos niveles incluso en bebidas procesadas con tratamientos térmicos convencionales. Esto debido a que los inhibidores de tripsina son moléculas resistentes a tratamientos térmicos, por lo que se requiere tratamientos más intensivos que el procesamiento convencional (Kaankuka et al., 1996). Sin embargo, la aplicación de tratamientos térmicos intensivos produce la disociación, desnaturalización y agregación de proteínas, que genera una reducción de la solubilidad proteica con reducción de la capacidad de unión al agua, que se ve reflejada en una baja viscosidad y diferenciación de fases (Puppo et al., 2000).

A partir de este inconveniente, diversos estudios relacionados a la bebida fermentada de soya emplean hidrocoloides como estabilizantes, emulsionantes y/o

espesantes que mejoran las características reológicas y de textura. Los hidrocoloides son polímeros de alto peso molecular de diferente origen, obtenido de plantas, animales, bacterias y hongos; natural, semisintético o sintético. En bebidas fermentadas de soya se ha empleándose gelatinas, carboximetilcelulosa, aislado de proteína de soya, carragenina, agar-agar (Jayarathna et al., 2021), con goma xantan (El-Sayed et al., 2002), almidón de maíz, arroz, tapioca (Jimoh & Kolapo, 2007) y fécula de ñame (*Dioscorea alata*) (Panhoni Manzano et al., 2008). Dentro de los hidrocoloides, se hallan los almidones que han sido utilizados en alimento como estabilizante y espesante. Sin embargo, el uso de almidones de yuca modificados en esta matriz no se reporta.

Desde el punto de vista económico, Colombia en el tercer productor de yuca en Latinoamérica y el quinto bien agrícola que se produce. Con una tendencia de crecimiento en área de 4% y producción de 11% entre 2015-2018. Sin embargo su producción es baja (11.34 ton/ha) comparada con países de la región como Brasil (14 ton/ha) y Paraguay (18 ton/ha) (FAO 2020). El 94 % de la producción de yuca en Colombia es para consumo humano directo, mientras que el 5.6 % se destina a la industrialización. Además, la producción se da en un 85% a pequeña escala, en áreas menores a 10 ha y con poca tecnificación (Canales & Trujillo, 2021). Esta situación ilustra un escaso desarrollo y transferencia tecnológica que debería ser impulsada a través de políticas públicas y programas de gobierno aplicado a las regiones productivas, que de acuerdo al plan nacional de desarrollo (2022 a 2026) pretende generar oportunidades de crecimiento económico, a través del aumento de la competitividad y fortalecimiento de la agroindustria, mediante la vinculación de pequeños y medianos productores con impacto ambiental, social, que involucre la ciencia, tecnología e innovación. Por lo que la yuca puede llegar a considerarse importante a nivel económico para el desarrollo de la cadena productiva a nivel nacional. Además, el almidón de yuca es considerándolo un aditivo de bajo costo, frente a otras fuentes de almidón producido por la industria nacional.

Teniendo en cuenta factores sociales y económicos. Así como lo concerniente al uso de almidones de yuca modificados como posibilidad para mejorar

características reológicas y de textura en una bebida fermentada de soya. De modo que el presente trabajo considera una oportunidad para la evaluación de las propiedades de calidad en una bebida fermentada.

Este proyecto fue financiado bajo la convocatoria para el apoyo a la financiación de proyectos de tesis para fortalecer y consolidar los programas de doctorado y maestría de la Facultad de Ciencias Agrarias, sede Bogotá, en el marco del proyecto “Evaluación del almidón de yuca modificado en las propiedades de calidad y aceptación sensorial de la bebida fermentada de soya”, código Hermes 56134.

Planteamiento del problema

Las propiedades nutricionales de la bebida de soya han sido comparadas con la de leche de vaca, inclusive en ciertos aspecto nutricionales es superior al tener bajo contenido de grasa, sin lactosa, ni colesterol, además sus costos son más económicos (Scalabrini et al., 1998). Sin embargo, sus características sensoriales son pobres, al tener una baja viscosidad, el sabor característico a frijol y el contenido de oligosacáridos responsables de la flatulencia, han limitado su consumo y no se han popularizado en nuestra cultura (Cheng et al., 1990). No obstante, los productos encontrados comercialmente enmascaran este sabor con saborizantes naturales y/o artificiales. Así mismo, los productos fermentados no han sido acogidos en la población Colombiana, al preferir productos frescos; aunque, los consumidores cada vez más están dispuestos a probar alimentos con alta calidad nutricional y la tendencia actual no solo es a mejorar las características fisicoquímicas, reológicas, y la calidad microbiológica, sino ofrecer un producto con propiedades nutricionales y funcionales con la inclusión de probióticos y prebióticos (Fazilah et al., 2018). Estos aditivos además de los beneficios nutricionales, podrían presentar una mejoría en la calidad física y sensorial. Simultáneamente, ha habido una búsqueda continua y constante de estabilizantes y/o espesantes ideales que permitan en la bebida una alta viscosidad, firmeza y menor sinéresis, sin que pierda sus propiedades químicas, evitando retrogradación, desnaturalización y que sea a bajo costo.

1. Marco de referencia

1.1 Marco teórico

En Colombia en estos últimos años ha crecido el interés tanto investigativo, como económico de producir bebidas con alto valor nutricional de origen vegetal como son: de soya, coco, almendras, quinua, entre otros; equiparable a alimentos proteicos de origen animal. En cuanto a la soya, a pesar de que Colombia no es un gran productor, si se han realizado trabajos y estudios enfocados a la formulación de productos a base de soya con buenas características fisicoquímicas y sensoriales, así mismo, se han hecho estudios de mercado y su aceptabilidad en la población colombiana. Estos estudios de evaluación técnica y aceptabilidad del producto en el mercado se han realizado a partir de la competencia y los productos existentes a base de soya (Marulanda-Botero & Pérez-Acosta, 2007; hernandez F., 2009).

1.1.1 Propiedades de la bebida de soya

La bebida de soya tiene una alta calidad de proteínas pertenecen a la familia de las globulinas las cuales son glicinina y beta-conglicinina, poseen fibra, lípidos insaturados, vitaminas, minerales y fitoquímicos. No contiene colesterol, ni lactosa y tiene una pequeña cantidad de ácidos grasos saturados, por lo que puede ser un suplemento para personas intolerantes a la lactosa, y sus costos son más económicos (Scalabrini et al., 1998; Dewell et al., 2006). No obstante, ciertas características sensoriales como es el sabor a frijol y el contenido de oligosacáridos responsables de la flatulencia (Desai et al., 2002), han limitado su consumo y no se ha popularizado en el occidente (Telang et al., 2010). Sin embargo, sus características fisicoquímicas han mejorado a través del desarrollo de un producto más adecuado para los consumidores. Adicionalmente, su valor nutricional aumenta en condiciones de fermentación ya que las proteasas microbianas promueven la

hidrolisis de proteínas y generan péptidos bioactivos durante la fermentación (Zhu et al., 2020).

Por otra parte, se ha encontrado que la inhibición de la autooxidación del ascorbato, la actividad reductora y el efecto eliminador de los radicales aniónicos superóxido son significativamente mayores en la leche de soya fermentada que en la no fermentada (Zhang et al., 2017; citado por Cui et al., 2021). Así mismo, se ha demostrado que reduce la hiperlipidemia y la lesión hepática inducida por una dieta alta en grasas (Zhang et al., 2017; citado por Cui et al., 2021)

Las bacterias ácido láctica producen ácido láctico en ausencia de oxígeno (anaerobiosis), y se manifiesta en la transformación de los azúcares presentes en la soya, en ácido láctico, en pequeñas cantidades de etanol y dióxido de carbono (Miremadi, Ayyas, Sherkat, & Stojanovsk, 2014; citado por Cui et al., 2021).

1.1.2 Factores anti nutricionales en la soya

En productos de origen vegetal puede encontrarse factores anti nutricionales con acciones adversas, indeseables o no nutricionales. En la soya cruda se encuentran estructuras proteicas que tienen acción inhibidora de las enzimas digestivas como son los inhibidores de tripsina, lecitinas o hemaglutininas, además que estas poseen una baja digestibilidad. Los mecanismos de eliminación e inicio tradicionalmente han sido tratamientos térmicos, sin embargo, depende de su estructura, conformación proteica y su valoración requiere metodologías muy específicas basadas en la acción antinutricional (Quicazán M., 2012).

1.1.2.1 Inhibidores de Tripsina

Los inhibidores de la tripsina son proteínas que se encuentran mayoritariamente en leguminosas, una preocupación importante desde el punto de vista nutricional es debido a que causa una baja tasa de eficiencia proteica e hipertrofia pancreática (Zhang & Chang, 2022; Aderibigbe, Cowieson, Sorbara, Pappenberger y Adeola,

2020; Ge y Morgan, 1992). Para retener el valor nutritivo de la proteína, la mayoría de los productos comerciales de soya contienen 5–20% de la actividad inhibidora de tripsina (AIT) de la soya original (Rackis & Gumbanann, 1981; citado por Zhang & Chang, 2022). Sin embargo, se encontró un AIT inaceptablemente alto, a pesar de que son bebidas procesadas en variedades de bebida de soya amarilla y negra entre un 30 a 48% (Zhang & Chang, 2022).

Debido a la alta estabilidad térmica de los inhibidores de tripsina, se han utilizado varios métodos que incluyen temperaturas a altas temperaturas (UHT), inyección de vapor, cocción tradicional, procesamiento de alta presión (HPP), pulso eléctricos, ultrasonido y microondas para el procesamiento de la leche de soya mostraron diversos efectos de inactivación (Vanga, Wang y Raghavan, 2020; Guerrero - Beltran, Estrada-Giron y Swanson, 2009; Yuan, Chang, Liu y Xu, 2008). Además, La soya contiene dos tipos principales de inhibidores de la tripsina: el inhibidor de la tripsina de Kunitz (ITK) y el inhibidor de Bowman-Birk (IBB). ITK y IBB contienen 2 y 7 enlaces disulfuro intramoleculares, respectivamente, y por lo tanto, estos dos inhibidores tienen diferentes susceptibilidades a los tratamientos térmicos, pero la inactivación general de los inhibidores de tripsina sigue un modelo de primer orden, que al reducir a un nivel de aproximadamente 20 % en un proceso de ebullición por lotes a 15 min sería igual a un proceso térmico de 140°C por un periodo de tiempo de 77 segundos (Rouhana et al., 1996). Este tipo de tratamiento térmico es mucho más intensivo que la pasteurización por corto tiempo (HTST) y que la ultra pasteurización (UTH) que son aplicados tradicionalmente. Esto debido a que en la bebida de soya no solo se interesa una inactivación microbiológica, sino una inactivación de las proteínas antinutricionales como son los inhibidores de tripsina, lo que indica una alta estabilidad térmica.

Durante el tratamiento térmico ocurre el desplegamiento de proteínas y se ha planteado la hipótesis de que los intercambios –SH/SS entre los inhibidores y las proteínas de almacenamiento de soya, como la glicinina y la β -conglucina, son en parte responsables de la inactivación de los inhibidores de la tripsina (Rouhana et al., 1996). Sin embargo, la degradación del inhibidor de tripsina tanto en soya

integral como desengrasada tiene la misma cinética de pérdida de solubilidad de la proteína; así mismo, si la humedad inicial es mayor, se tendrán valores mayores en la solubilidad de la proteína; igualmente, la degradación de cada uno de estos factores antinutricionales depende del tamaño de la partícula.

1.1.2.2 Lipoxigenasas

Constituyen una familia de enzimas que incorporan hierro y catalizan reacciones de oxidación de ácidos grasos polinsaturados, dando lugar a hidroperóxidos. Aunque la lipoxigenasa no es propiamente un factor antinutricional y está presente en baja concentración, por acción catalítica genera compuestos inestables, que fácilmente se degradan a moléculas volátiles causantes de aromas desagradables que en la soya se caracteriza un sabor a frijol que limita su aceptabilidad sensorial (Quicazán M., 2012; Liu K., 1999). Las lipoxigenasas catalizan la oxidación de ácidos grasos insaturados y de glicéridos que contienen sistemas de dobles enlaces conjugados, tales como el linoleico, el linolénico y el araquidónico, originando hidroperóxidos, los cuales se degradan posteriormente por ruta enzimática para originar aldehídos y alcoholes responsables del aroma afrijolado. Los aldehídos que se generan principalmente a partir de la degradación de hidroperóxidos son el n-hexanal y n-pentanal. La degradación térmica de la enzima lipoxigenasa minimiza estos problemas (Matsuura et al. 1989; Pinthong, Macrae & Rothwell 1980°C; citado por (Quicazán M., 2012).

La degradación de la enzima se realiza tradicionalmente por calentamiento a 70°C por reducción logarítmica inactivándose en 180 segundos. El proceso se agiliza si se aumenta en 10°C, reduciendo los tiempos de inactivación. Sin embargo, al aplicar procesos térmicos se presentan la reducción de la solubilidad proteica de la soya, por lo se ha generado tecnologías emergentes para la inactivación tanto de microorganismos, como de sustancias antinutricionales, afectando en menor medida las proteínas solubles y demás componentes nutricionales, estas tecnologías incluyen pulso eléctricos, calentamiento óhmico pulsado, altas presiones y ultrasonido (Cho & Kang, 2022).

1.1.2.3 Ureasas

La ureasa es una metaloenzima que requiere en su sitio activo níquel (II), cataliza la hidrólisis de la urea liberando dióxido de carbono y amoníaco, con una velocidad de reacción de 10^{14} veces más rápida que la reacción no catalizada.

Por otra parte, la ureasa es conocida como una de las mayores causas de las patologías inducidas por *Helicobacter pylori*, debido a que la ureasa proporciona la supervivencia a un pH bajo estomacal durante su colonización, de modo que desempeña un papel importante en la patogénesis de úlceras gástricas, que en algunos casos pueden conducir a un cáncer (Moblely et al. 1995; Follmer 2008).

La inactivación de esta enzima se da a intervalos de temperatura entre 55 a 87°C dependiendo del tiempo; sin embargo, la inactivación de esta enzima resulta reversible si la temperatura es inferior a 75°C, por lo que se recomiendan temperaturas superiores a 75°C al sufrir agregación de su estructura (Viera Illeová, Polakovic, et al. 2003). La cinética de inactivación sigue una cinética de segundo orden y han sido asociados las etapas de desnaturalización, degradación al presentar cambios estructurales de la proteína.

1.1.3 Efectos en la salud de la bebida de soya y su fermentación

Hay una gran variedad de investigaciones relacionadas con los efectos sobre la salud de la leche de soya y sus derivados. Por ejemplo, en un estudio señalan que la soya contiene una gran cantidad de isoflavonas. Estas, se encuentran en la soya y son llamados fitoestrógenos debido a su actividad similar al estrógeno. Pueden desempeñar un papel fisiológico especial al unirse al receptor de estrógeno debido a su estructura similar (Hwang et al., 2021). Además, las isoflavonas están designadas con un papel crucial en el tratamiento del cáncer. Estas, especialmente la daidzeína y la genisteína, pueden prevenir el cáncer de mama y el cáncer de próstata, y en la leche de soya, la forma más abundante de isoflavonas son los glucósidos, y los probióticos pueden convertirlos en agliconas con una actividad

biológica más fuerte, que le confiere propiedades antiproliferación, antioxidantes y antitumorales (Tan et al., 2016).

Estas propiedades benéficas han sido asociadas a las lectinas, también llamadas hemaglutininas que son glicoproteínas presentes en varias leguminosas. Con capacidad para ligarse a ciertas células malignas o enfermas, además se han desarrollado diagnósticos para la detección de tejidos cancerosos, en pruebas bioquímicas de biología celular e inmunología y reconocido por su acción antitumoral. (Mody et al. 1995). Igualmente los productos fermentados han sido relacionados con propiedades antioxidantes y antihipertensivas (Wei et al., 2022).

1.1.4 Probióticos

Los probióticos son microorganismos vivos que, cuando se administran en cantidades adecuadas, pueden mejorar la microbiota intestinal del huésped y promover la salud (Hill et al., 2014; Miremadi, Ayyas, Sherkat, & Stojanovsk, 2014; citado por Cui et al., 2021). A pesar de que se conoce los beneficios para la salud, los mecanismos por los que los probióticos ejercen sus efectos son en gran parte desconocidos, pero tiene efectos al modificar el pH intestinal, antagonizar los patógenos a través de la producción de compuestos antimicrobianos, competir por los sitios de unión y receptores de patógenos, así como por los nutrientes y factores de crecimiento disponibles, estimulan las células inmunomoduladoras y producen lactasa (Fazilah et al., 2018). Del mismo modo, los probióticos tienen efectos anti obesidad, que aunque la comprensión de su fisiopatología y terapias ha mejorado a lo largo de los años, se desconocen los efectos moduladores intestinales por los que actúan los probióticos contra la obesidad (Zhu et al., 2020). Así mismo, ciertas cepas de probióticos del género *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* son capaces de producir vitaminas del complejo B requeridas para el organismo humano como la niacina, riboflavina, tiamina y Cobalamina (B12), que en los últimos años, se han utilizado como iniciadores para producir compuestos bioactivos en la fermentación de sucedáneos de la leche de origen vegetal como alternativa importante a la leche bovina (Hou et al., 2000; Zhu et al., 2020).

1.1.5 Fitoquímicos en la inclusión de yogur

La industria actualmente está generando nuevos productos alimenticios que ofrezcan al consumidor un aporte importante a nivel nutricional y beneficios para la salud, que responden a las nuevas tendencias de adición de componentes bioactivos. Tal es el caso de la adición de fitoquímicos en las bebidas fermentadas, estos compuestos químicos son biológicamente activos encontrados en las plantas, los cuales brindan beneficios para la salud de los seres humanos más allá de su uso como macronutrientes y micronutrientes. A pesar de que se conocen los beneficios de ciertos compuesto bioactivos, se desconoce el mecanismo por el cual actúan. Sin embargo, debido a sus preferencias y demandas en los consumidores, los fitoquímicos bioactivos de diversas fuentes se están aplicando progresivamente como ingredientes para mejorar los rasgos de calidad, las propiedades nutricionales y terapéuticas (Fazilah et al., 2018). Un ejemplo del uso de fitoquímicos está presente en el trabajo realizado por Azizkhani & Tooryan (2016) los cuales sugieren agregar aceite esencial de zataria (*Zataria* sp.), albahaca (*Ocimum basilicum*) o menta (*Mentha* sp.) en la formulación de yogur probiótico puede mejorar la funcionalidad potencial del producto y proporcionar un efecto inhibitor contra *Listeria monocytogenes* y *Escherichia coli*. Además, se ha observado que la adición de hojas y tallos de limoncillo al yogur mejora las propiedades fisicoquímicas y las características sensoriales del yogur.

1.1.6 Fermentación ácido láctica

La glucólisis precede al proceso bioquímico de la fermentación e inicia con la degradación de carbohidratos para extraer energía en el metabolismo celular. Este proceso requiere de reacciones individuales catalizadas enzimáticamente en la que se compone de una fase que requiere energía, seguida de una fase que la libera y finaliza en la producción de piruvato. En el caso de bacterias ácido lácticas (BAL), el piruvato es reducido a lactato en un solo paso (Reddy et al., 2008).

Así mismo, dentro de las BAL hay fermentación homofermentativa, las cuales producen mayoritariamente ácido láctico. Dentro de estas bacterias se encuentra *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, bacterias de

géneros *Streptococcus*, *Lactococcus*, *Pediococcus*. Por otra parte, la fermentación heterofermentativa además de producir ácido láctico produce ácido acético y fórmico (*Bifidobacterium*), etanol, dióxido de carbono (*Leuconostoc*).

En el proceso de fermentación es importante conocer qué tipo de carbohidratos fermenta una especie de bacteria, debido a que se da la especificidad entre especies de bacterias en la degradación de un determinado carbohidrato. Por ejemplo, la glucosa o algún isómero específico de esta como la manosa, galactosa o fructosa, o si degrada disacáridos como la lactosa o sacarosa, u oligosacáridos como rafinosa y estaquiosa, las cuales se encuentran presentes en la soya y degradación de almidones. Así mismo, se debe tener en cuenta el mecanismo de producción de ácido láctico, si es por microorganismo amilolíticos, por sacarificación enzimática o por hidrólisis ácida/básica. También el tipo de ácido láctico en su forma estero específica L(+) o D(-) o una mezcla racémica de ambas (Hammes & Vogel, 1995). Por lo anterior, se debe conocer el tipo de matriz donde se quiera fermentar para producir ácido láctico teniendo en cuenta el tipo de carbohidratos disponibles en el sistema.

1.1.7 Estabilizantes, espesantes y aditivos

Los tratamientos térmicos que se utilizan para procesar bebidas a base de soya con el fin de eliminar microorganismos y degradar compuestos no deseados como las saponinas, dan como resultado la disociación, desnaturalización y agregación de proteínas. Los cambios en la agregación de proteínas se manifiestan en la solubilidad como en su capacidad de unión al agua (Puppo et al., 2000). Por lo que se requiere el uso de sustancias estabilizantes y espesantes para incrementar y mejorar las propiedades reológicas.

Los estabilizantes se definen como sustancias que sirven para posibilitar la dispersión uniforme de dos o más sustancias no miscibles en un alimento, mientras que los espesantes son sustancias aditivas que sirven para mejorar, concentrar o aumentar la viscosidad de un alimento (Unión Europea, 2011). Por consiguiente,

para mejorar las características fisicoquímicas y reológicas de las bebidas a base de soya, se suele utilizar diversos estabilizantes y/o espesantes.

De acuerdo a un capítulo de libro titulado “*Texture modification of soy-based products*” (Guo & Yang, 2015), hay diversos aditivos que ayudan a mejorar la viscosidad y sinéresis con la adición de diversos estabilizantes como son: la goma xantan, goma de algarrobo, goma guar, carboximetilcelulosa, entre otros (El-Sayed et al., 2002) Además, la homogeneización con presión alta aplicada en la bebida de soya ayuda a mejorar la firmeza, el comportamiento deformable y la capacidad de retención de agua del yogur de soya resultante (Cruz et al., 2009; Guo & Yang, 2015).

Por otro lado, como la proteína es el componente principal de la soya, es posible que el tipo y la cantidad de carbohidratos en la leche de soya no cumpla con los requisitos de fermentación, por lo que los suplementos de carbohidratos como glucosa, inulina, lactosa, sacarosa y fructooligosacáridos son efectivos para mejorar la tasa de acidificación durante la fermentación, para obtener un yogur con propiedades adecuadas de viscosidad y bajo de sinéresis (Donkor et al., 2007).

En cuanto a la normativa referente a aditivos permitidos en Colombia, se encuentra la resolución 2606 de 2009 emitido por el Ministerio de la protección social en la cual establece el tipo de aditivos permitidos, esta se basa en las normas nacionales e internacionales, como el *Codex Alimentarius* (República de Colombia, 2009). Asimismo, la Comisión Europea en el Reglamento (UE) No. 1129/2011 establece la lista de aditivos alimentarios permitidos, y en esta, aprueba el uso de ciertos almidones modificados en alimentos (Unión Europea, 2011).

1.1.8 Almidón

El almidón es un polisacárido, compuesto por un gran número de unidades de glucosa unidas por enlaces glucosídicos, que están presentes en dos macromoléculas principales: amilosa y amilopectina. En las plantas está presente

en tubérculos, cereales y otros productos vegetales y es considerado como una fuente importante de energía para los seres humanos (Abbas et al., 2010).

Los almidones son empleados principalmente en la industria láctea, en yogures y bebidas lácteas debido a sus propiedades gelificantes y espesantes; del mismo modo, pueden ser adicionados a bebidas no lácteas y cada vez más es utilizada en matrices vegetales. A nivel económico, el uso de almidones tiene menores costos en comparación a otros espesantes (Mahmood et al., 2017).

Los almidones autóctonos tienen un uso limitado en la industria, por su sensibilidad al calentamiento, produciendo pastas gomosas, débiles de cuerpo, cohesivas al calentarse, y geles indeseables al enfriarse; asimismo, en el almacenamiento pueden presentar retrogradación, precipitación o reorganización; por esta razón, en la industria se prefieren almidones con mejores comportamientos, los cuales se pueden obtener realizando diferentes modificaciones al almidón (Abbas et al., 2010; Ji et al., 2020).

1.1.8.1 Almidones modificados

Los almidones modificados son almidones que se han sometido a diferentes tratamientos, haciendo que el almidón se degrade parcialmente, con el fin de mejorar sus propiedades, especialmente, en aplicaciones específicas, como mejorar la resistencia al calor la capacidad de retención de agua, aumentar su viscosidad, minimizar el efecto de sinéresis, entre otras (Abbas et al., 2010). Por ejemplo, se puede modificar la proporción amilosa/amilopectina, para optimizar su uso en productos lácteos y en bebidas no lácteas (Ji et al., 2020). Para modificar un almidón, este puede ser sometido a tratamiento enzimático, físico o químico (Abbas et al., 2010).

Modificación enzimática: el almidón es hidrolizado utilizando enzimas amilolíticas, para producir maltodextrinas o dextrinas, que son almidones de bajo peso molecular (Abbas et al., 2010). Un estudio reciente realizado por Ji et al. (2020) se aplicó β -ciclodextrina glicosiltransferasa (β -CGTasa) junto con una ciclodextrinasa

específica (CDasa) para modificar el almidón de maíz. Los resultados mostraron que la utilización de enzimas duales promueve significativamente la propiedad de inhibición de la retrogradación del almidón y la reducción de la entalpía del mismo.

Modificación física: se pueden efectuar diferentes tratamientos, como pre-gelatinización del almidón, en el que se pre-cocina el almidón y es utilizado como espesante, en agua fría; o tratamientos térmicos, en los cuales mediante el manejo de calor-humedad, se modifica el almidón sin gelatinización, ni daño a la integridad granular (Abbas *et al.*, 2010).

La modificación química del almidón implica el bloqueo o la introducción de grupos funcionales para ofrecer propiedades físicas y químicas deseables mientras se mantiene la integridad de la cadena, extendiendo así su aplicación. Debido a la abundancia intrínseca de grupos hidroxilo en la estructura del almidón, se han estudiado diferentes modificaciones químicas, incluida la eterificación, acetilación, esterificación, adición de polímero, sustitución, entrecruzamiento o conversión, silitación, hidrólisis, entre otros productos. Asimismo, se puede realizar una combinación de modificaciones físicas y químicas. Las propiedades fisicoquímicas que pueden modificarse incluyen gelatinización, retrogradación, viscosidad y propiedades de pegado, estabilidad térmica, solubilidad, hidrofiliidad y composiciones. El grado de modificación depende de la cristalinidad del almidón, la proporción de amilosa a amilopectina, las condiciones de reacción y la distribución molecular del almidón (Ojogbo *et al.*, 2020).

1.1.8.2 Almidón modificado anhídrido octenil succínico (OSA)

Las capacidades emulsionantes de las partículas de almidón nativo se pueden mejorar aumentando la hidrofobicidad de las partículas de almidón modificando químicamente el almidón. El almidón modificado con anhídrido octenil succínico (OSA) se obtiene de la reacción de la esterificación entre los grupos hidroxilo (OH) del almidón y el anhídrido octenil succínico (Sweedman *et al.*, 2013). El aumento en el número de grupos OH sustituidos por OSA aumenta la hidrofobicidad del almidón nativo (Miao *et al.*, 2014). Creando partículas anfifílicas con propiedades únicas. La

vía de síntesis se realiza en un medio acuoso en condiciones alcalinas suaves con el almidón en su forma granular (Trubiano, 1986; citado por McNamee et al., 2018). El nivel de modificación de OSA se informa comúnmente por el porcentaje de OSA utilizado en función del peso seco del almidón o el grado de sustitución, que es el número promedio de derivados de succinato de octenilo por unidad de glucosa. La sustitución con OSA puede ocurrir en los carbonos 2, 3 y 6 en la molécula de glucosa del almidón (Sweedman et al., 2013). Sin embargo, el grupo OH en el carbono 6 está esterificado preferentemente debido al impedimento estérico de los otros dos grupos OH. Estos grupos OSA están presentes principalmente en las partes amorfas de la molécula de amilopectina en el interior del almidón. Sin embargo, también pueden existir en el exterior del gránulo (Shogren et al., 2000). El almidón modificado OSA (E1450) está aprobado para aplicaciones alimentarias con un grado de modificación de hasta el 3 % en función del peso seco del almidón (Rayner et al., 2012; citado por McNamee et al., 2018).

Las propiedades físicas de las partículas de almidón modificadas con OSA afectan su capacidad para estabilizar eficazmente las emulsiones O/W. Se ha estudiado el efecto de la modificación OSA sobre las propiedades físicas de las partículas de almidón y su estructura cristalina, lo que hace que los almidones OSA tengan una temperatura de gelatinización más baja que sus almidones nativos (Sweedman et al., 2013). Así mismo, se informa sobre su hidrofobicidad, lo que aumenta la anfifilicidad y debilita los enlaces de hidrógeno internos de la partícula de almidón (Ovando-Martinez et al., 2017). También se ha encontrado que los geles de almidón OSA son más suaves que los geles de almidón nativo y se ha demostrado que las partículas de almidón modificado con OSA se agregan menos que el almidón nativo (Ovando-Martinez et al., 2017).

Por otra parte, varios estudios han mostrado que la modificación del almidón, tiene que ver con el porcentaje en peso de las partículas, lo cual, puede afectar la cobertura superficial de la interfase aceite/agua por las partículas y la estabilidad de la gota. (Yusoff y Murray, 2011; Li et al., 2013; Marefati et al., 2017). La estabilidad de la gota generalmente aumenta a medida que aumenta la cobertura de la gota por

las partículas. Esto se debe a las interacciones electrostáticas que actúan entre dos gotitas estabilizadas con partículas, cuyas partículas adsorbidas están cargadas, y también a las repulsiones estéricas resultantes del tamaño finito de las partículas en la interfase aceite/agua. Así mismo, se sabe que la modificación OSA cambia la carga del almidón y su la fuerza intersuperficial es más atractiva en soluciones de alta fuerza iónica (Nilsson y Bergenståhl, 2007; Miao et al., 2014; citado por McNamee et al., 2018).

1.1.8.3 Almidón modificado Adipato dialmidón acetilado (ADA)

El almidón de Adipato dialmidón acetilado (ADA) se produce a partir de la acción del ácido acético anhidro y del ácido adípico anhidro sobre el almidón. El objetivo de la reacción de acetilación es mejorar la relación del agua con el almidón y en consecuencia, la estabilidad de la textura de los productos en los que se incorpora. Por otra parte, la reacción de reticulación con ácido adípico crea enlaces cruzados en los gránulos del almidón formando redes tridimensionales, los cuales controlan y limitan la capacidad de hinchamiento del grano de almidón y, mejoran la resistencia a los procesos mecánicos, de temperatura y pH ácido, así mismo, esta conformación le permite forma geles fuertes, estables y reduce la retrogradación del almidón, con un perfil de viscosidad mucho más estable. Este almidón modificado se usa ampliamente como estabilizador, espesante y texturizaste (Partheniadis et al., 2020).

El adipato de dialmidón acetilado (ADA) consta de unidades hidrofílicas de glucopiranosas, grupos acetilo y adipato, por lo que no tiene una parte hidrofóbica y carece de actividad superficial. Por otra parte, el almidón entrecruzado se utiliza en productos de carácter ácido, y es resistente a altas temperaturas de procesamiento y oscilaciones importantes de temperatura. Se emplea principalmente en productos refrigerados o congelados inhibiendo la retrogradación durante el tiempo de almacenamiento. El mecanismo anti-retrogradación se atribuye principalmente a la capacidad de retención de agua de los aditivos y a los enlaces de hidrógeno entre

los polisacáridos y la amilopectina, lo que limita la recombinación de amilosa y amilopectina (D. Zhang et al., 2020).

1.2 Estado del arte

Anteriormente la producción de alimentos a nivel industrial ponía esfuerzos en la optimización de las cualidades, físicas y sensoriales, así como la inocuidad de los alimentos, con el objetivo de que el producto sea atractivo para el consumidor, hoy en día, además de estas características que son avaladas por las normas de seguridad y calidad de los alimentos, también se procura el mejoramiento de la calidad nutricional y funcional como generador de productos saludables para el consumidor. Así mismo, el principal vehículo de microorganismos probióticos tradicionalmente ha sido la leche de vaca, sin embargo, en la última década ha habido un gran avance en la generación de productos fermentados no lácteos que no han alcanzado la aceptabilidad en los consumidores occidentales, principalmente por sus defectos sensoriales de sabor y sus componentes anti nutricionales como las saponinas (Fairweather-Tait et al., 1988), no obstante, la calidad sensorial de bebida de soya ha mejorado a través de los años. Del mismo modo, la composición nutricional del yogur puede variar en función de varios aspectos, incluidas las cepas utilizadas como cultivo iniciador, los tipos de leche utilizados (entera, semidesnatada o desnatada), leche obtenida de diferentes especies (es decir, de vaca, cabra, oveja, etc.), si es leche deslactosada, tipos de sólidos lácteos, sólidos no grasos, condiciones del proceso de fermentación, así como otros componentes agregados como edulcorantes y saborizantes (Fazilah et al., 2018)

1.2.1 Tratamiento térmico de la bebida de soya y solubilidad

Como paso fundamental en la elaboración de la bebida de soya de acuerdo a Zhang, Guo, Liu y Chang (2012) muestran que la molienda en frío y en caliente, en combinan con diferentes métodos de calentamiento resulta menor grado de desarrollo de sabores desagradables resultado de la oxidación de ácidos grasos insaturados y posterior liberación de aldehídos y alcoholes por las lipoxigenasas (Y.

Zhang & Chang, 2022), así mismo, los tratamientos térmicos reducen los niveles de inhibidores de tripsina.

A pesar de la desnaturalización de componentes antinutricionales, la molienda en caliente y tratamientos térmicos dan una pobre recuperación de sólidos y proteínas en la bebida de soya, la cual es afectada por su grado de solubilidad y disponibilidad para ser digerida. La proteína de la soya sobresale por su alta solubilidad, no obstante, la aplicación de un tratamiento térmico da como resultado la disociación, agregación y desnaturalización de las proteínas. Los cambios en la agregación de proteínas se reflejan en su solubilidad, así como en su capacidad de unión al agua (Drunkler et al., 2012). Por lo tanto, un valor demasiado alto de solubilidad de la proteína, es indicativo de un escaso calentamiento de la soya, por el contrario, valores muy bajos indican entonces un excesivo tratamiento térmico.

1.2.2 Bebidas fermentadas

La fermentación de bebidas, se realizara a partir de bacterias ácido lácticas, principalmente bacterias del genero *Lactobacillus*. Tradicionalmente la elaboración del yogur se realiza a partir de cultivos termófilos homofermentativas como *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus*. El uso de estos microorganismos en la fermentación ya es bastante estudiada principalmente porque son bacterias ácido lácticas homofermentativas que han demostrado trabajan simbióticamente a una temperatura entre 40-45 °C (Shelef et al., 1988). Sin embargo, el tiempo de fermentación en la bebida de soya es más prolongada que empleando la leche de vaca (Martha Cecilia Quicazán et al., 2017).

Por otra parte, los estudios relacionados con las propiedades nutricionales de los productos fermentados afirman beneficios para la salud en la inclusión de probióticos del género *Lactobacillus* y *bifidobacterium* sp. en un yogur de vaca y de soya (Farnworth et al., 2007). Además de los beneficios nutricionales, los microorganismos fermentadores del yogur ayudan a que la bebida tenga menor efecto de sinéresis, más viscosidad y retención de agua, al ser una acidificación lenta y progresiva durante el proceso de fermentación (Cui et al., 2021). Por otro

lado, el uso de probióticos tiene beneficios variables, no solo para la protección gastrointestinal y antagonismo directo con microorganismos patógenos, sino como bioproductor de micronutrientes. Los efectos de los probióticos dependen la cepa seleccionada para la cual se esté usando. Por lo anterior, un estudio muestra las co-fermentaciones de glicerol y fructosa en el yogur de soya para mejorar la producción de vitamina B12 por medio del uso de *Lactobacillus reuteri* (Gu et al., 2015).

La revisión bibliográfica realizada por Fazilah et al (2018) en productos fermentados como el yogur, además, del rol de los probióticos en el desarrollo de bebidas funcionales, también están la función de prebióticos, que son definidos como ingredientes alimentarios no digeribles que afectan de manera beneficiosa al huésped al estimular selectivamente el crecimiento y / o la actividad de una o un número limitado de bacterias en el colon, mejorando así la salud del huésped (Csutak, 2010; citado por Fazilah et al., 2018). Otro concepto de los productos funcionales en tendencia hoy en día, son los simbióticos, que es una combinación de probióticos y prebióticos que afecta al huésped de manera beneficiosa al mejorar la supervivencia y la implantación de las cepas microbianas vivas seleccionadas en el tracto gastrointestinal (Khurana & Kanawjia, 2007; citado por Fazilah et al., 2018).

A nivel nacional, los productos fermentados no han sido acogidos en la población Colombiana, debido a que nuestros hábitos alimenticios tradicionales están fuertemente arraigados en la cultura, por lo que se prefiere el consumo de producto fresco. Sin embargo, la industrial ha innovado con productos fermentados de origen vegetal presentes en bebidas y otros productos. Los estudios relacionados a la aplicación de la bebida fermentada de soya en Colombia son diversos. Una de las investigación formula la obtención de una bebida funcional fermentada de soya y quinua empleando bacterias fermentadoras y probióticas (Margoth Montoya, 2010; Chilo, 2020), como también la fortificación con calcio y saborizante de la leche y yogur de soya (Benavides, 2006), así como estudios realizado en el instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) hacen una comparación de una bebida de soya y leche de vaca fermentada (Cuenca & Quicazán, 2011), la utilización de

avena en un yogur a base de soya (Martha C Quicazán et al., 1999), y se presenta la evaluación de la fermentación láctica como alternativa de desarrollo de bebidas de soya (Martha C Quicazán et al., 2017; Martha C Quicazán, 2012), también se han realizado estudios de las características nutricionales de las bebidas con proteína de soya, aportando información de los aminoácidos presentes en esta leguminosa (Vanegas Pérez et al., 2009).

Se ha evaluado procesos fermentativos en la bebida de soya y ha mostrado mejora en las cualidades sensoriales como, el sabor y degradación de los oligosacáridos no digeribles (Li et al., 2014). Con referente a la degradación de este tipo de compuestos hay una gran variedad de estudios que demuestran su efectividad en matrices vegetales. Un ejemplo es el estudio realizado por Chilo (2020) en la fermentación de una bebida a base de quínoa (*chenopodium quinoa*). Una de las investigaciones iniciales enfocada en la fermentación de la leche de soya, prueba la actividad de la degradación y consumo de compuestos responsables del sabor a frijol (n-hexanal y pentanal) y de oligosacáridos responsables de la flatulencia (rafinosa y estaquiosa) por parte de microorganismo fermentadores y probióticos del genero *Bifidobacterium* como: *B. infantis*, *B. longum* y *B. pseudolongum* (Desai et al., 2002), en la que se concluye que estas cepas producen α -galactosidasa responsables de hidrolizar estos compuestos. Por otra parte, la rafinosa y estaquiosa se puede utilizar como medio de cultivo para la cuantificación selectiva de células viables de *Bifidobacterium*. Otra investigación muestra la degradación de rafinosa con cepas probióticas del género *Lactobacillus* (Tabasco et al., 2007). También en la formulación de una bebida fermentada de lentejas al adicionar microorganismos probióticos del genero *Lactobacillus* (*Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus gasseri*, *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus johnsonii*, *Lactobacillus paracasei subsp. paracasei*, *Lactobacillus rhamnosus*) y la adición de enzimas proteolíticas de origen vegetal (papaína y bromelina). Estos microorganismos han demostrado la degradación de sacarosa, fructosa y glucosa, así como oligosacáridos propios de la lenteja (rafinosa, estaquiosa y verbascosa) (Verni et al., 2020).

1.2.3 Almacenamiento de bebidas fermentadas

Adicionalmente, un factor importante que se debe tener en cuenta es el tiempo de vida del producto. Se ha estudiado y evaluado diferentes procesos de enfriamiento y refrigeración óptimos. Un estudio evaluó la influencia de las mezclas de yogur de soya y leche de vaca en la viabilidad de *Lactobacillus rhamnosus* durante 30 días de almacenamiento refrigerado. Así mismo, se evaluó el atractivo sensorial de estos productos entre los consumidores para garantizar que la fortificación con probióticos no afecte negativamente a las propiedades organolépticas de la bebida (Fatima & Hekmat, 2020). Así mismo, otra investigación evaluó a través del tiempo los cambios de sus propiedades físicas y químicas de un yogur fermentado por *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* y *Lactobacillus plantarum* (Yi et al., 2020). En otro estudio se probó a partir de tres mezclas microbianas de yogur de soya en dos tipos de enfriamiento: enfriamiento directo y enfriamiento en dos fases, utilizando un enfriamiento intermedio para verificar el impacto en la viabilidad celular, el perfil de ácidos grasos, la producción de ácidos orgánicos y la supervivencia in vitro de la digestión gastrointestinal. Se concluyó que el protocolo de enfriamiento de dos fases promovió aumentos sustanciales de células viables y mayores concentraciones de ácidos linoleico y láctico en comparación con el enfriamiento directo (Piazzentin et al., 2020).

1.2.4 Aplicación de estabilizantes en bebidas de soya

Se han realizado diversos estudios con respecto a la aplicación de espesantes y/o estabilizantes en bebidas de soya. Un estudio reciente muestra el uso de diferentes porcentajes de estabilizantes (carboximetilcelulosa, aislado de proteína de soya, carragenina, agar-agar) frente a un tratamiento estándar de gelatina (0.75%) en un preparado fermentado de gel-soya, que evalúa parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales. Su comportamiento de flujo y la viscoelasticidad se ven afectadas, tanto por el tipo de espesante como por su concentración. (Jayarathna et al., 2021). Por otra parte, la fermentación microbiana también ayuda a mejorar las características físicas y organolépticas de la calidad del yogur en el

aumento de la viscosidad, mayor retención de agua y menor efecto de sinéresis (Yi et al., 2020; Cui et al., 2021).

Por otra parte, hay estudios novedosos donde se involucra nanopartículas en bebidas no lácteas funcionales. Por ejemplo, el estudio realizado por Sengupta et al. (2019) evalúa emulsiones estabilizadas con la inclusión de nanopartículas de aceite de salvado de arroz y proteína de soya en yogures no lácteos funcionales. Se evaluó el efecto del tipo de espesante sobre el color, reología, aroma y demás características sensoriales del yogur de soya.

1.2.5 Aplicaciones del Almidón Modificado

Los estudios referentes a almidones autóctonos son diversos. Un estudio presenta el uso de almidón de yuca, maíz y gelatina con resultados adecuados en textura y firmeza (Jimoh & Kolapo, 2007). Otra investigación realizada en Brasil evalúa diferentes espesantes como el almidón de ñame (*Dioscorea alata*), y modificados de almidón y gelatina en diferentes concentraciones en “yogur” a base de extracto de soya (Panhoni Manzano et al., 2008). A nivel nacional, el almidón modificado de yuca se emplea para optimizar las características fisicoquímicas, debido a que posee propiedades especiales, como la adherencia a bajas temperaturas, el bajo contenido de amilosa y una baja tendencia a la sinergia en comparación con otros almidones comerciales (Moore et al., 2005; citado por Drunkler et al., 2012).

La viscosidad aparente de las dispersiones acuosas aumenta con el aumento en el contenido de almidón, esta se ha utilizado con éxito en la emulsión de bebidas, en la microencapsulación, termoplásticos y tiene una ventaja en comparación con otros emulsionantes como goma arábiga, caseína y gelatina, debido a su bajo costo y fácil obtención. Además, la yuca es un cultivo de importancia económica en regiones tropicales, y el almidón modificado es un aditivo de la industria nacional (Imbachí-Narváez et al. 2019).

Los almidones modificados tienen diversas aplicaciones en la industria de alimentos, debido principalmente a la variedad de modificaciones lo que afecta a las

propiedades de calidad y a la aplicación de una determinada matriz alimentaria. De modo que es necesario estudiar las propiedades relacionadas con la estructura, propiedades sensoriales y estabilidad durante el almacenamiento del producto; también se debe conocer sus propiedades reológicas durante su producción como es la viscosidad, resistencia a la cizalla, y las propiedades fisicoquímicas como el pH y a las altas temperaturas (Abbas *et al.*, 2010). Algunos almidones de papa, yuca, maíz de alto contenido de amilosa, han sido modificados para conseguir propiedades fisicoquímicas adecuadas como: la resistentes a bajas o altas temperaturas de almacenamiento, bajo pH, dar opacidad, entre otras propiedades (Mahmood *et al.*, 2017).

Los almidones modificados suelen ser empleados en derivados lácteos, sin embargo también se pueden utilizar en productos de origen vegetal, en bebidas y jugos, así como en productos de panificación. Usualmente son usados, para optimizar propiedades fisicoquímicas, de textura, reológicas, entre otros. Los almidones cumplen diversas funciones dependiendo del tipo de modificación que se realice y a la matriz alimentaria que se le vaya aplicar (Sajilata & Singhal, 2005).

La aplicación de almidones específicamente en bebidas de soya se presenta en el estudio realizado por Jimoh & Kolapo (2007) al utilizar tratamiento con la inclusión de almidón de maíz, yuca y gelatina. Así como en el estudio realizado por Panhoni Manzano *et al.*, (2008) y Drunkler *et al.* (2012) al provocar un aumento en la viscosidad del producto final.

La modificación de almidones se puede dar por acción enzimática, física y químicas. Para el almidón de yuca modificado por acción enzimática con pululanasa y amiloglucosinasa, los cuales muestran capacidad de adsorción, porosidad y estabilidad térmica (Figuroa-Flórez *et al.*, 2019) Otra investigación evaluó la aplicación de almidones de papa modificada con amilasa y amilosubtilina en yogures bajos en grasa, obteniendo resultados similares a los obtenidos con almidones nativos (Nikitina *et al.*, 2019). La investigación de Khatoon *et al.* (2009) muestra las propiedades de almidones de arroz, yuca, y maíz, modificados enzimáticamente por hidrólisis parcial con α -amilasas. Como resultado se encontró

que el almacenamiento y la resistencia al flujo en muestras con 20% de sólidos de almidón se reducen al ser tratadas enzimáticamente.

Las modificaciones químicas son variadas y su modificación química va en función de los requerimientos fisicoquímicos y a la matriz alimenticia que se le valla aplicar. Como ejemplo un estudio realizado por Yang et al. (2016), investigaron tres tipos de modificación química en almidón de arroz (hidroxipropilados, fosforilados e hidroxipropilfosforilados). Se evaluó sus propiedades fisicoquímicas y estructurales; se halló que estas mejoran después de la modificación química, así como, la estabilidad de congelación-descongelación, y la optimización de la temperatura de inicio y la entalpía de gelatinización, se redujeron al aumentar el tiempo de reacción.

Se ha realizado entrecruzamiento mixto de almidón en la Esterificación del almidón con ácido ortofosfórico de potasio para producir fosfato de monoalmidón, (b) Reacción con cloruro de fosforilo para producir fosfato de dialmidón, o (c) tratamiento combinado de a y b para producir fosfato de dialmidón de fosfato. Este estudio reveló que el almidón entrecruzado tiene una estabilidad, dureza y adhesividad mejoradas de los geles formados a partir de él, y un poder de hinchamiento, solubilidad, temperatura de pegado, calor de gelatinización y retrogradación reducidas (Liu et al., 1999). En otro estudio se analizó las propiedades de retrogradación del almidón modificado con adipato de dialmidón acetilado (E1422), que es un almidón de entrecruzamiento mixto entre el anhídrido acético y anhídrido de ácido adípico el cual resiste altas temperaturas.

La modificación de almidón con octenil succinico anhídrido (OSA), hace que tenga un carácter anfifílico y pueda adsorber fácilmente la fase acuosa, también hay informes que muestran que tales partículas de almidón modificadas con OSA se pueden usar para estabilizar emulsiones O/W (Saari et al., 2016; Marefati et al., 2017). Esta modificación se ha realizado en almidón de arroz, maíz, tapioca, patata, amaranto y trigo. Los almidones modificados con anhídrido octenil succínico (OSA) se han utilizado en una variedad de formulaciones, particularmente como aditivo alimentario, durante los últimos 50 años. Como ejemplo, un estudio realizado por Imbachí-Narváez et al. (2019), encontró un incremento significativo en la viscosidad

de bebidas con lacto suero fermentado con adición de almidón de yuca OSA (octenil succinato anhídrido), y encontró un progreso de la textura y consistencia del producto.

Otro estudio. Presenta un resumen esquemático de varias vías de esterificación del almidón. (Haroon et al., 2016) que incluye una recopilación de los diversos agentes esterificantes, incluidos ácido cítrico, cloruro de ácido, ácido acético, anhídrido de ácido. Como también, la modificación de almidón por esterificación de ácidos grasos de cloruro de octanoílo, lauroílo y palmitoílo fueron investigados por Namazi et al. (2011). Estos almidones exhibieron varios niveles de hidrofobicidad, dependiendo del grado de sustitución.

Singh et al. (2004) estudiaron el efecto de la acetilación en almidones de maíz y papa en hidróxido de sodio. Evaluaron las propiedades reológicas, viscoelásticas, la microestructura y sus características sensoriales de las muestras, e informaron que las propiedades observadas fueron mayores en el almidón de papa en comparación con el almidón de maíz, lo que se atribuyó a la mayor cristalinidad del almidón de maíz. Se concluyó que el cambio en las propiedades funcionales del almidón acetilado depende de la morfología del almidón nativo (asociado con el origen botánico), así como de otros factores, incluida la concentración de reactivos, el tiempo de reacción y el pH.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Establecer el efecto de la adición de almidón modificado de yuca en las propiedades de calidad y aceptación sensorial de una bebida fermentada de soya

2.2 Objetivos específicos

1. Determinar la concentración de almidón de yuca modificado sobre las propiedades de calidad en una bebida fermentada de soya comparada a un patrón comercial.
2. Evaluar el comportamiento de las propiedades de calidad durante el almacenamiento de las bebidas fermentadas de soya con almidones de yuca modificados en su formulación.
3. Determinar la aceptabilidad sensorial de bebidas fermentadas de soya con almidones de yuca modificados en su formulación.

3. Efecto de la concentración de almidones de yuca modificado en las propiedades fisicoquímicas de una bebida fermentada de soya

3.1 Resumen

Las bebidas fermentadas de soya son una alternativa para mejorar la salud intestinal, y reducir los factores anti nutricionales de esta leguminosa. No obstante, esta bebida muestra alta sinéresis y baja viscosidad. Para mejorar estas características de calidad, se podrían adicionar almidones de yuca modificados empleados como espesante y/o estabilizante en el producto. El objetivo principal es establecer el efecto de la adición de almidones de yuca modificados en las propiedades fisicoquímicas de una bebida fermentada de soya. Se realizaron pruebas preliminares variando la concentración (0.8%, 1.0%, 1.2%), de 3 tipos de almidón de yuca modificado (anhídrido octenil succínico (OSA), almidón entrecruzado de adipato de dialmidón acetilado (ADA) y almidón entrecruzado-sustituido (mixto)). La fermentación se realizó a partir de un cultivo comercial de microorganismos iniciadores y cultivos probióticos. Bajo un análisis factorial de dos factores (tipo de almidón y concentración) y 3 niveles se realizó el análisis estadístico evaluando parámetros de calidad como pH, acidez, sólidos solubles, sinéresis y viscosidad comparables a bebidas lácteas comerciales. El almidón OSA tuvo una sinéresis menor y una viscosidad mayor frente a los otros almidones para cada una de las concentraciones. Por otra parte, la adición del 1.0% del almidón OSA y mixto, así como del almidón ADA al 1.2% son comparables al control comercial de soya (SC).

Palabras clave: Almidón modificado de yuca, parámetros fisicoquímicos, microorganismos fermentadores, probióticos.

3.2 Abstract

Fermented soybean beverages are an alternative to improve intestinal health and reduce the anti-nutritional factors of this legume. However, they show high syneresis and low viscosity. Modified cassava starches could be added as a thickener and/or stabilizer to improve the quality product characteristics. The aim was to assess the effect of the modified cassava starch addition on the physicochemical properties of a fermented soybean beverage. Preliminary tests were carried out, varying the concentration (0.8%, 1.0%, 1.2 %), of 3 types of modified cassava starch: Octenyl succinic anhydride (OSA), acetylated distarch adipate (ADA) cross-linked starch, and substituted- crosslinked starch (Mixed). A commercial culture of starter microorganisms and probiotic cultures were used in the fermentation process. Under a factorial analysis of two factors (type of starch and concentration) and 3 levels, the statistical analysis was carried out evaluating quality parameters such as pH, acidity, soluble solids, syneresis, and viscosity comparable to commercial fermented dairy beverages. OSA starch had a lower syneresis and a higher viscosity than the other starches for each concentration. Furthermore, the addition of 1.0% OSA and mixed starch, as well as 1.2% ADA starch, is comparable to the commercial soybean beverage control (SC).

Keywords: Modified cassava starch, physicochemical parameters, fermenting microorganisms, probiotics.

3.3 Introducción

En la actualidad se han estado desarrollando bebidas de origen vegetal como sucedáneos de bebidas lácteas, entre ellas la bebida de soya que tiene importancia por su alto valor nutricional y una amplia gama de beneficios para la salud. Sin embargo, la presencia de antinutrientes, como los inhibidores de tripsina, aumenta la preocupación desde el punto de vista nutricional. Los inhibidores de tripsina causan una baja tasa de eficiencia proteica e hipertrofia pancreática (Aderibigbe, et al., 2020). Para reducir o eliminar estos factores antinutricionales se necesitan tratamientos térmicos más intensivos que la pasteurización convencional, debido a

la alta estabilidad térmica de los inhibidores de tripsina. No obstante, a pesar de la reducción y degradación de los inhibidores de tripsina, la bebida procesada presenta una reducción de la cinética de solubilidad proteica de la soya, que sirve también como control de calidad de la presencia de factores antinutricionales en productos a base de soya.

A pesar de que actualmente existen tecnologías emergentes como son el procesamiento de alta presión (HPP), pulso eléctricos, ultrasonido, entre otros para la inactivación de microorganismos, y factores antinutricionales, este tipo de tecnologías presentan costos elevados (Vanga et al., 2020; Guerrero-Beltrán et al., 2009; Yuan, Chang, Liu y Xu, 2008). La bebida de soya se puede mejorar adicionando hidrocoloides con el fin de mejorar su solubilidad, textura, viscosidad, consistencia y sinéresis (Yuan & Chang, 2010). El efecto de los hidrocoloides sobre el comportamiento de gelificación de los geles de bebida de soya se ha estudiado ampliamente, destacando las propiedades espesantes, estabilizantes y/o gelificante. La función varía de acuerdo a su peso molecular, estructura, compatibilidad, perfil de gelificación, condiciones de dispersión e hidratación que agregan valor a los productos alimenticios (Rodríguez et al., 2003). Dentro de los hidrocoloides, los almidones modificados son ampliamente usados para mejorar las propiedades de productos alimenticios, especialmente, en aplicaciones específicas, para aumentar la resistencia al calor, la capacidad de retención de agua, su viscosidad, minimizar el efecto de sinéresis, entre otras (Cho & Kang, 2022). Por este motivo, se plantea como alternativa el uso de tres tipos de almidones de yuca modificados, por su bajo costo y porque son ideales como espesante y/o estabilizante.

Los almidones modificados tienen diversas aplicaciones en la industria de alimentos. La variedad de modificaciones afecta las propiedades de calidad y la aplicación de una determinada matriz alimentaria. De modo que, es necesario estudiar las propiedades relacionadas con la estructura, propiedades sensoriales y estabilidad durante el almacenamiento del producto; también se debe conocer sus propiedades reológicas durante su producción como es la viscosidad, resistencia a

la cizalla, y las propiedades fisicoquímicas (Abbas *et al.*, 2010). Algunos almidones de papa, yuca, maíz de alto contenido de amilosa, han sido modificados para conseguir propiedades fisicoquímicas adecuadas como: la resistentes a bajas o altas temperaturas de almacenamiento, bajo pH, dar opacidad, entre otras propiedades (Mahmood *et al.*, 2017).

En el presente estudio se evaluó tres tipos de almidones de yuca modificada. El primero es anhídrido octenil succínico (OSA) con una modificación de sustitución, el almidón adipato de dialmidón acetilado (ADA) es entrecruzado y un almidón entrecruzado-sustituido (mixto). Se han reportado distintas aplicaciones y usos de este tipo de almidones, por ejemplo, se ha estudiado la modificación OSA en almidones de maíz destacando su estructura y capacidad emulsionante (Gao *et al.*, 2021) así como también en arroz (McNamee *et al.*, 2018) y la modificación química en yuca, papa, amaranto y trigo (Saari *et al.*, 2016; Marefati *et al.*, 2017). Los almidones modificados con OSA se han empleado como portadores de componentes alimentarios bioactivos (Wang *et al.*, 2011), y en bebidas lácteas con lacto suero fermentado (Imbachí *et al.*, 2018), así como microencapsulante de OSA y maltodextrinas en la liberación de aceites esenciales de rosa (Xiao *et al.*, 2019; Partheniadis *et al.*, 2020). Adicionalmente, se destaca como posible uso en la industria cosmética por su capacidad emulsionante (Monroy-arellano & Espriella-angarita, 2020). Con respecto al almidón modificado de adipato de dialmidón acetilado (ADA) muestra una estabilidad, dureza y adhesividad mejoradas de los geles formados a partir de él, y un poder de hinchamiento, solubilidad, temperatura de empastamiento, calor de gelatinización y retrogradación (Liu *et al.*, 1999), también mejora la resistencia a los procesos mecánicos, de temperatura y pH ácido con mayor estabilidad durante el tiempo de almacenamiento y se utiliza en alimentos como agente de carga, estabilizador y espesante (Zięba *et al.*, 2014; Partheniadis *et al.*, 2020). Dada las diferentes aplicaciones de estos tipos de almidones de yuca modificado, es de interés evaluar el efecto de la adición de tres tipos de almidón modificado de yuca (ADA, OSA, almidón entrecruzado-sustituido) en las propiedades fisicoquímicas de una bebida fermentada de soya variando la concentración (0.8%, 1.0%, 1.2%).

3.4 Materiales y métodos

3.4.1 Materiales

Las materias primas empleadas en la experimentación fueron semillas de soya obtenidas de un mercado local de la ciudad de Bogotá, los almidones de yuca modificados fueron donadas por la empresa Poltec SAS, La Estrella, Antioquia, los cuales fueron almidón con sustitución de anhídrido octenil succínico (OSA) (Gel®Lact), almidón entrecruzado de adipato de dialmidón acetilado (ADA) (Gel®Cream) y almidón entrecruzado-sustituido que es almidón mixto (Gel®Lact XP). Para la fermentación se utilizó un cultivo iniciador liofilizado para inoculación directa con cepas seleccionadas de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* y microorganismos probióticos *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium animalis* (SACCO Lyofast SYAB 1).

3.4.2 Preparación de las bebidas de soya

Las semillas de soya con una calidad física óptima sin defectos fueron seleccionadas cuidadosamente y remojadas durante la noche. Posteriormente, se realizaron varios lavados y se descascararon, se sometieron a precocción a temperatura a ebullición en una solución de bicarbonato al 0.02% p/v durante 15 min (Bolaños et al., 2012). Luego se realizó una molienda en húmedo con el equipo Blixer® a la que se le añadió gradualmente agua de acuerdo a uno de los métodos propuesto por Zhang et al. (2012) con algunas modificaciones. La figura 1 muestra el diagrama de flujo establecido para elaboración de la bebida fermentada de soya.

La obtención de la bebida de soya se realizó filtrando y retirando el residuo sólido (*Okara*) de acuerdo al diagrama de flujo (Figura 1). Se le adicionó azúcar (5,5% p/p), se añadió el almidón de yuca modificado de acuerdo al porcentaje utilizado para cada tratamiento, se mezcló y homogenizó (APV Rannie, Lockerbie, United Kingdom) a 160 bares. El tratamiento térmico se realiza a 85°C durante 15 min de acuerdo al protocolo de Cui et al. (2021).

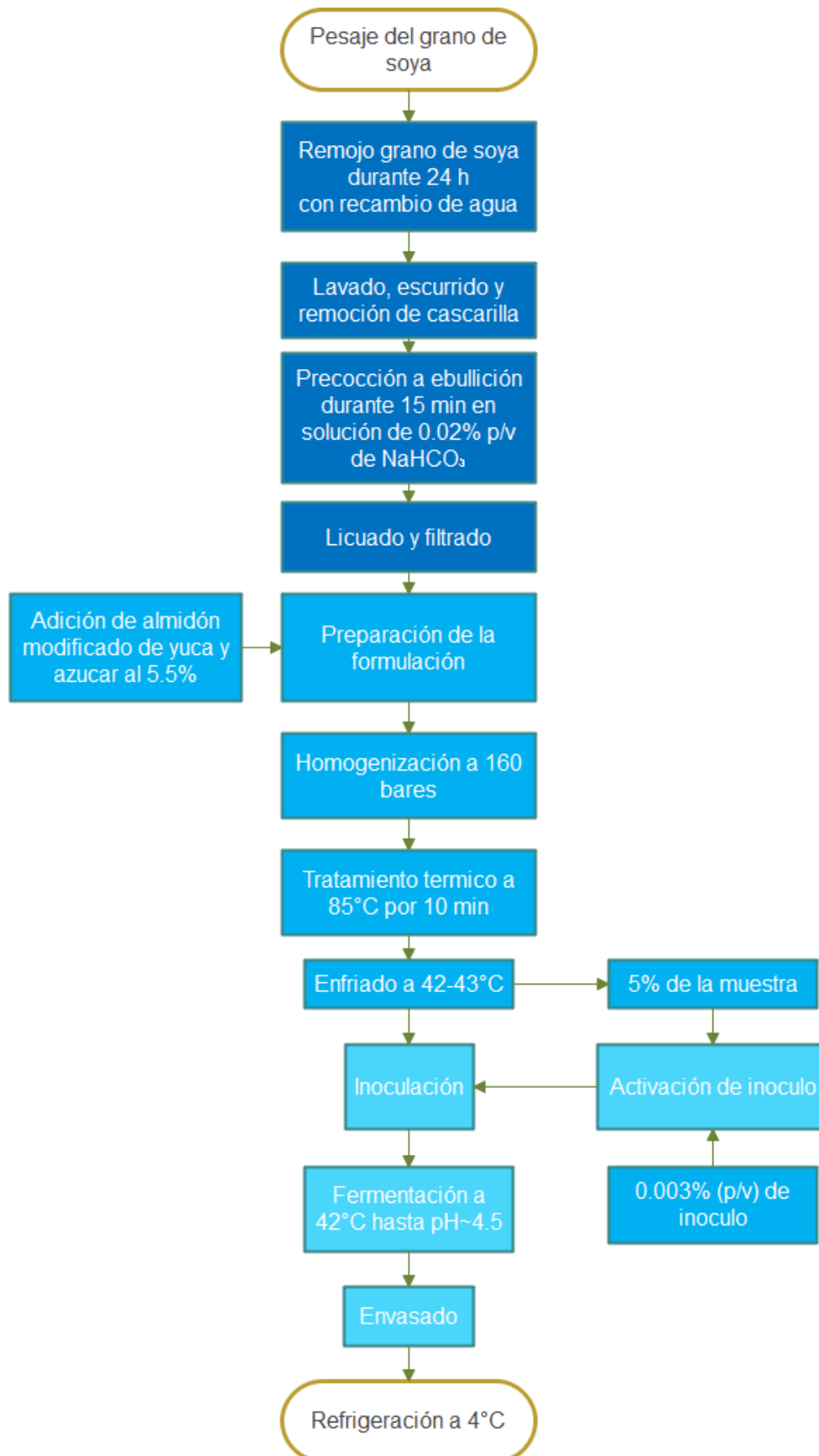


Figura 1. Elaboración bebida fermentada de soya por molienda húmeda.

3.4.3 Fermentadores de la bebida de soya

Posterior al tratamiento térmico la bebida se enfrió a una temperatura de 42 ° C y se inoculó una porción representativa de cultivos comercial de microorganismos iniciadores y probióticos (0,003% p / v) (*Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*, *Bifidobacterium animalis subsp. lactis* y *Lactobacillus acidophilus*). Se inocularon en 100 ml ($-4,97 \pm 0,03$ CFU/ml) activados en un agitador orbital (Thermo Scientific, Solaris 4000). Se vertieron 10 ml en matraces (200 ml) y se incubaron a 42 °C en una incubadora Thermo Scientific 3911. Se vertió en frascos (200 ml) y se incubó a 42°C hasta que alcanzó un pH de 4.5. Luego se almacenó en refrigeración a 4°C para posteriores análisis.

3.4.4 Evaluación de parámetros fisicoquímicos y reológicos

Para la selección de los tratamientos, se tuvo en cuenta una única concentración de almidón de yuca. En la selección se comparó tres tipos de controles comerciales los cuales fueron: control de soya (CS) (Toufree, Bogotá, Colombia), y dos tipos de controles de bebida láctea (CL1) (Yogo-yogo, Alpina, Sopo, Colombia) y CL2 (Pomar, Cajicá-Tabio, Colombia). Para cada uno de los tratamientos y controles se les evaluó parámetros fisicoquímicos.

Los parámetros de calidad fueron: el pH, la acidez titulable, la viscosidad aparente, la sinéresis y los sólidos solubles totales. La medición de pH se evaluó empleando un método potenciométrico (AOAC 981.12) utilizando un medidor de pH con microprocesador (HANNA Instruments). La acidez titulable se determinó de acuerdo al método AOAC 947.05 utilizando el método volumétrico de titulación con una solución estandarizada de hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N. Los resultados se expresan como porcentaje de ácido láctico. La cantidad de sólidos solubles presentes en la bebida comercial se determinó según el método AOAC 22.019, empleando un refractómetro calibrado a 20°C y el resultado se expresó en grados Brix. La sinéresis se determinó por centrifugación de acuerdo a metodología de Joon et al. (2017). La prueba se realizó por triplicado de un peso conocido de la muestra

durante 10 min a 3500 rpm a 4 ° C. Se pesó el líquido sobrenadante y luego se expresa la sinéresis como (g de líquido sobrenadante /muestra)* 100 g de muestra.

La viscosidad aparente se estableció a través de un viscosímetro (Thermo scientific ® Haake Viscotester 550), se realizó un barrido de velocidad de cizallamiento de 0 a 80 s⁻¹ (curva ascendente), seguido de 80 a 0 s⁻¹ (curva descendente) para evaluar el comportamiento de flujo de la bebida comercial y de los tratamientos. Se determinó la viscosidad como la medida en mPa.s alcanzada a 80 rpm por triplicado. Se utilizó la ley de potencia para obtener los parámetros reológicos de la bebida fermentada de soya (Ecuación 1 y 2)

$$\tau = K \left(\frac{du}{dy} \right)^n$$

Ecuación 1. Ley de la potencia. Se utiliza en fluidos no newtonianos

Donde τ es el esfuerzo cortante, K es el índice de consistencia, n es índice de comportamiento al flujo y du/dy es la razón de cambio de la velocidad cortante. Así mismo, se puede predecir la viscosidad aparente a partir de la siguiente ecuación por la misma ley de potencias.

$$\eta = K \varepsilon^{n-1}$$

Ecuación 2. Viscosidad aparente predicho. Donde ε es la velocidad de corte.

Cada tratamiento se realizó por triplicado, así mismo los parámetros de pH, acidez titulable, viscosidad, sinéresis y sólidos solubles totales se evaluó por triplicado y se mostraron como medias y su desviación estándar.

3.4.5 Análisis estadístico

El diseño experimental fue un diseño factorial completamente aleatorizado de 3² con bloques (3 repeticiones por cada tratamiento), donde los factores son el tipo de almidón: por sustitución con anhídrido octenil succínico (OSA), almidón mixto entrecruzado de adipato de dialmidón acetilado (ADA) y almidón entrecruzado-

sustituido (Mixto). Las concentraciones de cada uno de los almidones de yuca modificados fueron de 0.8%, 1.0% y 1.2%.

Para verificar la homogenización de los datos se utilizó la prueba de Bartlett, la cual es una prueba inferencial para evaluar la igualdad de las varianzas para una variable calculada entre grupos o factores. La prueba de Levene tiene como supuesto evaluar si hay homogeneidad de varianza en los datos bajo la hipótesis nula. Como hipótesis alternativa si los datos son inferiores a un grado de significancia de 0.05 es poco probable que las diferencias en las variaciones obtenidas en las muestras se hayan producido a partir de un muestreo aleatorizado para una población con varianzas iguales.

El análisis entre factores para cada uno de los parámetros se realizó a través de un Anova bajo el modelo II de interacción entre factores para determinar si hay o no interacción, seguido de la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5%. El análisis estadístico se realizará con Rstudio y los resultados se expresaron como la media \pm desviación estándar.

La prueba unifactorial entre los tratamientos y los controles comerciales se evaluó mediante un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 5%. El análisis estadístico se realizó con el software estadístico Rstudio y se seleccionaron los tratamientos de acuerdo a la media \pm desviación estándar con respecto a los controles comerciales.

3.5 Resultados y discusión

3.5.1 Caracterización de las bebidas fermentadas

Los resultados obtenidos para el pH, acidez, sólidos solubles, sinéresis y viscosidad de cada tratamiento se observan en la tabla 1. Las variables de respuesta de sinéresis y viscosidad aparente fueron estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Por el contrario, las demás variables de respuesta resultaron no significativas; sin embargo, los datos reportados para el parámetros de pH y sólidos solubles a partir de la prueba de normalidad de Shapiro Wilks y prueba de homocedasticidad de

Bartlett, no se obtuvo un comportamiento normal, y no evidencia homogeneidad de la varianza ($p < 0.05$), por lo que la variable respuesta de pH se tomaron como rango que estuvieron entre 4.0 y 4.6 y para sólidos solubles reportados en grados Brix fueron entre 8.8 y 10.5. Por lo tanto, a estas variables se les realizó un análisis estadístico descriptivo.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de la bebida fermentada de soya a partir de los tratamientos de acuerdo al tipo de almidón (ADA, OSA y mixto) y concentración del almidón (0.8%, 1.0% y 1.2%).

Almidón	Concentración (%)	pH	Acidez (%)	Sólidos solubles (°Brix)	Sinéresis (%)	Viscosidad (mPa.s)
ADA	0.8	4.45 ± 0.08 ^a	0.35 ± 0.03 ^a	9.11 ± 0.25 _a	52.28 ± 2.91 ^a	107.54 ± 7.96 ^f
	1.0	4.53 ± 0.06 ^{ab}	0.34 ± 0.03 ^a	9.40 ± 0.43 _a	33.82 ± 2.56 ^b	139.76 ± 9.77 ^e
	1.2	4.50 ± 0.07 ^{ab}	0.36 ± 0.03 ^a	9.93 ± 0.31 _a	27.08 ± 1.72 ^d	185.64 ± 10.53 ^c
OSA	0.8	4.49 ± 0.04 ^{ab}	0.35 ± 0.03 ^a	9.51 ± 0.32 _a	53.24 ± 2.85 ^a	160.00 ± 9.04 ^d
	1.0	4.53 ± 0.05 ^{ab}	0.37 ± 0.03 ^a	9.62 ± 0.18 _a	34.27 ± 2.59 ^b	189.87 ± 11.81 ^{bc}
	1.2	4.53 ± 0.06 ^{ab}	0.37 ± 0.03 ^a	9.97 ± 0.33 _a	29.67 ± 1.85 ^{cd}	241.73 ± 12.34 ^a
Mixto	0.8	4.52 ± 0.07 ^{ab}	0.35 ± 0.03 ^a	9.64 ± 0.50 _a	53.25 ± 2.79 ^a	131.83 ± 11.18 ^e
	1.0	4.52 ± 0.06 ^{ab}	0.36 ± 0.01 ^a	9.61 ± 0.02 _a	34.37 ± 2.85 ^b	180.39 ± 13.81 ^c
	1.2	4.57 ± 0.01 ^b	0.36 ± 0.01 ^a	9.93 ± 0.43 _a	32.87 ± 2.82 ^{bc}	203.80 ± 6.95 ^b
CS		4.46 ± 0.00 ^a	0.38 ± 0.01 ^a	7.10 ± 0.05 ^b	37.58 ± 1.63 ^b	171.63 ± 1.74 ^c
CL1		4.29 ± 0.01 ^c	0.93 ± 0.02 ^b	16.33 ± 0.06 ^c	24.09 ± 2.18 ^d	162.93 ± 2.87 ^d
CL2		4.53 ± 0.01 ^{ab}	0.81 ± 0.01 ^c	7.27 ± 0.06 ^b	43.37 ± 2.75 ^e	211.38 ± 4.17 ^b

*Viscosidad aparente evaluada a 80 s⁻¹ de velocidad de corte a 10°C

A partir de los datos recopilados se realizaron comparaciones múltiples por medio de la prueba Tukey para sinéresis y viscosidad (tabla 1). Primero, como se observa

en el gráfico de efectos para sinéresis (figura 3A), el tipo de almidón modificado no incide en términos generales, excepto en concentración al 1.2%, sin embargo, el factor de concentración de almidón presenta efecto en el porcentaje de la sinéresis, como también, la interacción entre factores (concentración y tipo de almidón) que afectan directamente el porcentaje de sinéresis mostrando diferencias significativas. Desde un análisis más detallado, el almidón ADA 1.2 % obtuvo el menor porcentaje de sinéresis ($27,08 \pm 1,72\%$) junto al tratamiento de almidón OSA 1.2% ($29,67 \pm 1,85\%$), los cuales, se consideran similares al no presentar diferencias significativas entre ambos tratamientos ($p < 0.05$). En contra parte, los tratamientos que presentaron mayor porcentaje de sinéresis fueron los tratamientos con almidón a una concentración del 0.8% (figura 2) además, los tres tipos de almidón a una concentración del 0.8% y 1.0% se consideran iguales sin efecto diferencial para la sinéresis. De acuerdo a otros estudios relacionados a bebidas lácteas, Gomes et al. (2013) compara los parámetros fisicoquímicos de leche de vaca, cabra y una mezcla de los dos tipos de leche, con una sinéresis comparable a este estudio, igualmente, Lobato-Calleros et al. (2014) emplea almidón nativo y almidones modificado y señala una sinéresis proporcionalmente similar al presente estudio, en el que el porcentaje de sinéresis está determinado por la concentración. Por otro lado, Imbachí-Narvárez (2017) emplea el almidón ADA y OSA para la elaboración de una bebida láctea fermentada; pero, de acuerdo al parámetro de sinéresis evaluados concluye que el almidón OSA posee menor sinéresis en comparación al almidón ADA, y de acuerdo al presente estudio el parámetro de sinéresis es mayor y no tiene una diferencia significativa, sino que es dependiente de la concentración. Es necesario aclarar que se está comparando dos matrices diferentes, y por lo tanto, los almidones tienden a comportarse distinto cuando las macromoléculas presentes en el alimento y su disposición están en diferente proporción y conformación (Witczak et al., 2012).

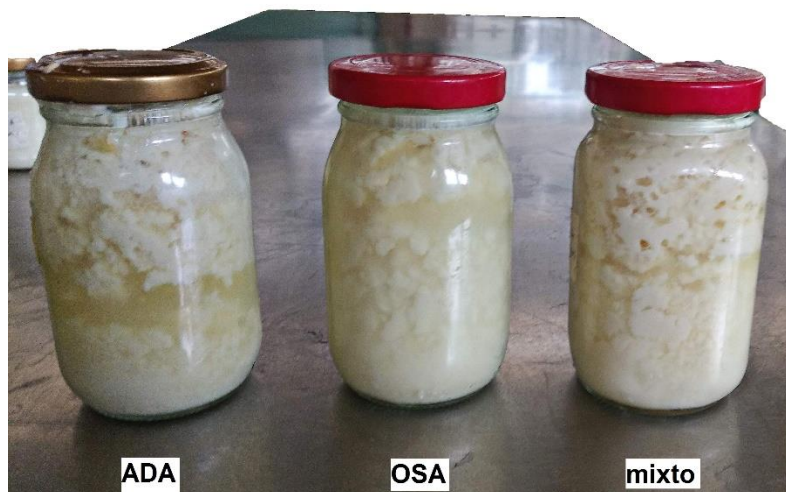
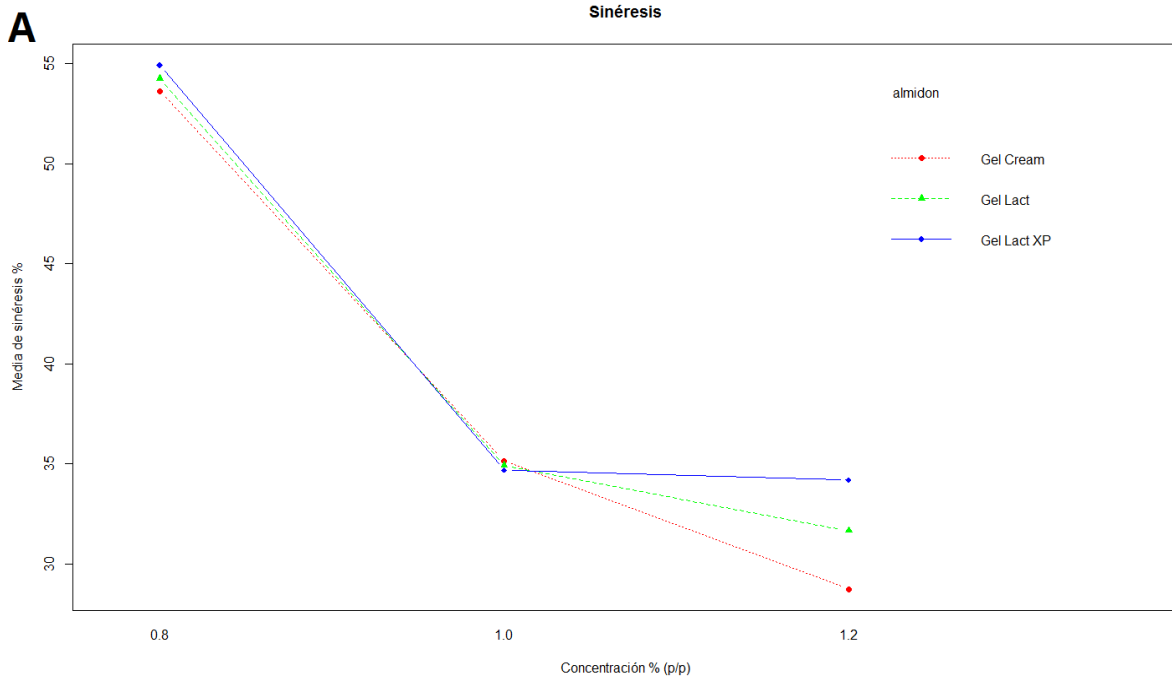


Figura 2: efectos de la sinéresis para tratamientos con los tres tipos de almidón a una concentración de 0.8%.

Así mismo, se reporta en la literatura el uso de distintos almidones empleados como espesante en la elaboración de bebida de soya (Peng & Guo, 2015) o con formulaciones en diferentes concentraciones de almidón nativo de yuca, variando también la concentración de extracto de soya (Drunkler et al., 2012), los resultados relacionados con la sinéresis son menores a medida que se aumenta tanto el almidón, como el extracto de soya, así mismo, la viscosidad aparente es mayor mientras se elevan ambas concentraciones. Sin embargo, la suspensión de interfase entre la fase acuosa y el almidón es inestable. Por otra parte el uso de almidón ADA y OSA se ha aplicado en diferentes materias alimentarias como es la elaboración de panes libres de gluten en la que señala optimización en la estructura y tamaño de la miga, así como ablandamiento y cambio de textura (Witczak et al., 2012); en la extrusión de productos modificación de la estructura tridimensional con almidón ADA (Mali & Grossmann 2001), al formar un fluido viscoelástico bastante fuerte que une estructuras distintas de forma estable y el efecto de ADA en la estructura de camarones (Mi et al., 2022), en la cual señala que protege y previene el daño del tejido por congelamiento, lo que previene la pérdida de agua, conservándolo como un producto bastante fuerte. Del mismo modo el empleo de OSA se ha utilizado como encapsulante de componentes bioactivos y como emulsionante en sistemas coloidales de aceite en agua (Wang et al., 2011). De

acuerdo a lo anterior, se puede emplear para distintas matrices alimentarias y diferentes usos con el fin de aportar diversas características de textura, consistencia y viscosidad, por lo que los resultados pueden depender de las propiedades del sistema base en el cual se emplea (Gao et al., 2021).

Desde otra perspectiva, se debe tener en cuenta que la sinéresis, la viscosidad y la fluidez de la bebida fermentada de soya se ve afectada por distintos factores como es la homogenización al reducir el tamaño de partícula; el tratamiento térmico que permite la inactivación de microorganismos, así como también la inactivación de proteínas al cambiar su conformación estructural (Y. Zhang & Chang, 2022); el uso de cepas microbianas y el proceso mismo de la fermentación, en la cual se forma el gel, que está relacionado con el pH y el punto isoeléctrico de la mayoría de las proteínas en un rango de pH entre 4.4 y 4.6 (Muroyama et al., 2006), lo que posiblemente explique el desarrollo de la formación del gel. Asimismo, estas características pueden ser mejoradas durante y después de la fermentación por la adición de hidrocoloides



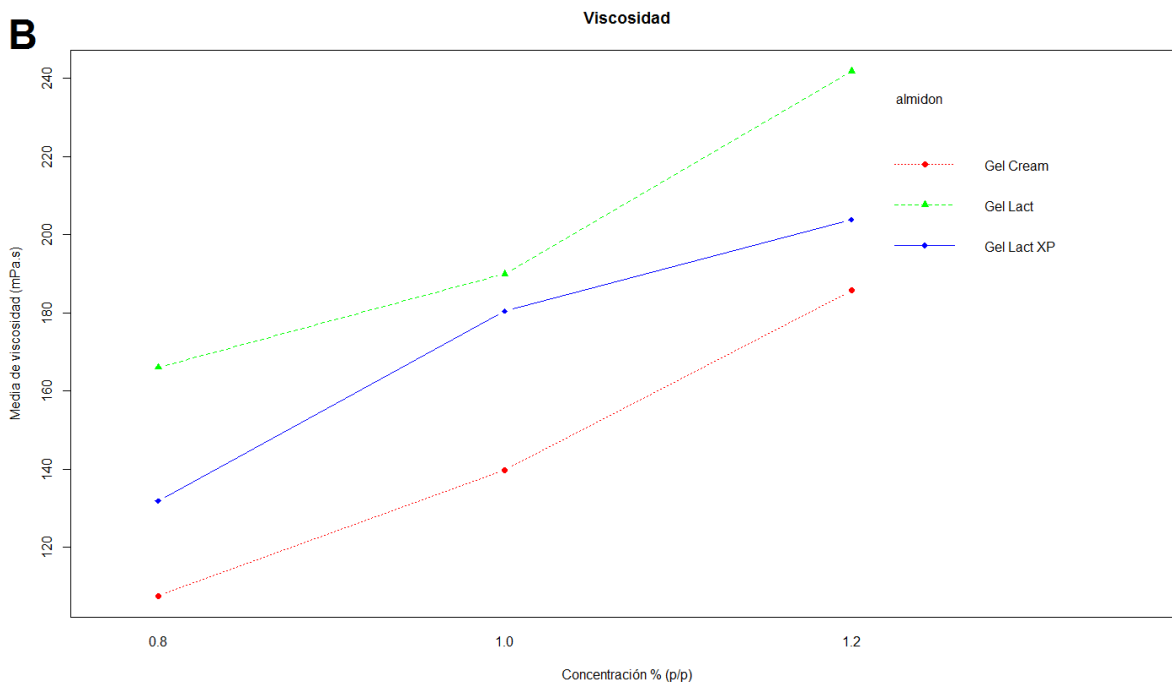


Figura 3: efectos principales en la evaluación de la sinéresis (A) y en viscosidad (B) en la inclusión del tipo de almidón de yuca modificado y concentración en la bebida fermentada de soya.

En cuanto a la viscosidad, se evidencia diferencias significativas (tabla 1), tanto para el tipo de almidón modificado, concentración y la interacción entre factores. Así mismo, se observa los efectos en la viscosidad aparente (figura 3B) donde se infiere que tanto el tipo de almidón como la concentración inciden directamente en la viscosidad de producto. Se identifica que el tratamiento con almidón ADA al 0.8% presenta menor sinéresis con una velocidad de corte a 80 s^{-1} , en contraste, el tratamiento con mayor viscosidad fue el tratamiento con almidón OSA al 1.2% ($241.73 \pm 12.34 \text{ mPa.s}$).

Por otra parte, los patrones comerciales tienen diferente variación en cuanto a sinéresis y viscosidad (tabla 1). El control comercial CS, por ser una bebida fermentada de soya, es de esperar que posea un porcentaje de acidez comparable a las bebidas formuladas en este trabajo, igualmente, la sinéresis y viscosidad aparente ($37.58 \pm 1.63\%$ y $171.63 \pm 1.74 \text{ mPa.s}$ respectivamente) son similares a los datos reportados para los tratamientos a una concentración del 1.0% para cada

uno de los tipos de almidón. Asimismo, los controles comerciales CL1 y CL2 hacen referencia a bebidas fermentadas lácteas con un porcentaje de acidez superior a lo reportado en las bebidas fermentadas de soya, con respecto a la sinéresis y viscosidad se reporta una mayor variabilidad. Tanto para la sinéresis como la viscosidad aparente en los controles lácteos (tabla 1) fue significativamente diferente. Teniendo en cuenta que las bebidas comerciales tienen un procesamiento estandarizado en cada una de las etapas. Primero, cada una de las dos bebidas lácteas utiliza diferentes hidrocoloides, así mismo, los parámetros fisicoquímicos y reológicos de este tipo de bebidas cambia de acuerdo a las condiciones de almacenamiento y el tiempo de vida útil principalmente por procesos posfermentativos lo que incide en la disminución de pH y el aumento de la acidez, afectando en gran medida el porcentaje de sinéresis, viscosidad y textura. Al relacionar los valores evaluados para pH y acidez en los controles comerciales lácteos, efectivamente, el pH del control CL2 es menor al CL1 y el porcentaje de acidez es mayor, lo que afecta directamente las propiedades reológicas. Esto se explica principalmente debido a que la disminución de un pH por debajo del punto isoeléctrico de las proteínas de la leche (pH entre 4.4~4.6) del gel formado en la fermentación comienza a reducirse por efecto propio del medio ácido y aumento de ácido láctico que hace que expulse el agua retenida en el gel formado, lo que induce a la separación de fase, que por tanto se ve reflejado en el aumento de sinéresis y disminución de la viscosidad (Gomes et al., 2013; Peng & Guo, 2015; Yi et al., 2020). Por consiguiente, este tipo de bebidas comerciales muestra variabilidad en cuanto a propiedades reológicas, y no hay un estándar único que las caracterice.

De acuerdo al análisis de datos de los controles comerciales con respecto a los tratamientos analizados para los parámetros de sinéresis, el control de soya (CS) se relaciona con los valores reportados para los tratamientos con ADA, OSA y mixto al 1.0%, así como también con el almidón mixto al 1.2%. En cuanto al control CL1, al tener una viscosidad menor, se relaciona con el almidón ADA y OSA al 1.2%. En cuanto a la viscosidad, el CS está relacionado con el tratamiento OSA y mixto al 1.0% y al ADA 1.2%, mientras que el control CL1 se relaciona con el tratamiento OSA 1.0%, el control CL2 es más similar al almidón mixto 1.2%. Los valores

reportados para viscosidad aparente son consistentes para el almidón OSA (McNamee et al., 2018) y para el ADA (Kapelko-Zeberska et al., 2015), no obstante, las características reológicas pueden variar para el OSA de acuerdo al grado de esterificación de los grupos hidroxilo en los carbonos 2, 3 y 6 en la molécula de glucosa del almidón (Sweedman et al., 2013). El aumento en el número de grupos OH sustituidos por OSA aumenta la hidrofobicidad del almidón nativo creando partículas anfifílicas con propiedades de diferente grado emulsificante (Miao et al., 2014). El empleo de diferentes almidones modificados depende de sus características estructurales que afectan en menor o mayor medida las características reológicas, como por ejemplo el grado de acetilación y entrecruzamiento del almidón ADA, así como otro tipo de modificaciones químicas como el fosfato de dialmidón (E1412), almidón acetilado (E1420), almidón de hidroxipropil (E1440), fosfato de dialmidón de hidroxipropil (E1442). Dependiendo del grado de sustitución, los almidones anteriores se caracterizan por diversas propiedades, como, alta solubilidad, resistencia al impacto de altas temperaturas, baja susceptibilidad a la retrogradación y sinéresis, y viscosidad de las pastas (Koo, Lee, & Lee, 2010). La modificación química ADA en almidón nativo en la evaluación de viscosidad varía de acuerdo al grado de acetilación y entrecruzamiento que tenga. Una viscosidad alta se alcanza con un grado de acetilación medio (6%), pero, a un nivel alto (12%) su viscosidad baja (Kapelko-Zeberska et al. 2015), Adicionalmente, la viscosidad en la preparación de ADA retrogradado presenta una amplia gama de grados de acetilación junto con el aumento del entrecruzamiento del almidón (Witczak et al., 2012).

3.5.2 Esfuerzo cortante

La curva de viscosidad aparente de una bebida de soya fermentada se determina al ajustar la velocidad de corte entre $0,01$ a 80s^{-1} (figura 4A). A partir de los datos experimentales arrojados por el viscosímetro, se obtuvo una función para cada uno de los tratamientos de esfuerzo cortante en función de la velocidad cortante a través de la ley de potencias (ecuación 1). Bajo las mismas condiciones de medición, el esfuerzo cortante aumenta en función de velocidad cortante, por otro lado, la

viscosidad aparente de los nueve tratamientos inicialmente es alta, pero disminuye rápidamente a medida que aumenta la velocidad de corte (figura 4B).

Se determinaron las relaciones entre esfuerzo cortante y los valores de velocidad de cizallamiento para bebidas fermentadas de soya y se predijeron constantes reológicas para describir este comportamiento mediante el ajuste de la ley de potencia (Tabla 2).

Siguiendo el modelo reológico de la ley de la potencia (ecuación 2), se determinó por iteración para cada uno de los tratamientos el índice de consistencia (K) y el índice de comportamiento del flujo (n). Los resultados se muestran en la tabla 2. Así mismo a partir de la ecuación 3 se predice la viscosidad aparente a 80s^{-1}

Tabla 2. Datos predictivos de acuerdo al modelo de ley de potencia para los tratamientos y controles comerciales.

Tratamiento	K (Pa.S ⁿ)	n	R ²	η (Pa.s) a 80 s^{-1}
ADA 0,8%	0,5013	0,6410	0,9885	0,10394
OSA 0,8%	3,9130	0,2566	0,9705	0,15058
Mixto 0,8%	2,1961	0,3422	0,9858	0,12298
ADA 1,0%	3,5164	0,2593	0,9649	0,13694
OSA 1,0%	6,9690	0,1840	0,9601	0,19513
Mixto 1,0%	4,1277	0,2788	0,9633	0,17506
ADA 1,2%	2,6398	0,3902	0,9907	0,18244
OSA 1,2%	3,0363	0,4266	0,9826	0,24613
Mixto 1,2%	2,9684	0,3925	0,9661	0,20725
CS *	5,6048	0,2675	0,9809	0,22621
CL1	3,8898	0,2731	0,9757	0,16088
CL2	3,2454	0,3709	0,9884	0,20605

* El modelo predictivo para para el CS fue de 30s^{-1} .

Como se observa en la tabla 2 el modelo predictivo en general para todos los tratamientos funciona con un índice de corte de 80s^{-1} (figura 4A), excepto para el CS, el cual es válido a una velocidad de corte de 30s^{-1} , debido a que la velocidad de corte superior no varía con relación al esfuerzo cortante y permanece constante, tal como se muestra en la figura 4A con el control CS.

De acuerdo a las constantes predichas para cada una de los tratamientos, se observa que las muestras con el almidón OSA tienen mayor valor del índice de consistencia (k) para todas concentraciones evaluadas con respecto a las bebidas con almidones ADA y mixto, es decir, que los tratamientos con almidón OSA poseen mayor consistencia, mayor viscosidad, cremosidad y por ende una mejor textura. Del mismo modo el almidón mixto (entrecruzado-sustituido) posee una viscosidad e índice de consistencia intermedia entre los otros dos tipos de almidones para cada concentración correspondiente. El almidón ADA exhibe un menor índice de consistencia y por lo tanto menor viscosidad para cada una de las concentraciones. Así mismo, todas las muestras presentaron un índice de comportamiento al flujo (n) menor a 1, característico de fluidos pseudoplásticos.

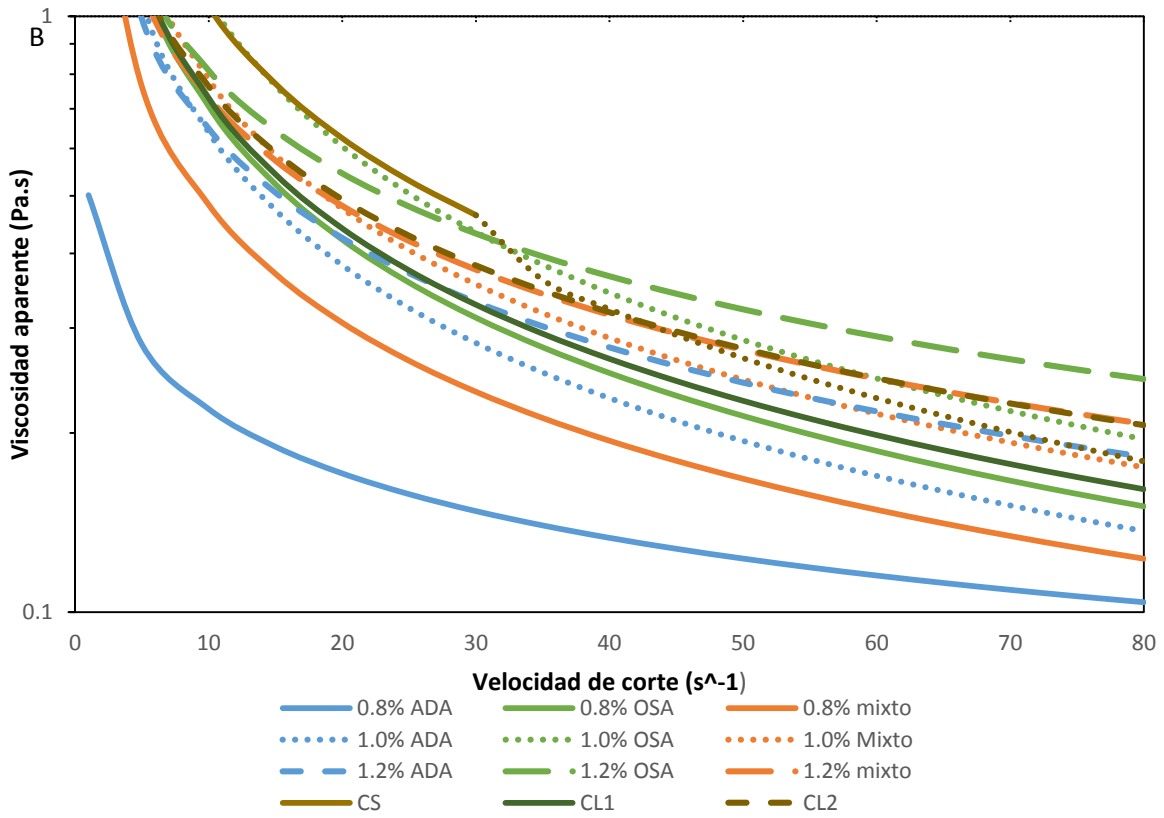
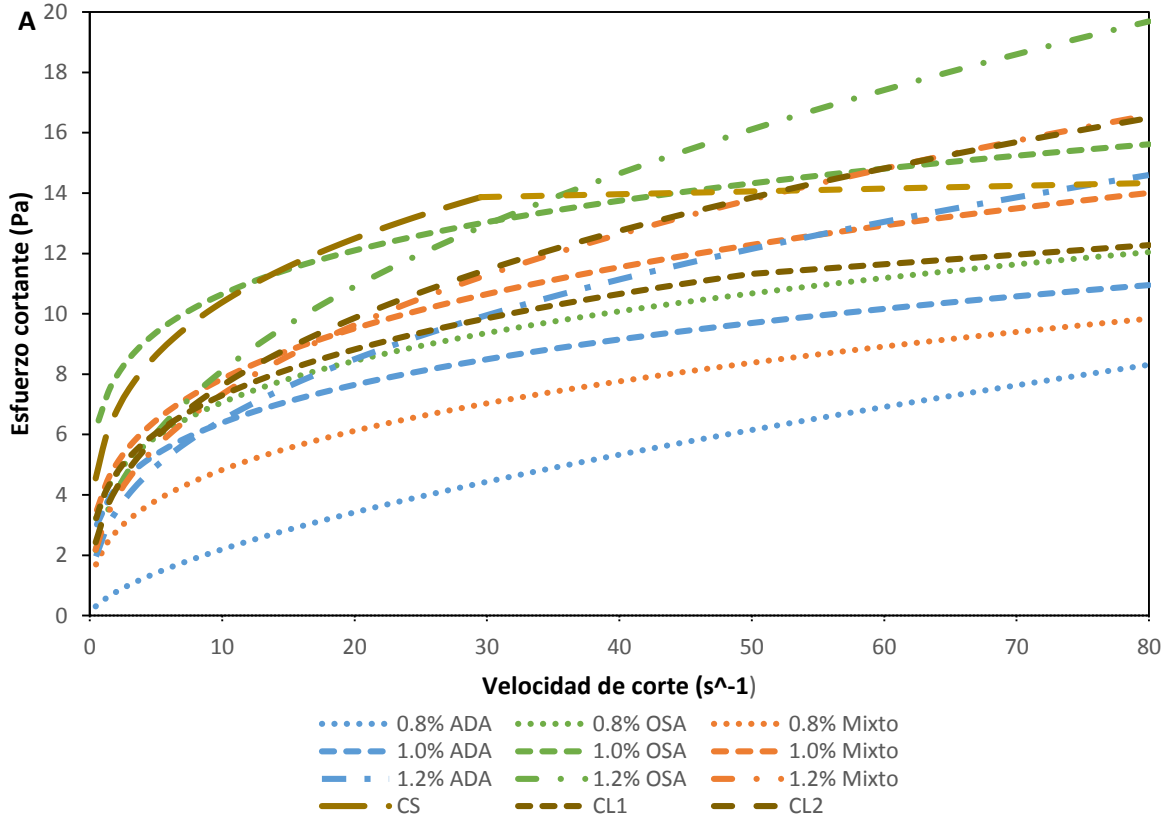


Figura 4. A. Esfuerzo cortante en función de la velocidad de corte para tratamientos con almidón al 0.8%. **B.** Influencia de la velocidad de corte en la curva de viscosidad aparente para tratamientos con 1.0% de almidón.

Los datos empíricos se convirtieron en funciones de viscosidad (viscosidad aparente en función de velocidad de corte). Las curvas de viscosidad se presentan (Fig. 4B) de acuerdo con los datos predichos por el modelo de la ley de potencias para K y n ; se observó que la viscosidad disminuye a medida que aumenta la velocidad de corte.

La concentración del almidón de yuca modificado afecta la fluidez de la bebida fermentada al tener mayor cantidad de moléculas suspendidas en el medio acuoso, así como también, las diferentes interacciones moleculares que se puedan dar entre las partículas. Estas interacciones intermoleculares afectan directamente en la fluidez y viscosidad al aplicar un esfuerzo cortante que influyen en sus características de adelgazamiento por cizallamiento (Chen et al., 2023). Al comparar, el esfuerzo cortante de los nueve tratamientos, se evidencia un aumento en la velocidad de corte, lo que indica que todas las muestras tienen un comportamiento al flujo pseudoplástico. Este hallazgo puede explicarse por el comportamiento no newtoniano (alineación inducida por cizalla), característico de bebidas con fermentación láctica (Muroyama et al., 2006; Mitra et al., 2022), el cual es consistente con la viscosidad aparente.

Las interacciones intermoleculares está dada primero por las proteínas propias de la soya, las cuales son principalmente globulinas como son la glicinina y la beta-conglicinina, los residuos apolares de estas proteínas se orientan hacia el interior (hidrófobos), y los polares hacia el exterior (hidrófilos) (Vasconcelos et al., 1997; Jia et al., 2022). Así mismo, el almidón tiene la característica de adsorción de la fase oleosa y acuosa mejoradas con la modificación de anhídrido octenil succinato (OSA), el cual actúa como un emulsionante y estabilizante en la interface aceite/agua por las partículas y la estabilidad de la gota (Moraes Filho et al., 2019; Marefati et al., 2017). Esta estabilidad dentro de la matriz se debe principalmente a los ácidos grasos de la soya y a las proteínas con parte hidrofóbicas, evitando la

floculación, la retrogradación y la formación de grumos de almidón por fuerza electrostática entre las partículas. Por otra parte, el almidón de adipato de dialmidón acetilado (ADA) forma una red tridimensional que aumenta la elasticidad del sistema líquido estable durante el tiempo de almacenamiento (Partheniadis et al., 2020; Kapelko-Zeberska et al. 2015), logrando, una capacidad más amplia de retención de agua en el gel formado. Cuando la bebida de soya se acidifica por acción de la fermentación, generalmente expulsa el agua retenida en el gel a un pH bajo, pero, la red tridimensional formada por el almidón ADA, tiene la capacidad de retener el agua durante el almacenamiento debido al entrecruzamiento que posee, contribuyendo a conservar la calidad del producto en su almacenamiento.

3.6 Conclusión

Según los resultados de este estudio, la bebida fermentada de soya con adición de almidones de yuca modificados a diferentes concentraciones, no influye directamente en el pH, la acidez y los sólidos solubles. Estos parámetros, dependen de las condiciones de proceso como tiempos y procesos de fermentación.

Los tratamientos con menor sinéresis fueron el almidón ADA y OSA al 1.2% sin diferencia significativa comparable al CL1. El tratamiento con mayor viscosidad fue el tratamiento OSA 1.2% con un valor de 241.73 ± 12.34 mPa.s. Finalmente, los tratamientos similares a la bebida control de soya (CS) tanto para sinéresis como para viscosidad fueron el almidón OSA, mixto al 1.0% y el ADA al 1.2%.

A partir del modelo reológico de ley de potencia se predijo la función para cada tratamiento y se demostró que la bebida fermentada de soya tiene una naturaleza pseudoplástica de adelgazamiento de corte producto del esfuerzo cortante con un índice de comportamiento al flujo menor a 1 similar a productos lácteos. Por otra parte, el índice de consistencia (K) depende tanto de la concentración, como del tipo de almidón modificado.

4. Evaluación de diferentes almidones de yuca modificados sobre las propiedades de calidad de una bebida fermentada de soya.

4.1 Resumen

El procesamiento de la bebida fermentada de soya sometida a temperaturas extremas para la inactivación de factores anti nutricionales sufre una disminución de su solubilidad, para mejorar este defecto se emplean almidones modificados de yuca como espesante. El objetivo principal es evaluar la influencia de la adición de almidón modificado de yuca en las propiedades de calidad de una bebida fermentada de soya. La fermentación de la bebida de soya se realizó a partir de un cultivo comercial de microorganismos iniciadores y probióticos con adición del 1.0% de 3 tipos de almidón modificado de yuca (anhídrido octenil succínico (OSA), almidón entrecruzado de adipato de dialmidón acetilado (ADA), almidón entrecruzado-sustituido) y un almidón nativo, almacenadas a 4°C por tres semanas. Durante el almacenamiento se evaluó parámetros de calidad como pH, acidez, sólidos solubles, sinéresis, viscosidad aparente y tamaño de partícula; asimismo, se evaluó la microestructura, la calidad microbiológica, y finalmente, se realizó una prueba sensorial a consumidores. Durante el tiempo de almacenamiento el pH disminuyó y la acidez aumentó en respuesta a procesos post-fermentativos, la sinéresis tuvo diferencias significativas con respecto al almidón nativo, pero no entre los demás tratamientos, la viscosidad mostró diferencias significativas para cada tratamiento ($P < 0.05$). La calidad microbiológica del producto estuvo por debajo del límite de aceptación regulatorio. El almidón de yuca nativa tuvo mayor sinéresis y menor viscosidad durante el tiempo de almacenamiento, el tratamiento OSA tuvo mayor viscosidad, pero tuvo gran variación al final del tiempo de vida con respecto a ADA. En cuanto al almidón mixto tuvo características intermedias con alta viscosidad y estable durante el almacenamiento. El tratamiento con almidón OSA

tuvo mayor aceptación general en la prueba sensorial, pero la calificación de aceptación general es igual al mostrado por el almidón mixto.

Palabras clave: Almidón de yuca modificado, parámetros fisicoquímicos, microorganismos fermentadores, probióticos.

4.2 Abstract

The processing of the fermented soybean beverage subjected to extreme temperatures for the inactivation of anti-nutritional factors suffers a decrease in its solubility, to improve this defect, modified cassava starches are used as a thickener. The main objective is to evaluate the influence of the addition of modified cassava starch on the quality properties of a fermented soybean beverage. The fermentation of the soy beverage was carried out from a commercial culture of starter microorganisms and probiotics with the addition of 1.0% of 3 types of modified cassava starch (octenyl succinic anhydride (OSA), crosslinked starch of acetylated distarch adipate (ADA), crosslinked-substituted starch) and a native starch, stored at 4°C for three weeks. During storage, quality parameters such as pH, acidity, soluble solids, syneresis, apparent viscosity, and particle size were evaluated; likewise, the microstructure and microbiological quality were evaluated, and finally, a sensory test was carried out on consumers. During the storage time the pH decreased and the acidity increased in response to post-fermentative processes, the syneresis had significant differences concerning the native starch, but not between the other treatments, the viscosity showed significant differences for each treatment ($P < 0.05$). The microbiological quality of the product was below the regulatory acceptance limit. The native cassava starch had higher syneresis and lower viscosity during the storage time, and the OSA treatment had higher viscosity but had a great variation at the end of the lifetime with respect to ADA. The mixed starch had intermediate characteristics with high viscosity and stability during storage. The treatment with OSA starch had greater general acceptance in the sensory test, but the general acceptance rating is the same as that shown by the mixed starch.

Keywords: Modified cassava starch, physicochemical parameters, fermenting microorganisms, probiotics.

4.3 Introducción

En la actualidad se han estado desarrollando bebidas de origen vegetal como sucedáneos de bebidas lácteas, entre ellas la bebida de soya que tiene importancia por su alto valor nutricional y una amplia gama de beneficios para la salud. Sin embargo, la presencia de antinutrientes, como los inhibidores de tripsina, aumenta la preocupación desde el punto de vista nutricional. Los inhibidores de tripsina causan una baja tasa de eficiencia proteica e hipertrofia pancreática (Aderibigbe, et al., 2020). Para reducir o eliminar estos factores antinutricionales se necesitan tratamientos térmicos más intensivos que la pasteurización convencional, debido a la alta estabilidad térmica de los inhibidores de tripsina. No obstante, a pesar de la reducción y degradación de los inhibidores de tripsina, la bebida procesada presenta una reducción de la cinética de solubilidad proteica de la soya, que sirve también como control de calidad de la presencia de factores antinutricionales en productos a base de soya.

A pesar de que actualmente existen tecnologías emergentes como son el procesamiento de alta presión (HPP), pulso eléctricos, ultrasonido, entre otros para la inactivación de microorganismos, y factores antinutricionales, este tipo de tecnologías presentan costos elevados (Vanga et al., 2020; Guerrero-Beltrán et al., 2009; Yuan, Chang, Liu y Xu, 2008). Por lo que la baja solubilidad de la bebida de soya procesada se mejora a partir de la adición de hidrocoloides con el fin de mejorar la textura, viscosidad, consistencia y sinéresis de la bebida (Yuan & Chang, 2010). El efecto de los hidrocoloides sobre el comportamiento de gelificación de los geles de bebida de soya se ha estudiado ampliamente, destacando las propiedades espesantes, estabilizantes y/o gelificante. La función varía de acuerdo a su peso molecular, estructura, compatibilidad, perfil de gelificación, condiciones de dispersión e hidratación que agregan valor a los productos alimenticios (Rodríguez et al., 2003). Dentro de los hidrocoloides, los almidones modificados son

ampliamente usados para mejorar las propiedades de productos alimenticios, especialmente, en aplicaciones específicas, para mejorar la resistencia al calor la capacidad de retención de agua, aumentar su viscosidad, minimizar el efecto de sinéresis, entre otras (Cho & Kang, 2022).

Igualmente, los almidones nativos son ampliamente utilizados en aplicaciones de la industria alimentaria. Sin embargo, los defectos de los almidones no modificados presentan baja insolubilidad en agua fría; falta de consistencia pastosa y estabilidad cuando se dispersa y se calienta en agua; pérdida de viscosidad por ácidos o cizallamiento mecánico; falta de claridad y tendencia a retrogradar durante el almacenamiento; y la falta de emulsificación han limitado su uso en muchas aplicaciones comerciales. Por lo anterior, el desarrollo de almidones modificados tiene diversas propiedades funcionales deseables como solubilidad, textura, adhesión, dispersión y tolerancia al calor (Wang et al., 2011). La variedad de modificaciones afecta las propiedades de calidad y la aplicación de una determinada matriz alimentaria. De modo que, es necesario estudiar las propiedades relacionadas con la estructura, propiedades sensoriales y estabilidad durante el almacenamiento del producto; también se debe conocer sus propiedades reológicas durante su producción como es la viscosidad, resistencia a la cizalla, y las propiedades fisicoquímicas a las altas temperaturas (Abbas *et al.*, 2010). Algunos almidones de papa, yuca, maíz de alto contenido de amilosa, han sido modificados para conseguir propiedades fisicoquímicas adecuadas como: la resistentes a bajas o altas temperaturas de almacenamiento, bajo pH, dar opacidad, entre otras propiedades (Mahmood et al., 2017).

A partir de lo anterior, se plantea una alternativa al uso de almidones modificados de yuca empleados en una bebida fermentada de soya. Estos almidones modificados han mostrado resultados satisfactorios como espesante y/o estabilizante en otras matrices alimentarias. Uno de los almidones evaluados es el almidón octenil succínico (OSA), preparado por reacción de almidón con anhídrido octenil succínico (OSA), es uno de los derivados anfifílicos más importantes al tener grupos sustituidos de octenil succinato en lugares hidroxilo del almidón, el cual

adquiere hidrofobicidad en estas regiones con capacidad emulsionantes (Shi & He, 2012; Wang et al., 2011), así mismo, la modificación OSA cambia la carga del almidón y su fuerza intersuperficial que es más atractiva en soluciones de alta fuerza iónica (Nilsson y Bergenståhl, 2007; Miao et al., 2014; citado por McNamee et al., 2018). Igualmente esta permitido en aplicaiones alimentarias con un grado de sustitución hasta del 3% (Ovando-Martinez et al., 2017). El almidón OSA tiene la característica de gelatinizar a una temperatura más baja que los almidones nativos (Sweedman et al., 2013), son más suaves, con una textura más regular y se agregan menos que los almidones nativos. Su principal característica estructural se caracteriza por tener grupos hidrofílicos e hidrofóbicos con propiedades emulsionantes, utilizado como encapsularte de componentes bioactivos (Wang et al., 2011).

Por otra parte, el almidón adipato de dialmidón acetilado (ADA), se da a partir de la reacción entrecruzada con ácido adípico creando enlaces cruzados en los gránulos del almidón formando redes tridimensionales, que mejoran la resistencia a los procesos mecánicos, de temperatura y pH ácido, así mismo, esta conformación le permite forma geles fuertes, estables y reduce la retrogradación del almidón, con un perfil de viscosidad mucho más estable (Partheniadis et al., 2020). Se ha empleado en alimentos como agente de carga, estabilizador y espesante (Zięba et al., 2014; Partheniadis et al., 2020). Por consiguiente, el objetivo de este estudio fue aplicar almidones de yuca modificados (OSA, ADA, almidón entrecruzado-sustituido y un almidón nativo) en una bebida fermentada de soya y verificar el comportamiento de las propiedades de calidad durante el almacenamiento y la aceptabilidad sensorial de bebidas fermentadas.

4.4 Materiales y métodos

4.4.1 Materiales

Las materias primas empleadas en la experimentación fueron semillas de soya obtenidas de un mercado local de la ciudad de Bogotá, los almidones de yuca modificados fueron donadas por la empresa Poltec SAS, La Estrella, Antioquia, los

cuales fueron almidón con sustitución de anhídrido octenil succínico (OSA) (Gel®Lact), almidón entrecruzado de adipato de dialmidón acetilado (ADA) (Gel®Cream) y almidón entrecruzado-sustituido que es almidón mixto (Gel®Lact XP). Para la fermentación se utilizó un cultivo iniciador liofilizado para inoculación directa con cepas seleccionadas de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* y microorganismos probióticos *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium animalis* (SACCO Lyofast SYAB 1).

4.4.2 Preparación de las bebidas de soya

El desarrollo de la bebida fermentada de soya se llevó a cabo en la planta de vegetales del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. En primer lugar, las semillas de soya con una calidad física óptima sin defectos fueron seleccionadas cuidadosamente y remojadas durante la noche. Posteriormente, se realizaron varios lavados y se descascararon, se someten a precocción a temperatura a ebullición en una solución de bicarbonato al 0.02% p/v durante 15 min (Bolaños et al., 2012). Luego se realizó una molienda en húmedo con el equipo Blixer® a la que se le añadió gradualmente agua de acuerdo a uno de los métodos propuesto por Zhang et al. (2012) con algunas modificaciones.

La obtención de la bebida de soya se realizó filtrando y retirando el residuo sólido (*Okara*). Se le adicionó azúcar (5,5%), se añadió el almidón de yuca modificado de acuerdo al porcentaje utilizado para cada tratamiento, se mezcló y homogenizó (Rannie) a 160 bares. El tratamiento térmico se realiza a 85°C durante 10 minutos siguiendo el protocolo de Cui et al. (2021)

4.4.3 Adición de cultivos iniciadores y probióticos

Posterior al tratamiento térmico la bebida se enfrió a una temperatura de 42 ° C y se inoculó una porción representativa de cultivos comercial de microorganismos iniciadores y probióticos (0,003% p / v) (*Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, *Bifidobacterium animalis subsp. lactis* y *Lactobacillus acidophilus*). Se inocularon en 100 ml ($-4,97 \pm 0,03$ CFU/ml) activados en un

agitador orbital (Thermo Scientific, Solaris 4000). Se vertieron 10 ml en matraces (200 ml) y se incubaron a 42 °C en una incubadora Thermo Scientific 3911 Se vertió en frascos (200 ml) y se incubó a 42°C hasta que alcanzó un pH de 4.5. Luego se almacenó en refrigeración a 4°C para posteriores análisis.

4.4.4 Análisis proximal de componentes principales de la bebida fermentada de soya

La determinación de cada componente del análisis proximal se llevó a cabo por triplicado. Para humedad se realizó a través del método gravimétrico de secado en horno por convección AOAC 32.1.03. La materia inorgánica (cenizas) se efectuó por vía seca de acuerdo al método A.O.A.C. 923.03- 2012. La grasa bruta (o extracto etéreo) se hizo a partir de la materia seca, empleando el método de Soxhlet según la A.O.A.C. 920.39 – 2012. La cuantificación de proteína se llevó a cabo según el método volumétrico de Kjeldahl de la A.O.A.C 984.13-2012. La fibra dietaria total se realizó de acuerdo al método gravimétrico-enzimático A.O.A.C 985.29-2012. Por último, la obtención de los carbohidratos fue por diferencia de componentes.

4.4.5 Evaluación de las propiedades de calidad durante el almacenamiento de las bebidas fermentadas

Los parámetros de calidad evaluados fueron: pH, acidez titulable, consistencia, viscosidad aparente, sinéresis, sólidos solubles, tamaño de partícula y color. Cada uno de los parámetros se evaluó por triplicado durante 21 días de vida útil, en intervalo de 7 días (día 1, 7, 14 y 21)

El pH se evaluó a través del método potenciométrico (AOAC 981.12) utilizando un medidor de pH con microprocesador (Mettler Toledo). El pH de todos los tratamientos de la bebida fermentada se registró al finalizar el periodo de fermentación y posteriormente a intervalos semanales (día 1, 7, 14 y 21). Las mediciones se realizaron por triplicado para cada muestra de bebida fermentada de soya.

La acidez titulable Se determinó de acuerdo al método AOAC 947.05 utilizando el método volumétrico de titulación con una solución estandarizada de hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N. Los resultados se expresan como porcentaje de ácido láctico.

La viscosidad aparente se estableció a través de un viscosímetro (Thermo scientific ® Haake Viscotester 550), se realizó un barrido de velocidad de cizallamiento de 0 a 80 s⁻¹ (curva ascendente), seguido de 80 a 0 s⁻¹ (curva descendente) para evaluar el comportamiento de flujo de la bebida comercial y de los tratamientos. Se determinó la viscosidad como la medida en mPa.s alcanzada a 80 rpm a 10°C por triplicado. Se utilizó la ley de potencia para obtener los parámetros reológicos de la bebida de soya (Ecuación 1 y 2)

$$\tau = K \left(\frac{du}{dy} \right)^n$$

Ecuación 1. Ley de la potencia. Se utiliza en fluidos no newtonianos

Donde τ es el esfuerzo cortante, K es el índice de consistencia, n es índice de comportamiento al flujo y du/dy es la razón de cambio de la velocidad cortante. Así mismo, se puede predecir la viscosidad aparente a partir de la siguiente ecuación por la misma ley de potencias.

$$\eta = K \varepsilon^{n-1}$$

Ecuación 2. Viscosidad aparente predicho. Donde ε es la velocidad de corte.

Donde τ es el esfuerzo cortante, du/dy es la diferencial de la velocidad de corte, K es el índice de consistencia y el parámetro n constituye una propiedad física que caracteriza un comportamiento no newtoniano, y cuando $n < 1$, el fluido es pseudoplástico, característico de yogures.

La sinéresis se determinó por centrifugación de acuerdo a metodología de Joon et al. (2017). La prueba se realizó por triplicado de un peso conocido de la muestra durante 10 min a 3500 rpm a 4 ° C. Se pesó el líquido sobrenadante y luego se expresa la sinéresis como (g de líquido sobrenadante /muestra)* 100 g de muestra.

La cantidad de sólidos solubles presentes en la bebida comercial se determinó según el método AOAC 22.019, empleando un refractómetro calibrado a 20°C y el resultado se expresó en grados Brix.

El color es determinado a través de un colorímetro (Chroma Meter CR-400, Konica Minolta, INC., Japon) en la escala CIELAB para los parámetros L^*a^*b . Así mismo se determina el delta E de acuerdo a la ecuación 3, el cual determina la diferencia de color entre muestras.

$$\Delta E = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}$$

Ecuación 3: delta E, diferencias de color entre muestras.

El tamaño de partícula se determinó a través de la metodología de Lu X., et al. (2019). Se utilizó el analizador de tamaño de partícula por difracción láser MasterSizer 3000 (Malvern Instruments Ltd., Malvern, Worcestershire, Reino Unido) equipado con una unidad de dispersión de muestra húmeda (Malvern Hydro MV, Reino Unido). Las propiedades ópticas se definieron como un índice de refracción de 1,35 (muestra fermentada) y 1,330 (agua dispersante) y un índice de absorción de 0,001 usando un instrumento normal. Se midió en un rango de expansión dinámico de 0,01 a 3500 μm , antes del análisis, todas las muestras se agitaron lo suficiente para garantizar la uniformidad de la muestra. Las muestras se dispersaron en agua destilada a 2000 rpm hasta que se logró un oscurecimiento del 8-25 % y una dispersión diferencial de intensidad de polarización del 8-15 %. La evaluación del tamaño de partícula se realizó el día 7 y el día 21 para cada uno de los tratamientos. Se obtuvo el diámetro medio basado en el área superficial ($D [3,2]$), el diámetro medio basado en el volumen ($D [4,3]$) y el diámetro medio basado en datos estadísticos $D_x (90)$. Entre estos diámetros de partículas, el diámetro modal representa el tamaño de partículas más común observado; en cuanto a los diámetros medios, $D_x (90)$ está muy influenciado por partículas de tamaño grande, $D [4,3]$ está muy influenciado por partículas de tamaño medio, y $D [3,2]$ está más influenciado por partículas más pequeñas. La distribución de tamaño se expresó como la superficie ponderada.

4.4.6 Evaluación de calidad microbiológica

A partir de la muestra, se tomaron 10 g con una pipeta estéril y se transfirieron a un frasco de dilución con 90 ml. de solución de agua peptonada, esta constituye la primera dilución. A partir de la primera dilución se toma 1 ml y se transfiere a un tubo con 9 ml. de agua peptonada constituyendo la segunda dilución. Se vuelve a diluir hasta 10^{-3} . Las diluciones se agitaron y posteriormente fue inoculada cada una de las diluciones a cajas y tubos.

Para el recuento de hongos y levaduras se inoculó 1 ml de cada dilución a cajas y se vertió medio de cultivo PDA, se homogenizo, se dejó solidificar. Y luego se incubaba de forma invertida a 25°C durante 5 días. Luego se realizó el conteo de número de colonias de hongos y levaduras y se multiplica por la inversa de la dilución, los resultados se reportan como UFC/ml (Ministerio de Salud, 2014).

Para coliformes totales se realiza a partir de las diluciones preparadas y se siembra por triplicado en 10 ml de caldo Verde Bilis Brillante al 2% con campana Durham. Se incubaron a 37°C por 24 a 48 horas. A las 48 horas los tubos de fermentación que produjeron gas y presentaron turbidez se toman como positivos (Ministerio de Salud, 2014).

De los tubos positivos de la prueba presuntiva, se inocula con aza microbiológica en caldo Verde Bilis Brillante al 2% con campana Durham. Se Incubaron durante 48 horas a 44°C y se tomaron las lecturas de los tubos que presentan producción de gas y turbidez. La formación de gas y turbidez en el caldo verde bilis brillante confirma la presencia de coliformes totales. Del mismo modo para la prueba confirmativa de doliformes fecales, de los tubos positivos se inocula con un aza en caldo de cultivo triptona con reactivo de Kovacs. En caso de que este último presente anillo rojo es positivo para coliformes fecales. Para identificación y aislamiento se realiza una siembra en placa por estría en medio de cultivo EMB Y se seleccionan colonias características para E coli y se realizan pruebas bioquímicas (indol, vogues, rojo de metilo, citrato de simmons)

4.4.7 Recuento de células viables de microorganismos fermentadores y probióticos

De acuerdo a la metodología descrita por Cui et al. (2021) con algunas variaciones. Se suspendió una muestra representativa de bebida fermentada (1 g) en 9 ml de agua peptonada estéril al 0,1% (p / v) y posteriormente, se diluyó en serie hasta 10^{-7} . Los recuentos de *S. thermophilus* se realizaron mediante la técnica de vertido en placa en siembra de profundidad, después de la incubación aeróbica a 37 ° C durante 48 h en agar M17. La enumeración de *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* se realizó utilizando placas de agar MRS a un pH de 4.5 incubadas a 37 ° C durante 48 h en condiciones anaeróbicas, según la técnica para el recuento de colonias de microorganismos característicos en yogur descrita por la Organización Internacional de Normalización (ISO, 2003). Para la enumeración de *Bifidobacterium sp.*, se hacen diluciones apropiadas en (MRS) preparadas con 2 µg /ml de dicloxacilina y 0,05% (p / v) de L- cisteína de acuerdo a la metodología desarrollada por Sozzi et al. (1990) incubada anaeróticamente durante 48 horas a 37 ° C. La cuantificación de *L. acidophilus* se realizó utilizando agar MRS con adición de 0,1 µg/ml de clindamicina y 10 µg/ml de ciprofloxacina incubadas anaeróticamente a 37 ° C durante 48 h (Köll et al., 2008). Todos los recuentos se realizan por medio de la metodología de conteo de unidades formadoras de colonia (UFC) en placas.

Se efectuó un recuento por duplicado de colonias de microorganismos fermentadores y probióticos del bebida descrita por la Organización Internacional de Normalización (ISO, 2003) después del primer día de fermentación y el último día de vida útil (día 1, 7, 14 y 21) .Los datos se reportaron en unidades logarítmicas de UFC/ml, expresados como la media ± desviación estándar.

4.4.8 Determinación de la microestructura por microscopía electrónica de barrido (SEM)

La microestructura se analizó con un microscopio electrónico de barrido (SEM) siguiendo metodología de (Cui et al., 2021). Primero que todo la bebida fermentada de soya fue secada por un horno de convección (KF 966, Tecnoeka Sri, Borgoricco

Padova, Italia) y luego desengrasado para evitar volátiles a la hora de la toma de la micrografía. Posteriormente, la muestra se montó en una placa de aluminio con una cinta adhesiva de carbón de doble cara y se pulverizaron con oro (hasta 30 nm) usando una capa de oro como recubrimiento para muestras orgánicas. Las observaciones se realizaron utilizando la detección mixta de electrones secundario (SE) y la detección de electrones *retrodispersados* (BSE).

4.4.9 Evaluación sensorial

Para la prueba sensorial todos los tratamientos se les adiciono saborizante de mora natural y colorante roja mora (betanina E162). La evaluación sensorial fue dirigida a 100 consumidores, donde los participantes estuvieron en un rango de edades entre los 18 a 55 años, de los cuales 45 fueron hombres y 55 mujeres. Los tratamientos se codificados con números aleatorios de tres dígitos (Kim et al., 2005). A los participantes de la prueba se les dio instrucciones de cómo realizar la prueba sensorial y se les entrego un formato donde primero se les hizo preguntas preliminares de si eran consumidores habituales de bebidas fermentadas no lácteas, si eran alérgicos a productos a base de soya, si presentaban alguna enfermedad que afectara a sus sentidos y si son fumadores. La evaluación de la prueba sensorial se realizó a partir de una escala hedónica (Lawless & Heymann, 2010) de uno a siete categorizados de la siguiente manera: (1) me disgusta extremadamente, (2) me disgusta mucho, (3) me disgusta, (4) ni me gusta ni me disgusta, (5) me gusta, (6) me gusta mucho, (7) me gusta extremadamente. Se evaluó para los parámetros de aceptabilidad general, textura, sabor, olor y color. Así mismo se preguntó por preferencia de alguno de los productos y si tenía alguna observación (Anexo 4).

4.4.10 Análisis estadístico de los parámetros de calidad para los tratamientos durante su almacenamiento

El diseño experimental utilizado fue un diseño unifactorial con bloques, donde el tipo de almidón modificado es el factor y los días de almacenamiento representa el bloque. Los tipos de almidón fueron; almidón de yuca con sustitución con anhídrido

octenil succínico (OSA), almidón entrecruzado de adipato de dialmidón acetilado (ADA) y almidón entrecruzado-sustituido (mixto) y un almidón nativo de yuca proporcionados por la empresa Poltec SAS (La Estrella, Colombia). La concentración a la cual se adiciono a la bebida de soya fue al 1.0% p/p.

Los parámetros fisicoquímicos y reológicos se obtuvieron por triplicado para cada tratamiento obtenido y se analizó durante 21 días de vida útil, en intervalo de 7 días (día 1, 7, 14 y 21). Los resultados se analizaron estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA) seguido de la prueba de comparaciones múltiples Tukey con un nivel de significancia del 5%. Igualmente, el análisis de los datos reportados por los microorganismos fermentadores y probióticos se obtuvieron por duplicado y analizados por la prueba Tukey. El análisis estadístico se realizó con Rstudio los resultados se expresaron como la media \pm desviación estándar

El análisis de datos para la prueba sensorial se realizó a través de la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, teniendo en cuenta que los datos obtenidos a través del análisis sensorial son datos discretos (Lawless & Heymann, 2010). La comparación entre muestras se realizó a través de la prueba múltiple no paramétrica para cada uno de los parámetros evaluados.

4.5 Resultados y discusión

4.5.1 Análisis proximal

A partir de los tratamientos se realizó el análisis proximal para los cuatro tratamientos (tabla 3). De acuerdo a los datos reportados, en general todos los tratamientos son similares, pero de acuerdo a la prueba Tukey hay ciertas diferencias entre los tratamiento. Para humedad, el tratamiento con almidón nativo, tiene mayor humedad con respecto a los demás tratamientos, no obstante, su humedad es similar con respecto a los tratamientos con almidón ADA y OSA, pero tiene una diferencia significativa frente al almidón mixto, igualmente, el tratamiento con almidón ADA y OSA es similar al almidón mixto. En cuanto a la materia seca, esta corresponde a la diferencia de peso total y la humedad, por lo tanto, las

diferencias entre tratamientos se correlacionan. Estas diferencias se argumentan a partir del procesamiento mismo de la bebida. A pesar del control de factores que pueda afectar el procesamiento, así como pérdidas de materia prima a lo largo de la elaboración de la bebida, es posible tener pérdidas principalmente a lo hora de adicionar la materia prima, así como en los pasos de homogenización de la bebida y pérdida de agua durante el tratamiento térmico.

Para cenizas y grasas no hubo una diferencia significativa entre tratamientos, sin embargo, si hubo diferencias significativas en el contenido de proteína. El contenido más bajo de proteína corresponde al tratamiento con almidón nativo, con una composición también similar al almidón OSA, en contraparte, el almidón ADA y mixto poseen un contenido de proteína mayor, pero, también similar al tratamiento con almidón OSA. En cuanto al contenido de carbohidratos también presenta algunas diferencias. El tratamiento con almidón nativo presenta un bajo contenido de carbohidratos, pero, estadísticamente es similar al almidón ADA y mixto. Por el contrario el tratamiento con almidón OSA tiene mayor contenido de carbohidratos, igualmente y tiene similaridad con los tratamientos de ADA y mixto. Las diferencias mencionadas, son resultado del procesamiento de la bebida, a pesar de que se le haya agregado las mismas cantidades de componentes (agua, soya, almidón y azúcar), estas pérdidas se dan principalmente por la alteración de la humedad de la matriz al momento de realizar el tratamiento térmico, la cual resulta en pérdida de humedad, que conlleva a la alteración de los otros componentes. En la literatura, se encuentra diversa composición tanto para bebida de soya fresca y fermentada, con y sin aditivos extras, con mayor humedad o menor humedad. La importancia nutricional de la bebida de soya se da principalmente por ser fuente de proteínas, sin embargo, en el presente estudio la proteína presente es menor a la proteína reportada en la literatura. De acuerdo a Barco Coro (2017) reporta un valor de proteína entre 3.23 % a 3.52 % en leche de soya fresca y fermentada respectivamente con humedad entre el 87.7% y 88.1%. Para Quicazán et al. (2017) el valor de proteína esta entre 1.86% a 2.84% de acuerdo a la humedad de la bebida que va entre 91.21% a 94.21%, en cuanto a la cantidad de grasa, se reporta valores similares al presente estudio. El estudio de Obadina et al. (2013) muestra los

componentes principales a lo largo de la fermentación, donde muestra que el contenido de grasa y carbohidratos disminuye, mientras que las cenizas, proteínas y en general los sólidos totales aumentan. Aunque, el estudio de (Ladokun & Oni, 2014) reporta valores de hasta 12.59% de proteína con una humedad de 63.34%, que correspondería a un producto de textura consistente, no bebible, con una viscosidad bastante elevada (Ladokun & Oni, 2014).

Los estudios relacionados con química proximal, para fibra dietaría en la bebida fermentada de soya (Leon & Joseline, 2017) muestra valores menores entre 0.25 g/100 a 0.43 g/100. Por otra parte, el contenido de fibra dietaría fue diferente para cada una de las muestras y superior a lo reportado por Leon & Joseline (2017). Esto es debido a que el almidón modificado se comporta como fibra dietaría, a pesar de que el almidón por lo general es hidrolizado por enzimas digestivas como la amilasa, no todo el almidón es digerido y absorbido en el intestino. Los almidones modificados resisten a la digestión gastrointestinal y es fermentado en el colon de manera similar a la fibra dietaría. Otra razón por la que los almidones modificados se consideran y actúan como fibra, es porque la compactibilidad de las moléculas que lo forman limita el acceso a las enzimas digestivas, en la que se organizan de tal manera que impide que las enzimas digestivas puedan hidrolizarlos. Además, durante el tratamiento térmico, se forman los geles de almidón, los cuales forman cristales de almidón resistentes a las enzimas digestivas. Igualmente, los almidones modificados químicamente además de mejorar la apariencia, el sabor, textura, actúan como fibra dietaría, por lo que su fermentación proporciona numerosas moléculas beneficiosas para la salud, incluyendo ácidos grasos de cadena corta (AACC) (Fu et al., 2015). Por otra parte, los carbohidratos presentes en las muestras estudiadas es relativamente alto con respecto a los demás componente, esto es debido a que además de los carbohidratos aportados por la soya, también se tiene en cuenta los azúcares añadidos.

Tabla 3. Análisis proximal para los cuatro tratamientos.

Información nutricional	Almidón	ADA	OSA	Mixto
	Nativo			
Humedad	90,45 ± 0,08 ^b	90,34 ± 0,07 ^{ab}	90,27 ± 0,10 ^{ab}	90,18 ± 0,10 ^a
Materia en base seca	9,55 ± 0,08 ^b	9,66 ± 0,07 ^{ab}	9,73 ± 0,10 ^{ab}	9,82 ± 0,10 ^a
Cenizas	0,20 ± 0,01 ^a	0,22 ± 0,02 ^a	0,20 ± 0,01 ^a	0,22 ± 0,02 ^a
Grasa	1,87 ± 0,10 ^a	1,77 ± 0,08 ^a	1,63 ± 0,11 ^a	1,81 ± 0,09 ^a
Proteína	1,86 ± 0,05 ^b	1,97 ± 0,02 ^a	1,94 ± 0,03 ^{ab}	2,00 ± 0,01 ^a
Fibra dietaria	0,90 ± 0,00 ^b	0,76 ± 0,00 ^d	0,85 ± 0,00 ^c	0,99 ± 0,00 ^a
Carbohidratos	4,72 ± 0,13 ^b	4,95 ± 0,14 ^{ab}	5,12 ± 0,16 ^a	4,81 ± 0,02 ^{ab}

4.5.2 Caracterización de las bebidas fermentadas durante el almacenamiento

El pH es afectado a lo largo del tiempo de almacenamiento, principalmente a factores posfermentativos. Esto debido a que a pesar de que el producto está a temperatura de refrigeración (4°C), los microorganismos están en una fase latente con un metabolismo bajo, pero que a lo largo del tiempo logra acidificar el medio. Del mismo modo, la acidez titulable es sensible a cambios de acidificación generando por procesos posfermentativos. Este cambio se debe a los productos del metabolismo anaerobio de microorganismos ácido lácticos y bifidobacterias que logran transformar los azúcares de la matriz en ácido láctico. La acidez titulable es inversa al contenido de pH, es decir, que mientras el pH disminuye, la acidez titulable aumenta.

Tabla 4. Cambios de pH, acidez titulable, sólidos solubles y sinéresis de bebida fermentada de soya con los diferentes tipos de almidón durante el almacenamiento a 4°C por 21 días

Parámetro	Tratamiento	Días			
		1	7	14	21
pH	ADA	4,62 ± 0,01 ^{a A}	4,57 ± 0,00 ^{b A}	4,43 ± 0,00 ^{c A}	4,15 ± 0,01 ^{d A}
	OSA	4,61 ± 0,01 ^{a A}	4,53 ± 0,00 ^{b B}	4,42 ± 0,00 ^{c A}	4,13 ± 0,01 ^{d B}

	mixto	4,57 ± 0,01 ^{a B}	4,56 ± 0,00 ^{a A}	4,39 ± 0,00 ^{b B}	4,11 ± 0,01 ^{c C}
	nativo	4,56 ± 0,01 ^{a B}	4,50 ± 0,00 ^{b C}	4,33 ± 0,01 ^{c C}	4,20 ± 0,01 ^{d D}
Acidez titulable (%)	ADA	0,33 ± 0,01 ^{a A}	0,37 ± 0,01 ^{b A}	0,40 ± 0,01 ^{c A}	0,62 ± 0,01 ^{d B}
	OSA	0,35 ± 0,00 ^{a A}	0,39 ± 0,00 ^{b A}	0,40 ± 0,01 ^{b A}	0,67 ± 0,02 ^{c A}
	mixto	0,34 ± 0,01 ^{a A}	0,36 ± 0,01 ^{a A}	0,43 ± 0,01 ^{b A}	0,66 ± 0,02 ^{c A}
	nativo	0,34 ± 0,01 ^{a A}	0,38 ± 0,00 ^{b A}	0,42 ± 0,02 ^{c A}	0,56 ± 0,02 ^{d C}
Sólidos solubles (°Brix)	ADA	10,2 ± 0,0 ^{a D}	10,0 ± 0,0 ^{b C}	10,1 ± 0,1 ^{a B}	10,0 ± 0,1 ^{b A}
	OSA	10,7 ± 0,0 ^{a A}	10,5 ± 0,0 ^{b A}	10,4 ± 0,0 ^{b A}	9,9 ± 0,1 ^{c B}
	mixto	10,5 ± 0,1 ^{a B}	10,2 ± 0,0 ^{b B}	10,1 ± 0,0 ^{b B}	9,5 ± 0,1 ^{c C}
	nativo	10,6 ± 0,0 ^{a C}	10,3 ± 0,0 ^{b B}	10,1 ± 0,0 ^{c B}	10,2 ± 0,1 ^{b D}
Sinéresis (%)	ADA	34,13 ± 1,83 ^a AB	35,89 ± 1,42 ^{a A}	39,37 ± 0,97 ^{ab} A	42,52 ± 1,15 ^b A
	OSA	33,61 ± 1,88 ^a B	37,73 ± 1,86 ^{ab A}	41,34 ± 0,78 ^{bc} AB	42,73 ± 0,55 ^c A
	mixto	36,56 ± 1,80 ^a AB	42,08 ± 2,17 ^{b B}	45,06 ± 2,08 ^b BC	46,55 ± 0,74 ^b A
	nativo	38,11 ± 1,74 ^{a A}	43,08 ± 1,39 ^{b B}	49,43 ± 0,16 ^{c C}	56,40 ± 1,02 ^d B
Viscosidad (mPa.s)	ADA	145,83 ± 4,28 ^{a B}	154,96 ± 10,53 ^{a C}	149,34 ± 6,76 ^a B	145,94 ± 2,50 ^{a B}
	OSA	184,83 ± 3,48 ^{ab A}	194,53 ± 8,70 ^a A	177,12 ± 5,92 ^{bc} A	164,65 ± 2,41 ^{c A}
	mixto	178,34 ± 4,02 ^{a A}	171,34 ± 7,78 ^{ab} B	166,42 ± 7,79 ^b A	169,49 ± 3,07 ^{b A}
	nativo	134,58 ± 3,45 ^{ab B}	140,77 ± 1,10 ^a D	127,68 ± 2,82 ^b C	95,05 ± 2,51 ^c C

a–d superíndices de medias por días (fila) con diferencias significativas ($p < 0.05$).
A–D superíndices de medias por tratamiento (columna) con diferencias significativas ($p < 0,05$).

Se debe tener en cuenta que los sólidos solubles miden la concentración de sacarosa disuelta en un líquido, las disminuciones de variación de este parámetro posiblemente se deban a la degradación de los azúcares añadidos (sacarosa) a lo largo del almacenamiento (procesos post-fermentativos). Sin embargo, se puede observar que los sólidos solubles en algunos tratamientos son bastante estables entre los días de medición. En este caso los tratamientos con almidón ADA y OSA son bastante similares con respecto a la media general de cada tratamiento ($p > 0.05$), pero, se presentan medias con diferencias significativas ($p < 0.05$) en los valores de medición entre los días 7 y 14, Este comportamiento se puede observar en la tabla 4 con el tratamiento OSA, cuyo valor en el primer día fue de $10,7 \pm 0,0$ °Brix y al día 21 termino siendo $9,9 \pm 0,1$, así mismo, entre la semana 2 y la 3 no hay reducción en este parámetro. El tratamiento con almidón ADA tiene un comportamiento bastante estable, para la semana 0 (día 1) y semana 3 (día 21) hubo diferencias significativa, pero no se presentan diferencias significativas entre el día 1 y 21. Por otro lado el almidón de yuca nativo tiene un comportamiento descendente la primera semana, pero es estable las siguientes dos semanas hasta el día 21.

El comportamiento de la sinéresis a lo largo del almacenamiento para los tratamientos se muestra en la tabla 4. El tratamiento con almidón ADA durante las primeras dos semanas de acuerdo al análisis estadístico reporta un porcentaje de sinéresis similar, no obstante, para la tercera semana se generó un aumento para este parámetro. Para el tratamiento con almidón OSA durante la primera semana no reporto cambios, pero, a partir de la segunda semana hay un aumento. Para el tratamiento con almidón mixto se obtienen cambios en la primera semana, pero, tiene una estabilidad a partir de la segunda semana. En cuanto a comparaciones entre tratamientos, tanto el almidón ADA, y el OSA son similares, debido a que no fue significativo ($p > 0.05$) entre ambos tratamientos. En contraste, si hay diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el tratamiento con almidón mixto y el almidón nativo, a su vez estos dos últimos tienen una sinéresis diferente. Por último, el almidón de yuca nativo es el tratamiento con mayor porcentaje de sinéresis al final del almacenamiento del producto, esto debido a que el almidón nativo sufre

retrogradación. Este fenómeno se da a partir de la disminución de la temperatura del almidón gelatinizado, lo que produce la insolubilización y precipitación espontánea de las moléculas de amilosa (Liu et al., 1999; Drunkler et al., 2012). Durante la retrogradación del almidón, los gránulos se retraen producto de la pérdida de agua y se da una reorganización de los componentes que lo conforman, en una estructura cristalina mucho más generalizada en el almidón nativo.

Por otra parte, los almidones modificados tienen la capacidad de ser más estables a lo largo del tiempo de almacenamientos, debido a que ciertas modificaciones químicas interactúan por medio de diferentes fuerzas moleculares entre diferentes especies químicas dispuestas en la matriz. En el caso del almidón ADA, esta tiene la capacidad de retención de agua, evitando la retrogradación que se le atribuye principalmente a la reorganización de amilosa y amilopectina en red y a la presencia de oligosacáridos nativos presentes en la soya como es la rafinosa y la estaquiosa, así como también enlaces dispuestos por los azúcares añadidos. De acuerdo a la literatura el almidón ADA retrasa la retrogradación del almidón y proporciona una mayor vida útil; así mismo, es estable en el almacenamiento a bajas temperaturas a un pH bajo con efecto adverso a la retrogradación, por lo cual es adecuado en tipos de bebidas lácteas y a base de vegetales fermentadas (Zhang et al., 2020), aunque, se debe estudiar los mecanismos involucrados en las interacciones moleculares.

Las propiedades físicas de las partículas de almidón modificadas con OSA afectan la capacidad para estabilizar eficazmente las emulsiones O/W. Se ha estudiado el efecto de la modificación OSA sobre las propiedades físicas de las partículas de almidón y su estructura cristalina, lo que hace que los almidones OSA tengan una temperatura de gelatinización más baja que sus almidones nativos (Sweedman et al., 2013). Debido a la estructura química con restos hidrófobos e hidrófilos, la molécula tiene características anfifílicas que debilita los enlaces de hidrógeno internos de la partícula de almidón (Ovando-Martinez et al., 2017). También se ha encontrado que los geles de almidón OSA son más suaves que los geles de almidón

nativo y se ha demostrado que las partículas de almidón modificado con OSA se agregan menos que el almidón nativo (Ovando-Martinez et al., 2017).

En cuanto a la viscosidad aparente se observa que en general los tratamientos tienen un comportamiento completamente diferente, sin embargo el tratamiento con almidón OSA y Mixto tienen un comportamiento bastante similar ($p > 0.05$); en contraste, el almidón ADA y el nativo fueron completamente diferentes ($p < 0.05$) (tabla 4). El comportamiento de la viscosidad aparente con una velocidad de corte a 80 s^{-1} para los tratamientos con almidón OSA y mixto tanto al primer día de medición, como en el último de medición fueron relativamente similares (tabla 4), aunque durante los días 7 y 14 las mediciones reportadas fueron completamente diferentes.

Por otra parte, los tratamientos con almidón ADA y nativo son diferentes respecto al almidón OSA y mixto, y diferentes entre sí (tabla 4). Primero, el almidón ADA presente una estabilidad uniforme entre el primer día de medición ($145,83 \pm 4,28 \text{ mPa.s}$) y el día 21 ($145,94 \pm 2,50 \text{ mPa.s}$), entre los días 7 y 14, si presento variaciones en la viscosidad aparente. Por otra parte, el almidón nativo a partir del día 7 tuvo un descenso del valor de viscosidad en los siguientes días de medición y al día 21 reporto un valor de $95,05 \pm 2,51 \text{ mPa.s}$, lo que indica que el almidón sufrió retrogradación durante el tiempo de almacenamiento, el cual fue reflejado en la medición de sinéresis y viscosidad. En los almidones nativos tienden a la retrogradación por procesos físicos de pérdida de agua contenido en los geles formados de almidón, esto causa en la estructura que las cadenas lineales se unen paralelamente a través de puentes de hidrógeno, lo que hace que expulse agua en un proceso irreversible (Liu et al., 1999; Drunkler et al., 2012).

Desde otra perspectiva, se observa un aumento en la viscosidad aparente para los almidón nativo, ADA y OSA entre el primer y séptimo día de medición, esto posiblemente esté relacionado con el pH y el punto isoeléctrico óptimo de las proteínas de la soya en la que se presenta interacción electroestática que ensambla complejos entre proteínas y polisacáridos que influye en la formación natural de geles a partir de la fermentación (Li et al., 2022), asimismo, forma complejos

estructurales con almidones a través de diferentes interacciones moleculares como fuerzas de Van Der Waals, enlaces de puentes de hidrogeno, interacciones dipolo-dipolo y enlaces iónicos.

De acuerdo a lo observado y evaluado estadísticamente para el parámetro de viscosidad aparente, el almidón de yuca nativo a lo largo del almacenamiento sufre el proceso de retrogradación, producto de la expulsión de agua del gel formado por causa de la acidificación del medio por procesos posfermentativos y la agregación misma de los gránulos de almidón los cuales forman grupos y precipitan. Por otra parte, el tratamiento con almidón ADA es el más estable a lo largo del tiempo, sin cambio aparente entre el primero y el último día de medición, esto debido a la estructura del almidón ADA formar una red reticulada, que logra atrapar el agua contenida por el gel formado, así mismo, de acuerdo a Zięba et al. (2014) y Kapelko-Zeberska et al. (2015) el almidón ADA es bastante estable a condiciones de refrigeración y a pH ácido. Con respecto al tratamiento con almidón OSA muestra un comportamiento con mayor viscosidad que los demás tratamientos, además posee mayor consistencia y mejor textura, sin embargo, a partir del día 7 la viscosidad aparente muestra un comportamiento poco estable al decrecer fuertemente a lo largo del tiempo de almacenamiento. Con respecto al almidón mixto, al tener las características de almidón entrecruzado y sustituido, a lo largo del tiempo, muestra una alta viscosidad comparable al almidón OSA, así como también las características de estabilidad a lo largo del tiempo del almidón ADA.

4.5.3 Propiedades reológicas

Siguiendo el modelo reológico de la ley de la potencia (ecuación 1) determinada por iteración se obtiene el índice de consistencia (K) y el índice de comportamiento al flujo (n) para cada tratamiento en cada uno de los días evaluados. Los resultados se muestran en la tabla 5. Así mismo a partir de la ecuación 2 se predice la viscosidad aparente. Bajo las mismas condiciones de medición, el esfuerzo cortante aumenta en función de velocidad cortante, por otro lado, la viscosidad aparente de los cuatro tratamientos inicialmente es alta, pero disminuye rápidamente a medida que aumenta la velocidad de corte (tabla 5). El modelo predictivo se obtuvo para

todos los tratamientos con una velocidad de corte de 80s^{-1} , sin embargo, para el tratamiento con almidón OSA la correlación se reporta relativamente baja con respecto a los demás tratamientos con un valor de 0.9509 en el día 1. Para este tratamiento el modelo predictivo no se ajusta de una forma específica, sino que el modelo es válido para un valor de corte de 60s^{-1} , debido a que el esfuerzo cortante no varía con una velocidad de corte superior y considera que el límite de cizalla para el almidón OSA se alcanza a una velocidad de corte a 60s^{-1} . De acuerdo a esto, el almidón OSA es el tratamiento que alcanza una mayor viscosidad inicialmente, pero que al final del tiempo de vida (día 21) su viscosidad disminuye, con una viscosidad similar al tratamiento de almidón mixto.

Tabla 5. Datos predictivo de acuerdo al modelo de ley de potencia con datos experimentales para los tratamientos y patrones.

Tratamiento	Días	K (Pa.S ⁿ)	n	R ²	η (Pa.s) a 80 s ⁻¹
A. nativo	1	1,7977	0,4125	0,9697	0,13697
	7	1,8282	0,4323	0,9955	0,15194
	14	2,2671	0,3283	0,9746	0,11946
	21	0,9745	0,4640	0,9942	0,09305
ADA	1	2,2027	0,3829	0,9736	0,14741
	7	4,0473	0,2642	0,9720	0,16103
	14	2,7870	0,3251	0,9785	0,14477
	21	5,3000	0,1825	0,9834	0,14737
OSA	1	3,4578	0,3547	0,9509	0,20448
	7	6,6188	0,2061	0,9822	0,20416
	14	2,6432	0,3780	0,9627	0,17314
	21	5,2064	0,2195	0,9609	0,17029
Mixto	1	3,8205	0,3112	0,9953	0,18675
	7	6,0978	0,1747	0,9934	0,16389
	14	2,7609	0,3598	0,9972	0,16698
	21	7,1095	0,1461	0,9905	0,16861

De acuerdo al modelo reológico de la ley de potencia para las constantes predichas por tratamiento y por día evaluado, evidencia, que tanto el almidón OSA, como el

mixto poseen un índice de consistencia (k) mayor con respecto a los otros dos tratamientos, con mayor viscosidad, cremosidad y por ende con una mejor textura. Por último, el almidón ADA exhibe un menor índice de consistencia y por lo tanto menor viscosidad para cada una de las concentraciones. Así mismo, tiene un índice de comportamiento al flujo (n) menor a 1, característico de fluidos pseudoplásticos.

4.5.4 Color

Los cambios en los valores de color de CIELab se muestran en la Tabla 6. Ninguno de los tratamientos a lo largo del tiempo de almacenamiento no tuvo cambios significativos para la luminosidad (L^*). El valor a^* tiende a estar en la escala de tonos ligeramente verdes al tener valor negativo. No se observó cambio para el valor de a^* a lo largo del almacenamiento para cada uno de los tratamientos, pero, se observó diferencias significativas entre los tratamiento con almidón ADA y OSA frente al almidón nativo evaluado el primer día. En cuanto al valor b^* tuvo tendencia hacia tonos amarillos debido al pigmento natural presente en la soya y presentó diferencias significativas durante el almacenamiento para los tratamientos con almidón ADA, mixta y nativo, no hubo cambios con el almidón OSA. En contraste, también presento diferencias significativas entre el tratamiento con almidón OSA y mixto para el primer día de evaluación; para el día 7 también hubo diferencias significativas entre el almidón nativo y los demás almidones.

Tabla 6. Cambio en el color en sistema CieLab de la bebida fermentada de soya con los diferentes tipos de almidón durante el almacenamiento a 4°C por 21 días.

CieLab	Tratamiento	Días			
		1	7	14	21
L^*	ADA	76,40 ± 1,21 ^{aA}	74,69 ± 2,20 ^{aA}	75,38 ± 2,68 ^{aA}	77,36 ± 2,97 ^{aA}
	OSA	75,63 ± 2,69 ^{aA}	76,84 ± 2,58 ^{aA}	76,69 ± 2,39 ^{aA}	76,28 ± 0,53 ^{aA}
	Mixto	73,05 ± 2,21 ^{aA}	70,65 ± 2,90 ^{aA}	72,19 ± 2,67 ^{aA}	73,99 ± 1,59 ^{aA}
	A. nativo	75,96 ± 2,21 ^{aA}	75,65 ± 2,41 ^{aA}	74,11 ± 0,37 ^{aA}	72,28 ± 0,06 ^{aA}
a^*	ADA	-0,47 ± 1,35 ^{aA}	-0,50 ± 0,17 ^{aA}	-0,36 ± 0,06 ^{aA}	-1,64 ± 0,11 ^{aA}

	OSA	$-0,11 \pm 0,79^{aA}$	$-0,27 \pm 0,46^{aA}$	$-1,31 \pm 0,09^{aA}$	$-1,19 \pm 0,47^{aA}$
	Mixto	$-0,86 \pm 1,14^{aAB}$	$-1,76 \pm 0,01^{aA}$	$-1,55 \pm 0,10^{aA}$	$-1,81 \pm 0,12^{aA}$
	A. nativo	$-2,28 \pm 0,72^{aB}$	$-1,38 \pm 0,37^{aA}$	$-0,94 \pm 0,09^{aA}$	$-1,17 \pm 0,07^{aA}$
	ADA	$14,88 \pm 0,80^{aAB}$	$11,39 \pm 0,46^{bB}$	$9,95 \pm 1,68^{bA}$	$11,71 \pm 0,47^{bA}$
b*	OSA	$13,15 \pm 1,25^{aB}$	$10,79 \pm 0,82^{aB}$	$12,20 \pm 0,03^{aA}$	$11,59 \pm 0,10^{aA}$
	Mixto	$16,31 \pm 1,53^{aA}$	$9,73 \pm 1,43^{bB}$	$11,20 \pm 0,32^{bA}$	$12,62 \pm 0,52^{bA}$
	A. nativo	$14,90 \pm 1,94^{aAB}$	$15,11 \pm 1,51^{aA}$	$10,79 \pm 0,38^{bA}$	$11,64 \pm 0,06^{bA}$

a–b superíndices de medias por fila (días) con diferencias significativas ($p < 0.05$).

A–B superíndices de medias por columna (tratamientos) con diferencias significativas ($p < 0,05$).

A partir de la ecuación 3 se determinó el valor delta E, que es la diferencia en sensación de color. Se comparó entre cada uno de los tratamientos a lo largo del tiempo de almacenamiento (tabla 7).

Tabla 7. Diferencia general de color (delta E) entre tratamientos a lo largo del tiempo de almacenamiento.

Comparación	Delta E*			
	1	7	14	21
ADA-OSA	1,93	2,24	2,77	1,18
ADA-Mixto	3,66	4,55	3,63	3,49
ADA-A. nativo	1,86	3,94	1,63	5,10
OSA-Mixto	4,15	6,45	4,62	2,59
OSA-A. nativo	2,81	4,62	2,96	4,00
Mixto-A. nativo	3,53	7,35	2,06	2,07

De acuerdo a Huang et al. (1970) Hay un consenso en la cual un delta E mayor a 3 es diferenciable al ojo humano no entrenado, sin embargo, la diferencia de la sensación del color depende del observador y esta puede ser mayor o menor, así mismo, si la muestra de color esta en contraste de grises el ojo humano puede

captar un delta E de hasta 0.5. Tomando en cuenta un valor de delta E mayor a 3 al comparar las muestras (tabla 5), primero no hay diferencias de color entre los tratamientos ADA y OSA durante el almacenamiento, si hay diferencias de color entre el almidón ADA y mixto, hay diferencia entre ADA y almidón nativo solo los días 7 y 21. Entre el tratamiento con el almidón OSA y Mixto hay diferencias de color en las primeras dos semanas, pero no en la última semana y entre el almidón OSA y nativo hay diferencias entre el día 7 y 21, aunque es posible que a lo largo del tiempo de almacenamiento fuera diferenciado por un ojo entrenado. Por último, el tratamiento con almidón mixto en contraste con el nativo se diferencia en la primera semana, pero la sensación de color no se diferencia las últimas dos semanas.

4.5.5 Tamaño de partícula

El análisis del tamaño de partícula a menudo se considera un indicador de la estabilidad coloidal (Lin, Hill y Corredig, 2012). En la tabla 8 muestra la distribución del tamaño de partícula y el radio de partícula de una bebida fermentada de soya con adición de tres tipos de almidones de modificados de yuca y uno nativo. Las mediciones del diámetro medio de partícula basado en el área ($D [3,2]$), diámetro medio basado en el volumen ($D [4,3]$) y el diámetro basado en método estadístico $D_x (90)$ se muestran en la tabla 8. $D_x (90)$ refleja el tamaño de las gotas floculadas o agregados sólidos grandes. Los tratamientos con los diferentes tipos de almidón durante los días 7 y 21 tienen variación en el tamaño de partícula durante el tiempo de almacenamiento.

Para el tratamiento ADA hubo variación del tamaño de partícula para $D [3,2]$ y $D_x (90)$ entre el día 7 y el día 21 con una reducción significativa de tamaño (tabla 8); sin embargo, para $D [4,3]$ no hubo una variación en tamaño de partícula. Para el tratamiento con almidón OSA no hay diferencia significativa durante el tiempo de almacenamiento por $D [3,2]$, aunque, si hubo variación para $D [4,3]$ y $D_x (90)$, con un incremento en el tamaño de partícula durante su almacenamiento. Para el tratamiento con almidón mixto y nativo no se obtuvo variación significativa en el tamaño de partícula basado en el área superficial ($D [3,2]$), pero, la partícula basada

en D [4,3] y Dx (90) si varió significativamente durante el tiempo de almacenamiento con un incremento en su tamaño. Al analizar los datos se observa que el único tratamiento con una disminución de tamaño de partícula pequeña (D [3,2]) y grande (Dx (90)) durante el almacenamiento fue el tratamiento con almidón ADA, de resto los demás tratamientos tuvieron un incremento en el tamaño de partícula medio D[4,3] y grande Dx (90); esto indica que los tratamientos que incrementaron de tamaño durante el tiempo de almacenamiento sufrieron floculación y agregación de partículas grandes, por el contrario el tratamiento ADA las partículas más pequeñas quedaron distribuidas de forma dispersa en el medio. Finalmente, se observa en la figura 5 que hay partículas bastante grandes entre el rango de 86 μm a 112 μm , sin embargo, estas partículas representan una pequeña porción en términos del porcentaje de densidad de volumen, asimismo, estas partículas grandes no presentaron ninguna variación en cuanto al tipo de almidón ni tampoco durante su almacenamiento. En cuanto al área superficial (tabla 8) se encontró que estadísticamente no hay diferencia significativa ($p>0.05$) entre el día 7 y el día 21 para cada uno de los tratamientos, pero si hay diferencia significativa entre los tratamientos evaluado durante el almacenamiento. Es importante destacar, que el área superficial esta correlacionado con el tamaño de partícula. Como se puede observar la disminución del tamaño de partícula (D [3,2]), incide inversamente proporcional en el aumento del área superficial, por el contrario el aumento de tamaño de las partículas grandes (Dx 90) incide en la disminución del área superficial específica, lo cual tiene sentido al tener mayor porcentaje de densidad de las partículas pequeñas, con relación a la proporción de pocas partículas grandes con una área superficial limitada.

Es de tener en cuenta que la bebida de soya antes del procesamiento presenta una alta solubilidad debido a las proteínas como la β -conglucina y glicina. Por lo que el tamaño de partícula puede verse influido por el grado de desnaturalización de las proteínas de soya en el gel que generalmente va acompañado de la formación de grandes agregados durante el tratamiento térmico que disminuye la solubilidad. La liberación de grupos sulfhidrilo presentes en las proteínas pueden promover la creación de grandes agregados estabilizados por enlaces disulfuro (Aderibigbe et

al., 2021). Los tratamientos con los almidones tienen diferentes características y funciones. Para el caso del estudio, el almidón ADA tiene buena estabilidad durante el tiempo de almacenamiento a temperatura de refrigeración, manteniendo el gel formado por medio de la red tridimensional característica de este almidón. Por otra parte, el almidón OSA al tener características anfifílicas tiene la capacidad de interactuar con las partes hidrófobas y los agregados estabilizados por enlaces disulfuro de las proteínas de soya con capacidad emulsionante que promueve la estabilidad de la interface.

De acuerdo a estudios previos en la evaluación del tamaño de partícula por refracción laser señalan que el D [3,2] es más susceptible a las partículas moleculares pequeñas, mientras que el D [4,3] es más susceptible a las partículas macromoleculares, así como la estimación de partículas más grandes por medio estadístico $D_x(90)$, de acuerdo a la distribución del tamaño de partícula (Kong et al., 2017). Cuanto mayor sea el tamaño de partícula, mayor será el número de gránulos de almidón necesarios para cubrir la misma área de interfaz, probablemente porque se requieren más gránulos de almidón para estabilizar un área de interfaz más grande. La acumulación densa de partículas de almidón en la interfaz puede mejorar la estabilidad de coalescencia de las gotas adyacentes al formar una fuerte barrera espacial (Li, Li, Sun y Yang, 2013).

Desde el punto de vista del tamaño de partícula de la proteína de soya, de acuerdo Pang et al. (2021) en la bebida fermentada, las proteínas adicionadas de soya (β -conglucina (7S) y glicina (11S)), presenta un tamaño de partícula para valores de D [4,3] que son dependientes de la concentración. Su tamaño aumenta, al aumentar la cantidad de proteínas de soya β -conglucina y glicina en los geles. De acuerdo a los resultados, se concluyó que el tamaño de partícula era multidisperso con distribución bimodal entre los 7 y 135 μm con un promedio de 34,2 μm . Sin embargo, también presentaba picos entre 1 y 3,81 μm , que fue atribuida a los agregados de proteína de la leche de soya. En el caso del estudio se puede observar que la distribución de partículas mayoritaria se encuentra por encima de 1 μm (figura 5), así mismo, una disminución de tamaño de partícula posterior, así como una distribución

estacionaria entre los 6 hasta los 100 μm . Tomando en cuenta distribuciones heterogéneas, las subunidades de proteínas se dividen en diferentes partículas de proteínas (Poysa, Woodrow y Yu, 2006). Por otra parte, Pereira & Del Pino Beleia (2021) caracteriza propiedades reológicas del almidón de yuca en solución de azúcar. De acuerdo a los autores, señalan que el almidón nativo tenía un diámetro medio de 31 μm y el almidón con modificación ácida una distribución bimodal con un pico en 13.6 μm y otro pico de 166 μm , lo que indicaría que el almidón diluido en ácido, produciría aglomeración de los gránulos. En contraste al presente estudio, se encontró prácticamente una misma distribución para todos los tratamientos, a pesar de que hubo diferencias significativas entre tratamientos (tabla 8) no hubo diferencias grandes de variación entre los almidones modificados y el nativo. Se puede deducir que la poca variación entre tratamientos depende de la matriz y el sistema empleado,

Tabla 8. D [3,2]: diámetro medio basado en la superficie; D [4,3]: diámetro medio basado en volumen; Dx (90): basado en método estadístico y el área superficial específica de la bebida fermentada de soya con diferentes tipos de almidón evaluado durante el día 7 y 21.

día	Tratamiento	D[3;2] (μm)	D[4;3] (μm)	Dx (90) (μm)	Área superficial (m^2/kg)
7	ADA	1,00 \pm 0,01 ^c	4,85 \pm 0,06 ^{bc}	13,27 \pm 0,12 ^c	6027 \pm 99,32 ^{ab}
	OSA	1,03 \pm 0,02 ^{bc}	5,24 \pm 0,20 ^b	11,93 \pm 0,23 ^d	6047 \pm 169,21 ^{ab}
	Mixto	1,05 \pm 0,01 ^{ab}	4,70 \pm 0,07 ^c	11,33 \pm 0,25 ^{de}	5852 \pm 103,52 ^{bc}
	A. nativo	1,08 \pm 0,01 ^a	4,16 \pm 0,07 ^d	10,93 \pm 0,23 ^e	5692 \pm 63,14 ^c
21	ADA	0,97 \pm 0,00 ^d	4,86 \pm 0,08 ^{bc}	12,23 \pm 0,32 ^d	6334 \pm 25,38 ^a
	OSA	1,05 \pm 0,02 ^{ab}	5,92 \pm 0,15 ^a	17,30 \pm 0,52 ^a	5769 \pm 143,40 ^{bc}
	Mixto	1,03 \pm 0,01 ^{bc}	5,67 \pm 0,07 ^a	15,33 \pm 0,15 ^b	5922 \pm 91,22 ^{bc}
	A. nativo	1,07 \pm 0,01 ^a	4,75 \pm 0,29 ^c	12,13 \pm 0,55 ^d	5763 \pm 135,10 ^{bc}

a-e muestra diferencias significativas ($p < 0.05$).

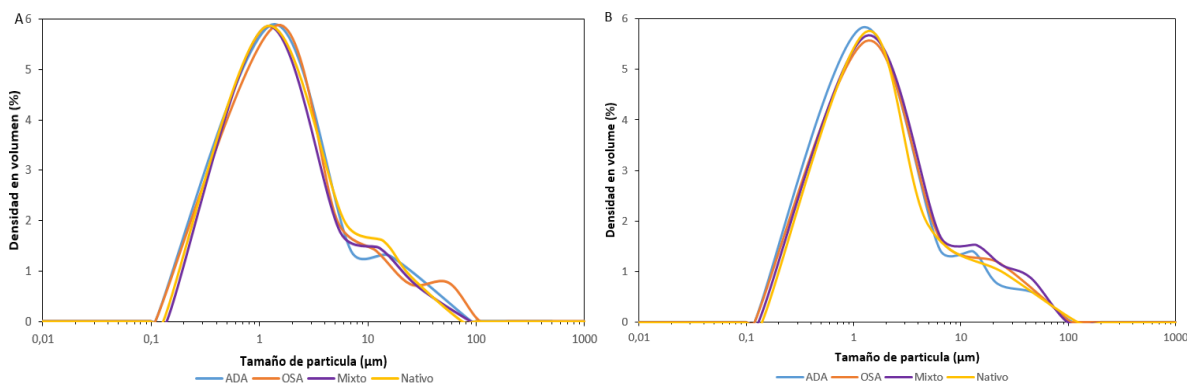


Figura 5. Densidad en volumen en función del tamaño de partícula en la bebida fermentada de soya con almidón evaluado el día 7 (A) y el día 21 (B).

4.5.6 Calidad microbiológica

Debido a la falta de normativa de productos fermentados a base de fuentes vegetales en Colombia, la normativa sanitaria que se ajusta más, es la resolución 2310 de 1986, la cual va dirigida a los productos de derivados lácteos. Para leches fermentadas el límite de aceptabilidad microbiológica (m) para coliformes totales es igual o inferior a 20 (tabla 9). De acuerdo a la información aportada por la resolución, todos los tratamientos cumplen con una cuantificación menor a 20 UFC/ml inclusive al final del tiempo de almacenamiento (21 días) y no se reportó coliformes fecales en ninguno de los casos.

Por otro lado para hongos y levaduras (tabla 10) el límite de aceptabilidad debe ser igual o inferior 200 UFC/ml. A pesar de que todos los tratamientos cumplían con un límite inferior a 200 durante la primera semana, al final del tiempo de vida de los productos, los tratamientos con almidón mixto y nativo tuvieron más de 200 UFC/ml, por lo tanto estos productos serian rechazados.

Tabla 9. Conteo de coliformes totales para cada uno de los tratamientos por método de número más probable (NMP).

Día	Tratamiento	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	NMP
2	ADA	1	1	0	7

	OSA	0	1	2	9,2
	Mixto	2	0	0	9
	A. nativo	0	0	0	0
	ADA	1	1	1	11
21	OSA	2	1	1	20
	Mixto	1	1	1	11
	A. nativo	1	0	1	7

Tabla 10. Conteo de hongos y levaduras para cada uno de los tratamientos por método de recuento en placa.

Día	Tratamiento	UFC/ml
2	ADA	45 ± 2,8
	OSA	27,5 ± 0,7
	Mixto	163 ± 5,7
	A. nativo	88,5 ± 4,9
21	ADA	105,5 ± 4,9
	OSA	157 ± 5,7
	Mixto	280 ± 14,1
	A. nativo	217,5 ± 10,6

4.5.7 Conteo de bacterias ácido lácticas y probióticos durante el almacenamiento

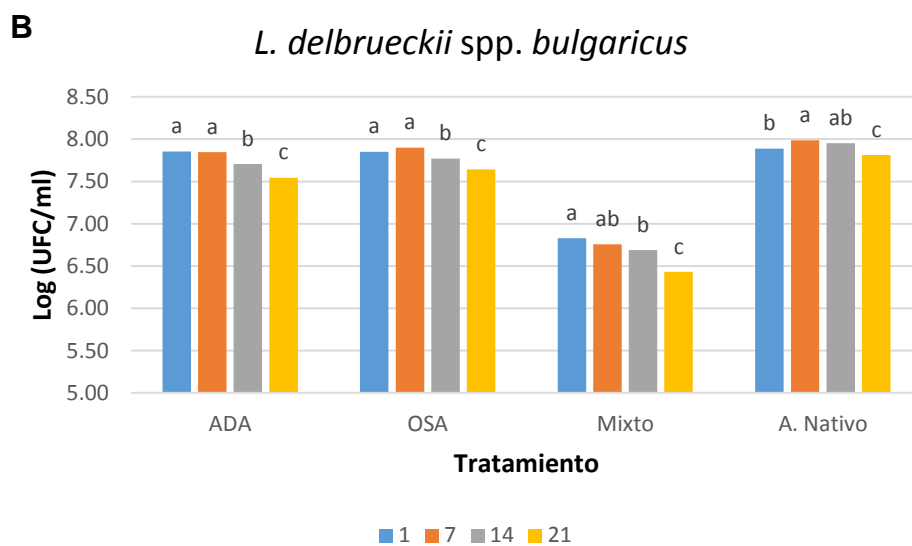
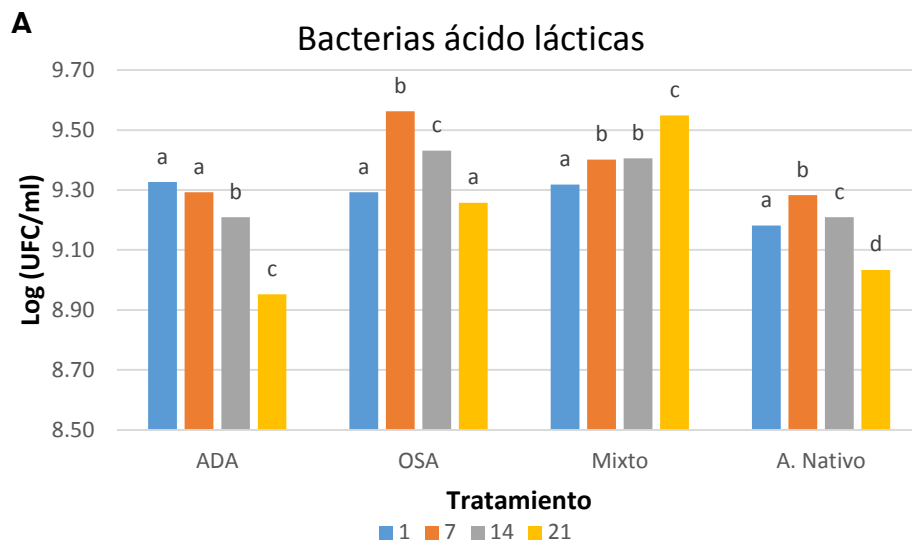
La figura 6 muestra las concentraciones de bacterias ácido lácticas, *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *S. thermophilus*, *B. animalis* subsp. *lactis* y *L. acidophilus* para cada uno de los tratamientos a lo largo del tiempo de almacenamiento.

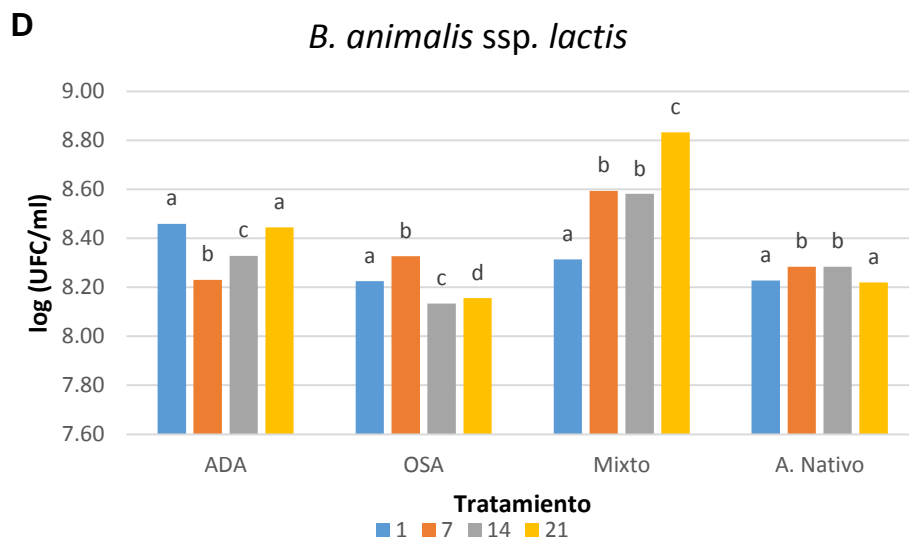
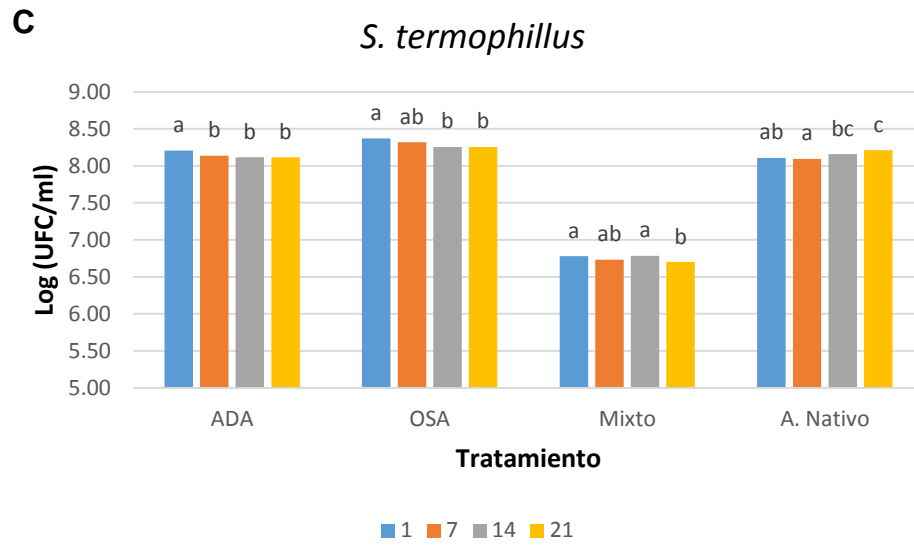
El recuento general de bacterias ácido lácticas mostró un recuento de células viables satisfactorio por encima de 8 (log UFC/ml). Para el tratamiento ADA, el recuento de bacterias acidolacticas (BAL) fue decreciendo a lo largo del almacenamiento. Por el contrario, para el tratamiento con almidón mixto tuvo un

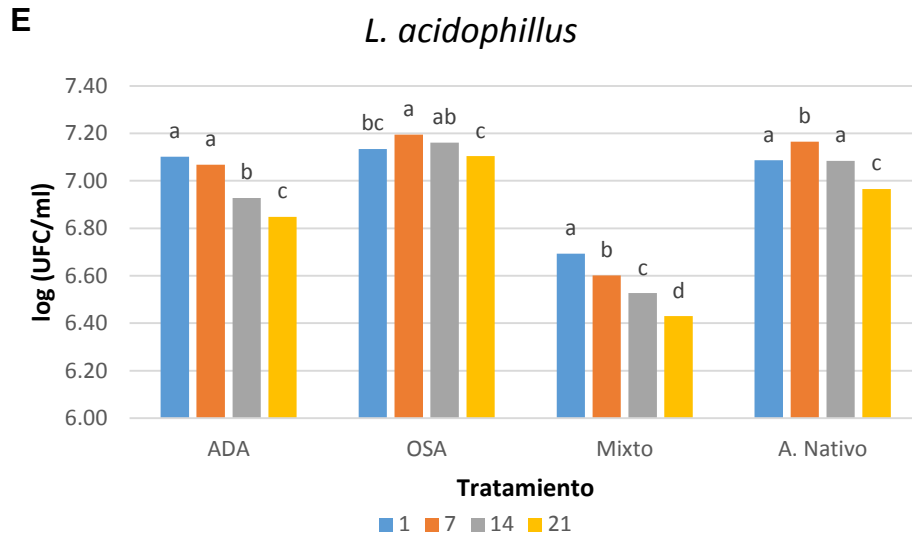
incremento de recuento de células viable de BAL desde el primer día de evaluación hasta el final del almacenamiento. Tanto para el almidón OSA como para el nativo se dio un incremento de BAL, pero al final del tiempo de almacenamiento decreció, se encontró que el almidón nativo en términos generales poseía la menor cantidad de células viables de BAL. Por otra parte, los recuentos de *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* y *S. thermophilus* tuvo en general un comportamiento constante, especialmente para *S. thermophilus* en todos los tratamientos a lo largo del almacenamiento. Se presenta para el tratamiento con almidón mixto un conteo de células viables mucho menor con referente a los demás tratamientos.

En contraste, las cepas probióticas (*Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis*) mostraron recuentos de células viables satisfactorias por encima a 6 (Log UFC/ml), que es superior a lo que señala el marco regulatorio para considerar un producto con probióticos y son requisitos mínimos para lograr un efecto funcional en el organismo. Para bifidobacterias el mayor tratamiento que registró mayor conteo de células viables a lo largo del tiempo de almacenamiento fue el tratamiento con almidón mixto con un comportamiento creciente, para los demás tratamiento, no se observó una tendencia predecible, pero se destaca que a nivel general las bifidobaterias en la matriz alimentaria crecieron por encima de 8 unidades logarítmicas (UFC/ml). Con respecto a los *Lactobacillus acidophilus* el conteo de células viables de esta cepa fue mucho más baja en comparación con las bifidobacterias inferior a los 7.2 (Log UFC/ml). El tratamiento con mayor cantidad de células viables fue el tratamiento con almidón OSA, por el contrario, los tratamientos con tendencia decreciente fueron los tratamientos con almidón ADA y mixto, este último, con menor cantidad de células viables de *L. acidophilus* con relación a los demás tratamientos

Figura 6. Cambios en el conteo de células viables para bacterias ácido lácticas (A), *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bugaricus* (B), *Streptococcus thermophilus* (C), *B. animalis* (D) y *L. acidophilus* (E) durante el tiempo de almacenamiento a 4°C por 21 días.







La cuantificación de bacterias ácido lácticas comprende una verificación general de bacterias ácido lácticas realizada a partir de un cultivo en medio MRS, por lo que comprende todas las cepas inoculadas a cada uno de los tratamientos (*L. delbrueckii* subsp. *Bulgaricus*, *S. thermophilus*, *B. animalis* subsp. *lactis* y *L. acidophilus*) y representa la cuantificación de los microorganismos fermentadores y/o probióticos.

De acuerdo a los resultados, el conteo de bifidobacterias fue bastante superior por encima de 8 log (UFC/ml) con relación al probiótico *Lactobacillus acidophilus*. Este resultado se debió posiblemente a la capacidad metabólica de la mayoría de bifidobacterias al poseer la enzima α -galactosidasa, la cual es responsable de hidrolizar oligosacáridos presentes en la soya como es la rafinosa y la estaquiosa como fuente de carbohidratos (Hartemink, Kok, Weenk y Rombouts, 1996; Desai et al., Tabasco et al., 2007). Inclusive se ha demostrado que la rafinosa y estaquiosa se puede utilizar como medio de cultivo para la cuantificación selectiva de células viables de *Bifidobacterium* (Desai et al., 2002). Así mismo, los probióticos pueden hacer que los azúcares simples estén biodisponibles para los lactobacilos, que a su vez proporcionan péptidos para los probióticos mediante enzimas proteolíticas para promover una relación simbiótica entre cepas (Hou et al., 2000; Zhu et al., 2020; Cui et al., 2021).

Por otra parte, de acuerdo a Verni et al. (2020) demostraron que la fermentación de una bebida de lentejas a partir de diferentes especies del género *Lactobacillus* incluido *L. Acidophilus*, dio como resultados la degradación de sacarosa, fructosa y glucosa, así como oligosacáridos propios de la lenteja (rafinosa, estaquiosa y verbascosa). No obstante, el crecimiento de la bacteria *L. Acidophilus* en el presente estudio, tuvo un crecimiento inferior por debajo de 7.2 log (UFC/ml) con referente a la cuantificación de bifidobacterias. Este resultado se debió a que *L. Acidophilus* posiblemente requiera de un consorcio de bacterias ácido lácticas específico para la degradación y crecimiento óptimo de esta bacteria.

Desde otro punto de vista, se puede estar subestimando la cuantificación de probióticos tanto de *B. animalis* como de *L. acidophilus* debido al uso de antibióticos para el crecimiento selectivo de estas bacterias. A pesar de que el método Sozzi et al. (1990) garantiza una cuantificación de bacterias del género bifidobacterium con el antibiótico dicloxacilina y el método para la cuantificación de *L. acidophilus* con el uso de clindamicina (Tabasco et al., 2007; Cui et al., 2021). Siempre hay riesgo de que la cuantificación sea menor a la real, por lo que se recomendaría utilizar otros medios de cultivo específicos como método de comparación.

4.5.8 Microestructura

La textura es un atributo muy importante de la calidad tanto de bebidas lácteas, como de la bebida fermentada de soya, por lo que su estructura y configuración microscópica son importantes en la formación de gel. La estructura del gel de la bebida fermentada de soya con almidón nativo de yuca, muestra una estructura laminar rígida (figura 7A) con porosidades (figura 7B) formada por el hinchamiento del almidón. El tratamiento con almidón ADA muestra una estructura grumosa granular (figura 7C) y en los gránulos formados, presenta porosidades como en “red” (figura 7D). Para el tratamiento con almidón OSA se observa una estructura continua porosa (figura 7E) y a mayor aumento (figura 7F) se observa una estructura laminar bastante frágil con “grietas” distribuidas. El tratamiento con almidón mixto se observa un conglomerado granular (figura 7G) distribuido en capas internas superficiales e internas en los gránulos (figura 7H).

La estructura microscópica de la bebida fermentada de soya es el resultado de la agregación tanto del almidón añadido, como de las partículas de proteína presentes en la soya. La coagulación de las proteínas es debido a la desnaturalización de las proteínas y la formación de enlaces disulfuro (enlaces entre aminoácido cisteína), e inducido por la acidificación de los cultivos de bacterias ácido lácticas y probióticos, que provoca la gelación de las proteínas (Zhang et al., 2021). Por otra parte, la formación del gel puede explicarse por la presencia de exopolisacáridos bacterianos y la degradación de la fibra propia de la soya como la rafinosa y estaquiosa, que pueden haber interactuado con las proteínas para formar una estructura más compacta con una mayor viscosidad aparente y capacidad para atrapar la fase de suero (Levy et al., 2021). Las micrografías de algunos tratamientos mostraron diferentes tipos de estructuras en la formación del gel, como es la porosidad, compacidad y su tamaño de la red tridimensional, así como la formación de láminas, su textura y dureza. Para el tratamiento con almidón nativo (figura 7 A y B) se observa una formación de poros más grandes y distribuidos a lo largo de la estructura. El almidón ADA (figura 7C y 7D) muestra poros muchos más pequeños y compactos en los gránulos formados en la estructura, esto es debido a que el ADA estructuralmente forma redes tridimensionales que son capaces de capturar el agua del gel formado, lo que explicaría porque el tratamiento con almidón ADA es capaz de permanecer más estable a lo largo tiempo de almacenamiento que los otros almidones, específicamente con la variación de la sinéresis y la viscosidad aparente. Por otra parte, el almidón OSA (figura 7E y 7F) muestra una morfología granular con una estructura ramificada con cavidades y un interior homogéneo y esponjoso dispuestas en una estructura laminar en capas, así mismo, se forma una estructura entre el almidón OSA con una naturaleza anfifílica y las interacciones hidrofóbicas de la proteína de soya (Wang et al., 2011). Debido a esta interacción, es de esperar que presente una alta viscosidad aparente. Por otra parte, esta estructura presentó grietas debido a la erosión del haz de electrones a la hora de tomar la micrografía, lo que indica que es una estructura frágil y texturalmente bastante más suave y tierno con relación a los otros almidones. El almidón mixto (figura 7G y 7H), presentó una aglomeración entre grumos, con porosidad y compacidad entre las láminas,

esto indicaría características estructurales entre el ADA y el OSA, lo que sugiere una estructura con formación de enlaces cruzados entre el almidón y las proteínas de la soya, lo que ayudo a tener una textura y firmeza más fuerte a la hora de realizar el análisis de viscosidad.

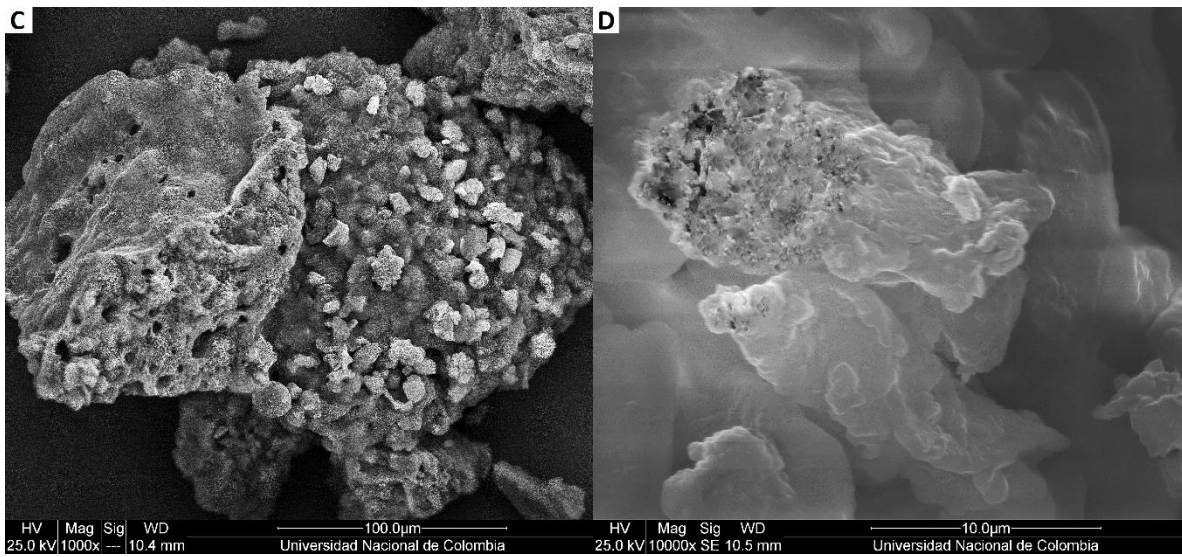
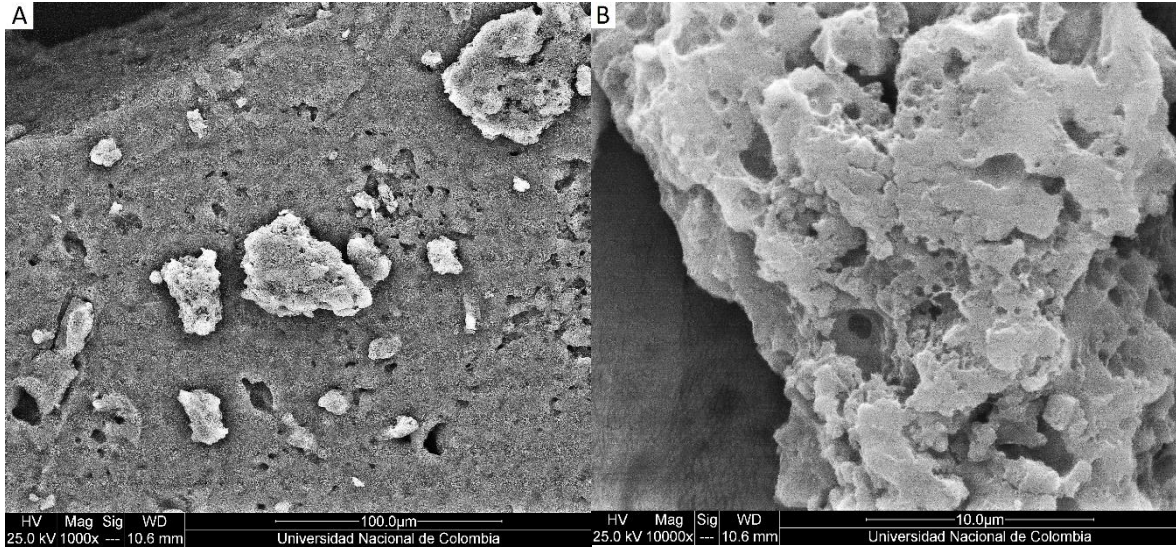
El estudio realizado por Wang et al. (2011) muestra que el almidón OSA mantiene una morfología granular con el almidón nativo y la aparición de pequeños poros en la superficie. Así mismo, compara diferentes grados de sustitución de almidón nativo con OSA, en la cual concluye que mientras mayor sea el grado de sustitución, más compacto y resistente será a la penetración del agua y a enzimas. Por otra parte, Zhang et al. (2020) señala que la microestructura del almidón nativo de trigo es más heterogénea y no consolidada, mientras que los almidones de trigo modificados con ADA presentan una organización más homogénea. Se observó que la estructura de la superficie de ADA tendía a suavizarse, lo que reduce la movilidad del agua en el gel, produciendo una estructura porosa más pequeña y compacta. De acuerdo a los resultados reportados en la literatura coinciden con las observaciones realizadas en este estudio.

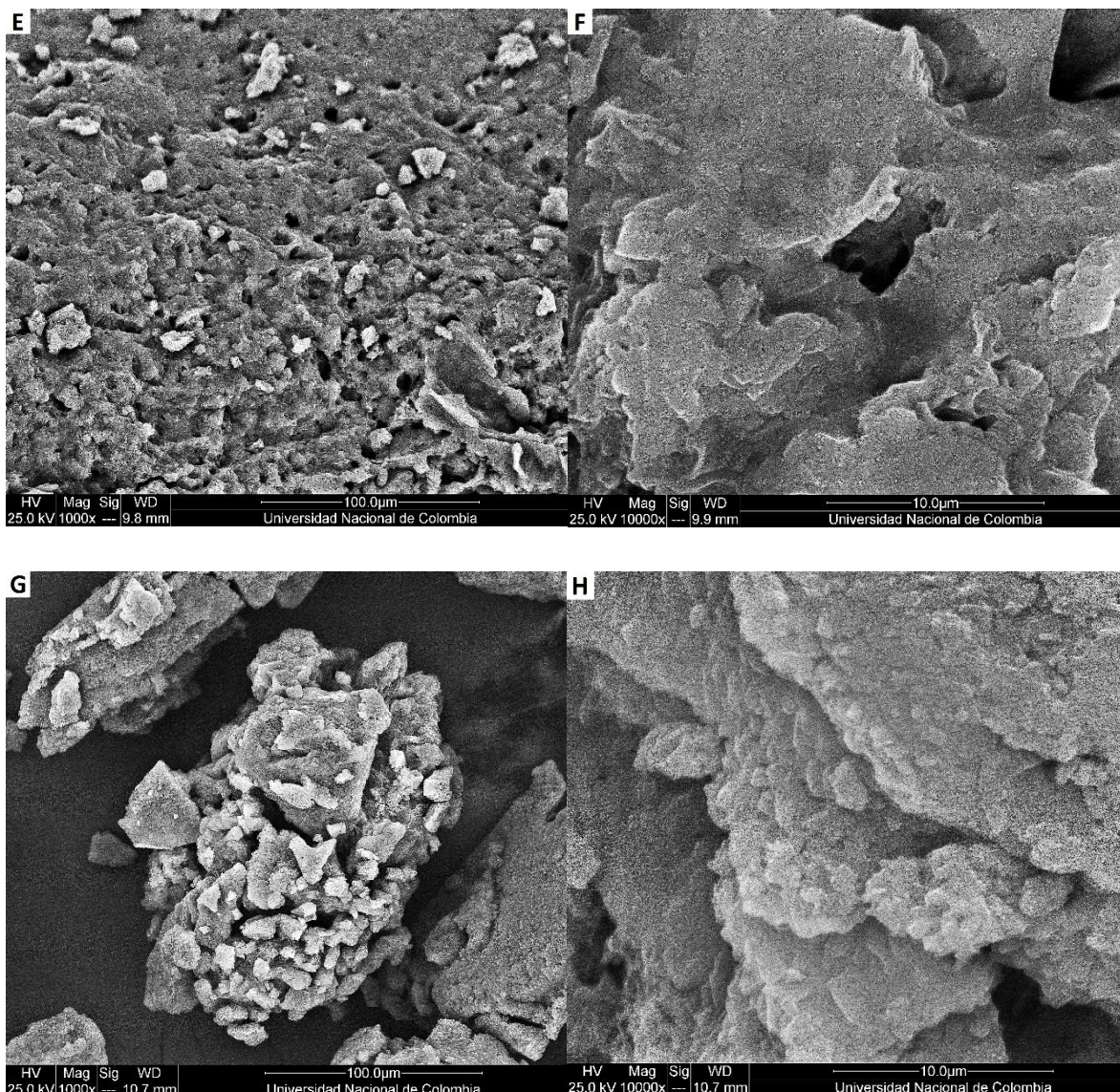
Desde otra perspectiva, la formación de la microestructura del gel de la bebida de soya se transforma en una red tridimensional compuesta de polímeros proteicos densos en una estructura laminar gruesa de partículas de proteína apiladas (Peng & Guo, 2015). Este cambio en la microestructura resulta en una disminución de la dureza y la elasticidad y un aumento de la uniformidad y la suavidad. Así mismo, las proteínas desnaturalizadas inducidas por el calor se agregaron en grupos altamente ramificados debido a las interacciones hidrofóbicas de las proteínas, y se produjo una mayor reticulación durante la acidificación para formar redes tridimensionales (Peng, Ren y Guo, 2016). En otro estudio relacionado a la preparación de yogur de soya, muestra que la porosidad y el gel generado dependen de las cepas y el número utilizado para la fermentación de la bebida de soya. De acuerdo a Cui et al., (2021) el gel elaborado con 5 cepas, muestra una "pared" con poros más gruesa y desigual, que se le atribuye a la presencia de exopolisacaridos durante la formación

del gel, lo que lleva a agregados de proteínas más grandes, inmovilizando una mayor cantidad de proteínas de suero.

Por último, la coagulación de las proteínas de soya se ha estudiado ampliamente con diferentes agentes coagulantes tanto a nivel industrial, como tradicional. Por ejemplo, el tofu se puede formar con cloruro de magnesio, el cual forma enlaces entrecruzados entre las proteínas de la soya (β -conglucina y glicina) con el cloruro de magnesio formando redes tridimensionales, el tamaño y la densidad de estas redes depende de la concentración de MgCl (Lu et al., 2021). La comparación fisicoquímica y de microestructura con otros agentes como son los ácidos orgánicos y el ácido cítrico (X. Yang et al., 2021), y el uso de transglutaminasa microbiana (Rui et al., 2016). Otro agente coagulante comúnmente utilizado es el glucono- δ -lactona (GDL), que se convierte lentamente en ácido glucónico en agua. Sin embargo, de acuerdo a Gul et al., (2021) la gelificación de la bebida de soya inducida por acidificación utilizando cultivos lácticos comerciales resulta en un pH mayor en comparación con el gel inducido por la hidrólisis de GDL. La microestructura típica del gel de tofu es diferenciable comparada con una bebida fermentada de soya, debido a que la textura del tofu normalmente es más compacta, rígida y áspera por la utilización del prensado en el proceso, que no es usada en la elaboración del yogur.

Figura 7. Micrografías electrónicas de barrido (SEM) de bebida fermentada de soya al tercer día de almacenamiento para almidón nativo (A. 1000x y B a 10000x). Tratamiento con almidón ADA (C. 1000x y D. 10000x). Tratamiento con almidón osa (E. 1000x y F. 10000x). Tratamiento con almidón Mixto (G. 1000x y H. 10000x).





4.5.9 Análisis sensorial

Una prueba comparativa entre tratamientos para aceptabilidad general, textura, olor, sabor y color se realizó utilizando un análisis no paramétrico de Kruskal Wallis (Tabla 11). La aceptación general de todos los tratamientos con almidón modificado se pudo diferenciar con respecto al almidón nativo, el cual tuvo una calificación de aceptabilidad más baja (figura 8B). Con respecto a la textura tanto el tratamiento con almidón OSA como el mixto se diferenciaron completamente del almidón nativo. Este atributo, fue juzgado de forma correcta por los consumidores, expresando que la muestra con almidón nativo tenía una textura muy líquida y no cremosa, en contra

parte, las muestras pertenecientes al almidón OSA y mixto eran muchas cremosas, viscosas, con cuerpo y con textura. Adicionalmente, gran parte de los consumidores expresaron que las muestras con almidón ADA era muy fluida y poco consistente. En cuanto al atributo de olor, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos. Para el atributo de sabor los almidones OSA y mixto se diferenciaron del almidón nativo. Este último fue juzgado por un sabor bastante ácido y fermentado, relacionado con sabores no agradables, mientras que los almidones OSA y mixto fueron calificados como agradables con sabor lácteo o similar a bebidas lácteas o a yogures tradicionales. El almidón ADA tuvo una connotación láctea neutra, con falta de sabor o mayor dulzor, a pesar de que a todos los tratamientos se les añadió la misma cantidad de endulzante y el mismo saborizante de fresa que enmascara el sabor característico de la soya. Por último, para el atributo de color, no hubo una diferencia marcada entre todos los tratamientos. Esto es consistente, debido a que a todos los tratamientos se les aplicó el mismo colorante, en la misma concentración.

Tabla 11. Medias de aceptabilidad de acuerdo a puntaje expresado por los consumidores.

Parámetros	Nativo	ADA	OSA	Mixto
Aceptación	4,5 ^a	5,1 ^b	5,5 ^b	5,5 ^b
Textura	4,6 ^a	5,0 ^{ab}	5,3 ^b	5,3 ^b
Olor	4,6 ^a	5,1 ^a	5,2 ^a	5,1 ^a
Sabor	4,5 ^a	5,0 ^a	5,4 ^b	5,3 ^b
Color	5,4 ^a	5,5 ^a	5,4 ^a	5,6 ^a

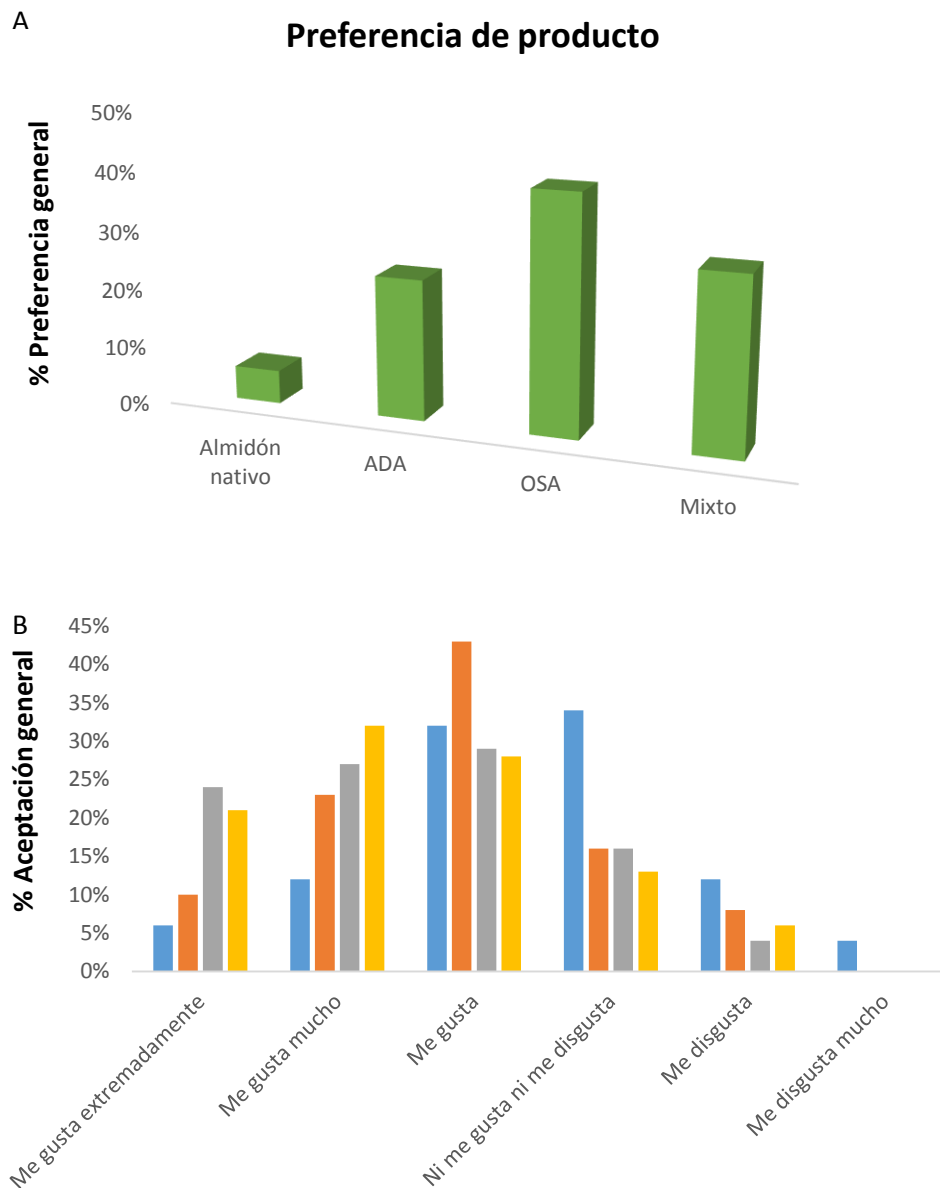
a-b muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Kruskal Wallis

A pesar de que en la prueba de puntajes no hubo, una diferencia entre los tratamientos con almidones modificados para aceptación general, de acuerdo a la pregunta formulada de cuál de los productos le gustaba más, la mayoría de consumidores prefirió la muestra con almidón OSA (figura 8A), en cuanto a la

aceptabilidad general (figura 8B). Algunos consumidores calificaron en la escala hedónica al tratamiento OSA con 7 (24 consumidores), sin embargo, la gran mayoría calificaron con 5 o 6 (27 y 29 consumidores respectivamente). Para el tratamiento con almidón mixto la distribución estuvo presente entre 5, 6 y 7 (21, 32 y 28 consumidores respectivamente). Para el tratamiento con almidón ADA manifestaron que les gusto el producto (43 consumidores), finalmente, para el almidón nativo la aceptación general calificó en 4 y 5 (ni les gusta, ni les disgusta, o les gusta)

Relacionando el análisis sensorial con parámetros como la sinéresis y viscosidad (tabla 4), las observaciones de los consumidores concuerdan con los resultados al describir la textura de las muestras de almidón OSA y mixto al referirse a una bebida similar a un yogur con cremosidad característica, consistente y viscosa. En contra parte, la muestra referentes a ADA tuvo una connotación fluida y poco viscosa, lo cual concuerda de cierta manera al tener una viscosidad (tabla 4) menor que los tratamientos con almidón OSA y mixta. Del mismo modo, la muestra con almidón nativo la describieron bastante líquida, como si a un yogur se le hubiera adicionado agua, lo cual corresponde con la alta sinéresis reportada (tabla 4), esto debido a que la fase sólida se precipitaba y se separaba de la fase líquida a pesar de que se había homogenizado la muestra antes de realizar el análisis sensorial. Con referente al tamaño de partícula (tabla 8), algunos consumidores manifestaron que la sensación en boca en general es bastante suave al paladar, pero en general no manifestaron presencia de grumos, o arenosidad en las muestras, por lo que se puede concluir que el tamaño de partícula en todas las muestras era similar y homogéneo. Finalmente, relacionado con la microestructura, una de las características físicas observadas en las muestras con almidón OSA (figura 7F) es la fragilidad de la estructura de los gránulos lo que conlleva a una textura suave al paladar al igual que el almidón mixto. Por otro lado el almidón ADA, presenta una morfología granular (figura 7C), con apariencia más compacta y resistente, que sensorialmente pueda que no sea cremoso o consistente, pero puede permanecer más tiempo sin variar la sinéresis, viscosidad y consistencia a lo largo del almacenamiento.

Figura 8. A. Preferencia general de los tratamientos; B. Distribución de la aceptación general de acuerdo a la categorización en la escala Hedónica



4.6 Conclusión

El pH durante el tiempo de almacenamiento disminuyó y el porcentaje de ácido láctico aumentó en todos los tratamientos principalmente a procesos posfermentativos. Los sólidos solubles fueron relativamente estables para los tratamientos ADA y nativo, pero no estables para el almidón OSA y mixto en la última semana de almacenamiento.

Para sinéresis, el tratamiento con almidón ADA, OSA y mixto no tuvieron diferencias al final del almacenamiento, en contra parte, el almidón nativo tuvo un aumento del porcentaje de sinéresis debido a la retrogradación del almidón al formar grumos. La viscosidad para el tratamiento con almidón ADA fue estable durante el tiempo de vida. El almidón OSA tuvo una alta viscosidad, pero al final del tiempo de vida disminuyó, por otra parte, el almidón mixto, le confirió una alta viscosidad aparente y buena estabilidad a lo largo del almacenamiento. Finamente, el tratamiento con almidón nativo al final de las tres semanas presentó una viscosidad bastante baja. Por otro lado, el tamaño de partícula fue especialmente unimodal con un tamaño de partícula alrededor de 1 μ m con pequeñas variaciones entre tratamientos y al final del almacenamiento. La diferencia de color (delta E) mostro diferencia observacional entre los tratamientos ADA y mixto, OSA y mixto; En contraparte no se observó diferencias entre el almidón ADA y OSA durante el tiempo de almacenamiento.

Este estudio también mostró que la bebida fermentada de soya tenía recuentos de células viables de BAL significativamente altos durante el tiempo de almacenamiento, así como de probióticos (*B. animalis* subsp. *lactis* y *L. acidophilus*), superior a 6 Log UFC/ml por lo que se considera un producto con probióticos y propiedades funcionales. La morfología del tratamiento con OSA resulto más frágil frente a los otros tratamientos. En contraparte el almidón ADA presentó una estructura resistente porosa.

El análisis sensorial, mostró preferencias por el tratamiento OSA, sin embargo, no se descarta que el tratamiento con almidón mixto tenga propiedades similares y sensorialmente también aceptable ante los consumidores.

5 Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Los tratamientos térmicos en bebidas de soya procesada se aplican para la eliminación de antinutrientes como inhibidores de tripsina, sin embargo, produce disociación, desnaturalización y agregación de proteínas, que afecta la solubilidad proteica al reducir la capacidad de unión al agua, que resulta en una baja viscosidad, consistencia, textura y disgregación entre fases (sinéresis). Estos defectos son contrarrestados por la adición de almidones de yuca modificados que generan una viscosidad más alta con menor sinéresis.

En el presente estudio se logró determinar características reológicas similares a un control comercial de bebida fermentada de soya para tratamientos con almidón OSA y mixto (sustituido-entrecruzado) al 1.0% y ADA al 1.2% con una sinéresis de $37,58 \pm 1,63\%$ y una viscosidad aparente de $171,63 \pm 1,74 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ A 80 S^{-1} . Por otro lado, los controles lácteos mostraron características diferentes entre ambos, pero, si mostraron similitud entre otros tratamientos.

El índice de consistencia (k) fue mayor siempre para los tratamientos con almidón OSA con respecto a los otros dos tipos del almidón modificado en cada una de las concentraciones. Del mismo modo el índice al flujo (n) es menor a 1, propio de fluidos pseudoplásticos.

Por otra parte, la evaluación de parámetros fisicoquímicos a lo largo del tiempo de almacenamiento para los tratamientos con almidones modificados (ADA, OSA, mixto) y almidón nativo al 1.0% mostraron una disminución de pH y aumento de porcentaje de ácido láctico para todos los tratamientos, resultado de procesos posfermentativos. Los sólidos solubles fueron estables durante el tiempo de almacenamiento, excepto en los tratamientos con OSA y mixto en la última semana. La sinéresis a lo largo del tiempo de almacenamiento fue similar entre los tratamientos con almidones modificados. La viscosidad aparente fue mayor para el OSA seguido del mixto, sin embargo, la viscosidad del tratamiento OSA disminuyó

en la última semana, mientras que la del almidón mixto permanece relativamente estable a lo largo del tiempo.

El tamaño de partícula no tuvo cambios a lo largo del tiempo de almacenamiento para todos los almidones excepto para el almidón ADA, que reporto una reducción de tamaño de partícula (pequeño) con relaciona a los otros tratamientos. La diferencia de color (delta E) mostro diferencia observacional entre los tratamientos ADA y mixto; OSA y mixto. En contraparte no se observó diferencias entre el almidón ADA y OSA durante el tiempo de almacenamiento. La microestructura fue más frágil para el almidón OSA, mientras que el almidón ADA mostro una estructura rígida, pero porosa.

Todos los tratamientos a lo largo del tiempo de almacenamiento mostraron altos recuentos de células viables de BAL, así como también recuentos de probióticos superior a 6 Log UFC/ml por lo que se considera un producto con probióticos y propiedad funcionales. En cuanto a la evaluación sensorial de la bebida fermentada mostro valores similares para aceptación general, tanto para OSA, como para mixto, sin embargo, la preferencia del producto fue mayoritaria para el almidón OSA.

5.2 Recomendaciones

Se debe aclarar que los resultados de la evaluación de los almidones de yuca modificados en la bebida de soya fermentada son propios de la matriz y depende también de la cantidad de extracto de soya. Por lo que se recomienda evaluar sus propiedades fisicoquímicas en otra matriz alimentaría.

Así mismo, se sugiere realizar evaluaciones variando diferentes factores de procesamiento, como es: la homogenización con altas presiones, o métodos de homogenización por cizallamiento o cavitación con ultra-turrax; métodos diferentes de tratamientos térmicos como ultra alta pasteurización y tiempos diferentes de tratamientos; Proceso de fermentación utilizando otras cepas, tiempos y temperaturas de fermentación; Aplicación de cuagulantes como alternativa a la fermentación como uso de cloruro de magnesio o glucono- δ -lactona, uso de otros hidrocoloides.

Hay que tener en cuenta que los almidones ADA, OSA y mixto son almidones modificados químicamente, por lo que se consideran almidones resistentes a la digestión gástrica. Por lo tanto, es necesario realizar un estudio de la capacidad de digestibilidad in vitro, así como la capacidad de degradación del almidón por parte de microorganismos fermentadores y/o probióticos al comportarse similar a la fibra con posibles beneficios para la salud. Así mismo, es necesario que se estudie la fermentación de la fibra propia de la soya, como es la rafinosa y estaquiosa.

Se recomienda realizar investigaciones encaminadas a la evaluación de otros tipos de modificaciones en almidones enfocadas a las propiedades de calidad. No solo en almidones químicamente modificados, sino física y enzimáticamente. Estas últimas tienen gran potencial al considerarse más naturales y tener mayor aceptación en consumidores activos e informados.

Se recomienda realizar evaluación sensorial a lo largo del almacenamiento (al principio y final del tiempo de vida del producto), ya que sus características sensoriales pueden variar en el tiempo.

El presente trabajo es de carácter investigativo, sin embargo, se debe tener en cuenta costos de materias primas, procesamiento, producción y rendimiento. Así mismo, comparación de costos con materias primas convencionales (hidrocoloides comúnmente utilizados en la industria).

Referencias

- Abbas, K. A., K. Khalil, S., & Meor Hussin, A. S. (2010). Modified Starches and Their Usages in Selected Food Products: A Review Study. *Journal of Agricultural Science*, 2(2). <https://doi.org/10.5539/jas.v2n2p90>
- Aderibigbe, A. S., Cowieson, A. J., Ajuwon, K. M., & Adeola, O. (2021). Contribution of purified soybean trypsin inhibitor and exogenous protease to endogenous amino acid losses and mineral digestibility. *Poultry Science*, 100(12), 101486. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101486>
- Azizkhani, M., & Tooryan, F. (2016). Antimicrobial activities of probiotic yogurts flavored with peppermint, basil, and zataria against *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes*. *Journal of Food Quality and Hazards Control*, 3(3), 79–86.
- Barco Coro, L. M. (2017). *Elaboración de bebida fermentada a base del extracto de quinua (Chenopodium quinoa Willd) y soya (Glycine max) con la aplicación de probióticos*. 9–19. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6029/1/AGI-2017-006.pdf>
- Benavides, M. A. (2006). *Evaluación de los procesos de fortificación con calcio y saborización de leche y yogurt de soya*. Universidad Nacional de Colombia.
- Canales, N., & Trujillo, M. (2021). La red de valor de la yuca y su potencial en la bioeconomía de Colombia. *Instituto de Ambiente de Estocolmo*, 1–30. <https://cdn.sei.org/wp-content/uploads/2021/05/workingpaperyucabioeconomia-canalestrujillo-mayo21.pdf>
- Chen, B., Zhao, X., Cai, Y., Jing, X., Zhao, M., Zhao, Q., & Van der Meeren, P. (2023). Incorporation of modified okara-derived insoluble soybean fiber into set-type yogurt: Structural architecture, rheological properties and moisture stability. *Food Hydrocolloids*, 137(September 2022), 108413. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108413>
- CHENG, Y. J., THOMPSON, L. D., & BRITTIN, H. C. (1990). Sogurt, a Yogurt-like Soybean Product: Development and Properties. *Journal of Food Science*, 55(4), 1178–1179. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb01631.x>
- Chilo, D. (2020). *Evaluación de las condiciones de proceso para la elaboración de una bebida*

fermentada de quinua [Universidad Nacional de Colombia].
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78836?show=full>

- Cho, E. R., & Kang, D. H. (2022). Intensified inactivation efficacy of pulsed ohmic heating for pathogens in soybean milk due to sodium lactate. *Food Control*, 137(February), 108936. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108936>
- Cruz, N. S., Capellas, M., Jaramillo, D. P., Trujillo, A. J., Guamis, B., & Ferragut, V. (2009). Soymilk treated by ultra high-pressure homogenization: Acid coagulation properties and characteristics of a soy-yogurt product. *Food Hydrocolloids*, 23(2), 490–496. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.03.010>
- Cuenca, M. M., & Quicazán, M. C. (2011). Comparación de la Fermentación de Bebida de Soya y Leche de Vaca utilizando un Cultivo Láctico Comercial. *Ingeniería y Competitividad*, 5(2), 16. <https://doi.org/10.25100/iyc.v5i2.2292>
- Cui, L., Chang, S. K. C., & Nannapaneni, R. (2021). Comparative studies on the effect of probiotic additions on the physicochemical and microbiological properties of yoghurt made from soymilk and cow's milk during refrigeration storage (R2). *Food Control*, 119(July 2020), 107474. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107474>
- Desai, A., Small, D., McGill, A., & Shah, N. (2002). Metabolism Milk and of Raffinose of n-Hexanal Stachyose in Reconstituted Skim and Pentanal in Soymilk by Bifidobacteria Probiotic functional foods are becoming increasingly popular in the diets of people in Australia and in the consumption of products con. *Bioscience Microflora*, 21(4), 245–250.
- Dewell, A., Hollenbeck, P. L. W., & Hollenbeck, C. B. (2006). Clinical review: A critical evaluation of the role of soy protein and isoflavone supplementation in the control of plasma cholesterol concentrations. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 91(3), 772–780. <https://doi.org/10.1210/jc.2004-2350>
- Donkor, O. N., Henriksson, A., Vasiljevic, T., & Shah, N. P. (2007). Rheological properties and sensory characteristics of set-type soy yogurt. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(24), 9868–9876. <https://doi.org/10.1021/jf071050r>

- Drunkler, N. L., Leite, R. S., Mandarino, J. M. G., Ida, E. I., & Demiate, I. M. (2012). Cassava starch as a stabilizer of soy-based beverages. *Food Science and Technology International*, 18(5), 489–499. <https://doi.org/10.1177/1082013211433072>
- Fairweather-Tait, S. J., Southon, S., & Piper, Z. (1988). The effect of alcoholic beverages on iron and zinc metabolism in the rat. *British Journal of Nutrition*, 60(2), 209–215. <https://doi.org/10.1079/bjn19880092>
- Farnworth, E. R., Mainville, I., Desjardins, M. P., Gardner, N., Fliss, I., & Champagne, C. (2007). Growth of probiotic bacteria and bifidobacteria in a soy yogurt formulation. *International Journal of Food Microbiology*, 116(1), 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.12.015>
- Fatima, S. M., & Hekmat, S. (2020). Microbial and Sensory Analysis of Soy and Cow Milk-Based Yogurt as a Probiotic Matrix for *Lactobacillus rhamnosus* GR-1. *Fermentation*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/FERMENTATION6030074>
- Fazilah, N. F., Ariff, A. B., Khayat, M. E., Rios-Solis, L., & Halim, M. (2018). Influence of probiotics, prebiotics, synbiotics and bioactive phytochemicals on the formulation of functional yogurt. *Journal of Functional Foods*, 48(April), 387–399. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.07.039>
- Figuroa-Flórez, J. A., Cadena-Chamorro, E. M., Rodríguez-Sandoval, E., Salcedo-Mendoza, J., & Ciro-Velásquez, H. J. (2019). Cassava starches modified by enzymatic biocatalysis: Effect of reaction time and drying method. *DYNA (Colombia)*, 86(208), 162–170. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.72976>
- Fu, Z., Chen, J., Luo, S. J., Liu, C. M., & Liu, W. (2015). Effect of food additives on starch retrogradation: A review. *Starch/Staerke*, 67(1–2), 69–78. <https://doi.org/10.1002/star.201300278>
- Gao, W., Liu, P., Wang, B., Kang, X., Zhu, J., Cui, B., & Abd El-Aty, A. M. (2021). Synthesis, physicochemical and emulsifying properties of C-3 octenyl succinic anhydride-modified corn starch. *Food Hydrocolloids*, 120(June), 106961. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106961>

- Gomes, J. J. L., Duarte, A. M., Batista, A. S. M., de Figueiredo, R. M. F., de Sousa, E. P., de Souza, E. L., & Queiroga, R. de C. R. do E. (2013). Physicochemical and sensory properties of fermented dairy beverages made with goat's milk, cow's milk and a mixture of the two milks. *Lwt*, *54*(1), 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.04.022>
- Gu, Q., Zhang, C., Song, D., Li, P., & Zhu, X. (2015). Enhancing vitamin B12 content in soy-yogurt by *Lactobacillus reuteri*. *International Journal of Food Microbiology*, *206*, 56–59. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.04.033>
- Guo, J., & Yang, X. Q. (2015). Texture modification of soy-based products. In *Modifying Food Texture: Novel Ingredients and Processing Techniques* (Vol. 1). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-333-1.00011-5>
- Hammes, W. P., & Vogel, R. F. (1995). The genus *Lactobacillus*. *The Genera of Lactic Acid Bacteria*, 19–54. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5817-0_3
- Haroon, M., Wang, L., Yu, H., Abbasi, N. M., Zain-UI-Abdin, Saleem, M., Khan, R. U., Ullah, R. S., Chen, Q., & Wu, J. (2016). Chemical modification of starch and its application as an adsorbent material. In *RSC Advances* (Vol. 6, Issue 82). <https://doi.org/10.1039/c6ra16795k>
- hernandez, fabio. (2009). Diseño De Producto Sobre Bebidas De Saludables a Base De Soya. *09/09/2017*, 219. [Users/HP01/Downloads/tesis bebidas a base de soya.pdf](Users/HP01/Downloads/tesis%20bebidas%20a%20base%20de%20soya.pdf)
- Hou, J. W., Yu, R. C., & Chou, C. C. (2000). Changes in some components of soymilk during fermentation with bifidobacteria. *Food Research International*, *33*(5), 393–397. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00061-2](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00061-2)
- Huang, I.-L., Francis, F. J., & Clydesdale, F. M. (1970). COLORIMETRY OF FOODS. 3. Carrot Puree. *Journal of Food Science*, *35*(6), 771–773. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1970.tb01991.x>
- Hwang, C. E., Kim, S. C., Kim, D. H., Lee, H. Y., Suh, H. K., Cho, K. M., & Lee, J. H. (2021). Enhancement of isoflavone aglycone, amino acid, and CLA contents in fermented soybean yogurts using different strains: Screening of antioxidant and digestive enzyme

inhibition properties. *Food Chemistry*, 340(September 2020), 128199. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128199>

Imbachí-Narváez, P. C. (2017). *Efecto del almidón de yuca modificado sobre las propiedades fisicoquímicas, reológicas y sensoriales de una bebida láctea elaborada con suero de quesería*. Universidad Nacional de Colombia.

Imbachí-Narváez, P. C., Sepúlveda-Valencia, J. U., & Rodríguez-Sandoval, E. (2019). Effect of modified cassava starch on the rheological and quality properties of a dairy beverage prepared with sweet whey. *Food Science and Technology*, 39(1), 134–142. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.28017>

Imbachí, P. C., Sepúlveda, J. U., & Rodríguez, E. (2018). Effect of modified cassava starch on the rheological and quality properties of a dairy beverage prepared with sweet whey. *Food Science and Technology*, 39(1), 134–142. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.28017>

Jayarathna, S., Priyashantha, H., Johansson, M., Vidanarachchi, J. K., Jayawardana, B. C., & Liyanage, R. (2021). Probiotic enriched fermented soy-gel as a vegan substitute for dairy yoghurt. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(1), 1–10. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15092>

Ji, H., Bai, Y., Li, X., Zheng, D., Shen, Y., & Jin, Z. (2020). Structural and property characterization of corn starch modified by cyclodextrin glycosyltransferase and specific cyclodextrinase. *Carbohydrate Polymers*, 237(October 2019), 116137. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116137>

Jia, Y., Fu, Y., Man, H., Yan, X., Huang, Y., Sun, S., Qi, B., & Li, Y. (2022). Comparative study of binding interactions between different dietary flavonoids and soybean β -conglycinin and glycinin: Impact on structure and function of the proteins. *Food Research International*, 161(August), 111784. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111784>

Jimoh, K. O., & Kolapo, A. L. (2007). Effect of different stabilizers on acceptability and shelf-stability of soy-yoghurt. *African Journal of Biotechnology*, 6(8), 1000–1003. <https://doi.org/10.4314/ajb.v6i8.57031>

- Joon, R., Mishra, S. K., Brar, G. S., Singh, P. K., Mishra, S. K., & Panwar, H. (2017). Instrumental texture and syneresis analysis of yoghurt prepared from goat and cow milk. *The Pharma Innovation Journal*, *6*(7), 971–974.
- Kaankuka, F. G., Balogun, T. F., & Tegbe, T. S. B. (1996). Effects of duration of cooking of full-fat soya beans on proximate analysis, levels of antinutritional factors, and digestibility by weanling pigs. *Animal Feed Science and Technology*, *62*(2–4), 229–237. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(96\)00952-2](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(96)00952-2)
- Kapelko-Zeberska, M., Zięba, T., Sychaj, R., & Gryszkin, A. (2015). Acetylated adipate of retrograded starch as RS 3/4 type resistant starch. *Food Chemistry*, *188*, 365–369. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.018>
- Khatoon, S., Sreerama, Y. N., Raghavendra, D., Bhattacharya, S., & Bhat, K. K. (2009). Properties of enzyme modified corn, rice and tapioca starches. *Food Research International*, *42*(10), 1426–1433. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.025>
- Kim, B. H., Shewfelt, R. L., Lee, H., & Akoh, C. C. (2005). Sensory Evaluation of Butterfat-Vegetable Oil Blend Spread Prepared with Structured Lipid Containing Canola Oil and Caprylic Acid. *Journal of Food Science*, *70*(7), s406–s412. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb11484.x>
- Köll, P., Mändar, R., Marcotte, H., Leibur, E., Mikelsaar, M., & Hammarström, L. (2008). Characterization of oral lactobacilli as potential probiotics for oral health. *Oral Microbiology and Immunology*, *23*(2), 139–147. <https://doi.org/10.1111/j.1399-302X.2007.00402.x>
- Kong, X., Jia, C., Zhang, C., Hua, Y., & Chen, Y. (2017). Characteristics of soy protein isolate/gum Arabic-stabilized oil-in-water emulsions: Influence of different preparation routes and pH. *RSC Advances*, *7*(51), 31875–31885. <https://doi.org/10.1039/c7ra01472d>
- Ladokun, O., & Oni, S. (2014). Fermented Milk Products from Different Milk Types. *Food and Nutrition Sciences*, *05*(13), 1228–1233. <https://doi.org/10.4236/fns.2014.513133>
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). Sensory evaluation of food: principles of good practice.

In *Sensory Evaluation of Food*.

- Leon, L., & Joseline, N. (2017). *Evaluación fisicoquímica, químico proximal y sensorial de la leche de soya (Glycine max) fermentada con cultivo Kéfir*. 143.
- Levy, R., Okun, Z., Davidovich-Pinhas, M., & Shpigelman, A. (2021). Utilization of high-pressure homogenization of potato protein isolate for the production of dairy-free yogurt-like fermented product. *Food Hydrocolloids*, 113(October), 106442. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106442>
- Li, X. yin, Li, G. yan, Zeng, Q. zhu, Su, D. xiao, He, S., Yang, X. quan, Nag, A., Li, J., & Yuan, Y. (2022). The formation of soy protein fibrils-chitin nanowhisker complex coacervates: Relationship to mixed foam stability. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 652(July), 129783. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.129783>
- Liu, H., Ramsden, L., & Corke, H. (1999). Physical properties of cross-linked and acetylated normal and waxy rice starch. *Starch/Staerke*, 51(7), 249–252. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1521-379x\(199907\)51:7<249::aid-star249>3.3.co;2-f](https://doi.org/10.1002/(sici)1521-379x(199907)51:7<249::aid-star249>3.3.co;2-f)
- Lobato-Calleros, C., Ramírez-Santiago, C., Vernon-Carter, E. J., & Alvarez-Ramirez, J. (2014). Impact of native and chemically modified starches addition as fat replacers in the viscoelasticity of reduced-fat stirred yogurt. *Journal of Food Engineering*, 131, 110–115. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.01.019>
- Lu, X., Su, H., Guo, J., Tu, J., Lei, Y., Zeng, S., Chen, Y., Miao, S., & Zheng, B. (2019). Rheological properties and structural features of coconut milk emulsions stabilized with maize kernels and starch. *Food Hydrocolloids*, 96(April), 385–395. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.027>
- Lu, Y., Cui, Z., Guan, X., Lin, J., Zhong, X., & Zhang, M. (2021). Effect of magnesium chloride concentration on soymilk coagulation mechanism. *Lwt*, 150(June), 112000. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112000>
- Mahmood, K., Kamilah, H., Shang, P. L., Sulaiman, S., Ariffin, F., & Alias, A. K. (2017). A review: Interaction of starch/non-starch hydrocolloid blending and the recent food

- applications. *Food Bioscience*, 19(May), 110–120.
<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.05.006>
- Mali, S., & Grossmann, M. V. E. (2001). Preparation of acetylated distarch adipates by extrusion. *Lwt*, 34(6), 384–389. <https://doi.org/10.1006/fstl.2001.0768>
- Margoth Montoya, W. J. (2010). *Obtención de una bebida funcional fermentada de soya y quinua empleando bacterias probióticas*. Fundación Universitaria Incca de Colombia.
- Marulanda-Botero, Á. M., & Pérez-Acosta, J. C. (2007). Evaluación técnica y aceptación del mercado de dos nuevos productos a base de soya: leche de soya y semillas de soya tostadas, procesadas por la microempresa zohar. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). Universidad Tecnológica de Pereira.
- McNamee, C. E., Sato, Y., Wiege, B., Furikado, I., Marefati, A., Nylander, T., Kappl, M., & Rayner, M. (2018). Rice starch particle interactions at air/aqueous interfaces-effect of particle hydrophobicity and solution ionic strength. *Frontiers in Chemistry*, 6(MAY), 1–15.
<https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00139>
- Mi, J., Ni, W., Huang, P., Hong, J., Jia, R., Deng, S., Yu, X., Wei, H., & Yang, W. (2022). Effect of acetylated distarch adipate on the physicochemical characteristics and structure of shrimp (*Penaeus vannamei*) myofibrillar protein. *Food Chemistry*, 373(PB), 131530.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131530>
- Ministerio de Salud. (2014). Análisis microbiológico de los alimentos. Metodología analítica oficial. Microorganismos indicadores. *Red Nacional de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos*, 1, 1–175.
http://www.anmat.gov.ar/renaloea/docs/Analisis_microbiologico_de_los_alimentos_Vol_II_I.pdf
- Mitra, P., Nepal, K., & Tavade, P. (2022). Effect of whey and soy proteins fortification on the textural and rheological properties of value-added yogurts. *Applied Food Research*, 2(2), 100195. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100195>
- Monroy-arellano, M. R., & Espriella-angarita, S. D. La. (2020). Modificación química de

almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 39(5), 620–629.

- Moraes Filho, M. L., Busanello, M., & Garcia, S. (2019). Probiotic creamy soy sauce with *Lactobacillus plantarum* BG 112. *British Food Journal*, 121(11), 2746–2758. <https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2019-0116>
- Muroyama, K., Atsumi, R., & Andoh, A. (2006). Effect of pretreatment on lactic acid fermentation of bean curd refuse with simultaneous saccharification. In *Studies in Surface Science and Catalysis* (Vol. 159). Elsevier Masson SAS. [https://doi.org/10.1016/s0167-2991\(06\)81551-x](https://doi.org/10.1016/s0167-2991(06)81551-x)
- Namazi, H., Fathi, F., & Dadkhah, A. (2011). Hydrophobically modified starch using long-chain fatty acids for preparation of nanosized starch particles. *Scientia Iranica*, 18(3 C), 439–445. <https://doi.org/10.1016/j.scient.2011.05.006>
- Nikitina, E., Ahmad Riyanto, R., Vafina, A., Yurtaeva, T., & Tsyganov, Galina Ezhkova, M. (2019). Effect of Fermented Modified Potato Starches to Low-fat Yogurt. *Journal of Food and Nutrition Research*, 7(7), 549–553. <https://doi.org/10.12691/jfnr-7-7-10>
- Obadina, A. O., Akinola, O. J., Shittu, T. A., & Bakare, H. A. (2013). Effect of Natural Fermentation on the Chemical and Nutritional Composition of Fermented Soymilk Nono. *Nigerian Food Journal*, 31(2), 91–97. [https://doi.org/10.1016/s0189-7241\(15\)30081-3](https://doi.org/10.1016/s0189-7241(15)30081-3)
- Ojogbo, E., Ogunsona, E. O., & Mekonnen, T. H. (2020). Chemical and physical modifications of starch for renewable polymeric materials. *Materials Today Sustainability*, 7–8, 100028. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2019.100028>
- Ovando-Martinez, M., Whitney, K., Ozsisli, B., & Simsek, S. (2017). Physicochemical Properties of Octenyl Succinic Esters of Cereal, Tuber and Root Starches. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(1), 1–9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12872>
- Pang, Z., Safdar, B., Wang, Y., Sun, M., & Liu, X. (2021). Improvement of tribo-rheological properties of acid soymilk gels by reinforcement of 7S or 11S proteins. *Food Hydrocolloids*, 110(July 2020), 106173. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106173>

- Panhoni Manzano, G. P., Daiuto, E. R., Janzantti, N. S., & Rossi, E. A. (2008). ASPECTOS SENSORIAIS E FÍSICO-QUÍMICOS DE “IOGURTES” DE SOJA COM ESPESSANTES/ESTABILIZANTES A BASE DE FÉCULA DE INHAME (*Dioscorea alata*), AMIDO MODIFICADO E GELATINA. *Boletim Do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 26(2), 287–296. <https://doi.org/10.5380/cep.v26i2.13285>
- Partheniadis, I., Zarafidou, E., Litinas, K. E., & Nikolakakis, I. (2020). Enteric release essential oil prepared by co-spray drying methacrylate/polysaccharides—influence of starch type. *Pharmaceutics*, 12(6), 1–24. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12060571>
- Peng, X., & Guo, S. (2015). Texture characteristics of soymilk gels formed by lactic fermentation: A comparison of soymilk prepared by blanching soybeans under different temperatures. *Food Hydrocolloids*, 43, 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.04.034>
- Pereira, D. G., & Del Pino Beleia, A. (2021). Characterization of acid-thinned cassava starch and its technological properties in sugar solution. *Lwt*, 151(July), 112151. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112151>
- Piazzentin, A. C. M., da Silva, T. M. S., Florence-Franco, A. C., Bedani, R., Converti, A., & de Souza Oliveira, R. P. (2020). Soymilk fermentation: effect of cooling protocol on cell viability during storage and in vitro gastrointestinal stress. *Brazilian Journal of Microbiology*, 51(4), 1645–1654. <https://doi.org/10.1007/s42770-020-00369-z>
- Puppo, M. C., Sorgentini, D. A., & Añón, M. C. (2000). Rheological Study of Dispersions Prepared. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77(1), 63–71.
- Quicazán, Martha C, Mancera, J., Ciencia, I. De, Universidad, D. A., & Tel, B. (1999). *Utilización De Avena En La Producción De Yogurt No Lacteo a Base De Soya Utilizando Un Cultivo Probiotico*. 1975, 3165300.
- Quicazán, Martha Cecilia. (2012). *Aplicación de fermentación láctica como alternativa en el desarrollo de bebidas de soya en Colombia / Application of lactic fermentation as an alternative in the development of soy beverages in Colombia*. 252. <http://www.bdigital.unal.edu.co/7318/>

- Quicazán, Martha Cecilia, Sandoval, A., & Padilla, G. (2017). Evaluación de la fermentación de bebida de soya con un cultivo láctico. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 3(2), 92–99.
- Reddy, G., Altaf, M., Naveena, B. J., Venkateshwar, M., & Kumar, E. V. (2008). Amylolytic bacterial lactic acid fermentation - A review. *Biotechnology Advances*, 26(1), 22–34. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.07.004>
- Resolución 2606 de 2009, 2009. República de Colombia, Ministerio de la Protección Social. 203 (2009).
- Rouhana, A., Adler-Nissen, J., Cogan, U., & Frøkiær, H. (1996). Heat inactivation kinetics of trypsin inhibitors during high temperature-short time processing of soymilk. *Journal of Food Science*, 61(2), 265–269. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1996.tb14173.x>
- Rui, X., Fu, Y., Zhang, Q., Li, W., Zare, F., Chen, X., Jiang, M., & Dong, M. (2016). A comparison study of bioaccessibility of soy protein gel induced by magnesiumchloride, glucono- δ -lactone and microbial transglutaminase. *Lwt*, 71, 234–242. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.03.032>
- Sajilata, M. G., & Singhal, R. S. (2005). Specialty starches for snack foods. *Carbohydrate Polymers*, 59(2), 131–151. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.08.012>
- Scalabrini, P., Rossi, M., Spettoli, P., & Matteuzzi, D. (1998). Characterization of Bifidobacterium strains for use in soymilk fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 39(3), 213–219. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(98\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(98)00005-1)
- Sengupta, S., Bhattacharyya, D. K., Goswami, R., & Bhowal, J. (2019). Emulsions stabilized by soy protein nanoparticles as potential functional non-dairy yogurts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(13), 5808–5818. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9851>
- SHELEF, L. A., BAHNMILLER, K. R., ZEMEL, M. B., & MONTE, L. M. (1988). Fermentation of Soymilk With Commercial Freeze-Dried Starter Lactic Cultures. *Journal of Food Processing and Preservation*, 12(3), 187–195. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1988.tb00078.x>
- Shi, S. S., & He, G. Q. (2012). Process optimization for cassava starch modified by octenyl

- succinic anhydride. *Procedia Engineering*, 37(Cems), 255–259.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.236>
- Singh, J., Kaur, L., & Singh, N. (2004). Effect of acetylation on some properties of corn and potato starches. *Starch/Staerke*, 56(12), 586–601.
<https://doi.org/10.1002/star.200400293>
- Sozzi, T., Brigidi, P., Mignot, O., & Matteuzzi, D. (1990). Use of dicloxacillin for the isolation and counting of Bifidobacteria from dairy products . *Le Lait*, 70(4), 357–361.
<https://doi.org/10.1051/lait:1990427>
- Tabasco, R., Paarup, T., Janer, C., Peláez, C., & Requena, T. (2007). Selective enumeration and identification of mixed cultures of *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *L. acidophilus*, *L. paracasei* subsp. *paracasei* and *Bifidobacterium lactis* in fermented milk. *International Dairy Journal*, 17(9), 1107–1114.
<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.01.010>
- Tan, Y., Chang, S. K. C., & Zhang, Y. (2016). Innovative Soaking and Grinding Methods and Cooking Affect the Retention of Isoflavones, Antioxidant and Antiproliferative Properties in Soymilk Prepared from Black Soybean. *Journal of Food Science*, 81(4), H1016–H1023.
<https://doi.org/10.1111/1750-3841.13266>
- Unión Europea. (2011). Reglamento (UE) N° 1129/2011 de la Comisión de 11 de noviembre de 2011 por el que se modifica el anexo II del Reglamento (CE) N° 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo para establecer una lista de aditivos alimentarios de la Unión. *Diario Oficial de La Unión Europea*, 6, 177.
<https://www.boe.es/doue/2011/295/L00001-00177.pdf>
- Vanegas Pérez, L. S., Restrepo Molina, D. A., & López Vargas, J. H. (2009). Características De Las Bebidas Con Proteína De Soya. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 62(2), 5165–5175.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472009000200015&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Vanga, S. K., Wang, J., & Raghavan, V. (2020). Effect of ultrasound and microwave

- processing on the structure, in-vitro digestibility and trypsin inhibitor activity of soymilk proteins. *Lwt*, 131, 109708. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109708>
- Vasconcelos, I. M., Siebra, E. A., Maia, A. A. B., Moreira, R. A., Neto, A. F., Campelo, G. J. A., & Oliveira, J. T. A. (1997). Composition, toxic and antinutritional factors of newly developed cultivars of Brazilian soybean (*Glycine max*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 75(4), 419–426. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199712\)75:4<419::AID-JSFA886>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199712)75:4<419::AID-JSFA886>3.0.CO;2-D)
- Verni, M., Demarinis, C., Rizzello, C. G., & Baruzzi, F. (2020). Design and characterization of a novel fermented beverage from lentil grains. *Foods*, 9(7), 1–13. <https://doi.org/10.3390/foods9070893>
- Wang, X., Li, X., Chen, L., Xie, F., Yu, L., & Li, B. (2011). Preparation and characterisation of octenyl succinate starch as a delivery carrier for bioactive food components. *Food Chemistry*, 126(3), 1218–1225. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.006>
- Wei, G., Chitrakar, B., Regenstein, J. M., Sang, Y., & Zhou, P. (2022). Microbiology, flavor formation, and bioactivity of fermented soybean curd (furu): A review. *FOOD RESEARCH INTERNATIONAL*, 112183. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112183>
- Witczak, M., Juszczak, L., Ziobro, R., & Korus, J. (2012). Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part I: Rheological and thermal properties of gluten-free dough. *Food Hydrocolloids*, 28(2), 353–360. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.01.009>
- Xiao, Z., Kang, Y., Hou, W., Niu, Y., & Kou, X. (2019). Microcapsules based on octenyl succinic anhydride (OSA)-modified starch and maltodextrins changing the composition and release property of rose essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 137, 132–138. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.178>
- Yang, L., Zhou, Y., Wu, Y., Meng, X., Jiang, Y., Zhang, H., & Wang, H. (2016). Preparation and physicochemical properties of three types of modified glutinous rice starches. *Carbohydrate Polymers*, 137, 305–313. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.065>

- Yang, X., Ren, Y., Liu, H., Huo, C., & Li, L. (2021). Differences in the physicochemical, digestion and microstructural characteristics of soy protein gel acidified with lactic acid bacteria, glucono- δ -lactone and organic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 185(June), 462–470. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.071>
- Yi, R., Tan, F., & Zhao, X. (2020). Physicochemical and functional properties of lactobacillus fermented soybean milk. *E3S Web of Conferences*, 145, 8–11. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014501034>
- Zhang, D., Lin, Z., Lei, W., & Zhong, G. (2020). Synergistic effects of acetylated distarch adipate and sesbania gum on gelatinization and retrogradation of wheat starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 156, 171–179. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.256>
- Zhang, J., Peng, X., & Guo, S. (2021). Protein-lipid film (fuzhu) prepared from soymilk: Effects of soymilk convection on its formation, composition, and quality. *Lwt*, 141(17), 110909. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110909>
- Zhang, Y., & Chang, S. K. C. (2022). Trypsin inhibitor activity, phenolic content and antioxidant capacity of soymilk as affected by grinding temperatures, heating methods and soybean varieties. *Lwt*, 153(June 2021), 112424. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112424>
- Zhang, Y., Guo, S., Liu, Z., & Chang, S. K. C. (2012). Off-flavor related volatiles in soymilk as affected by soybean variety, grinding, and heat-processing methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(30), 7457–7462. <https://doi.org/10.1021/jf3016199>
- Zhu, Y. Y., Thakur, K., Feng, J. Y., Cai, J. S., Zhang, J. G., Hu, F., & Wei, Z. J. (2020). B-vitamin enriched fermented soymilk: A novel strategy for soy-based functional foods development. *Trends in Food Science and Technology*, 105(June), 43–55. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.019>
- Zięba, T., Gryszkin, A., & Kapelko, M. (2014). Selected properties of acetylated adipate of retrograded starch. *Carbohydrate Polymers*, 99, 687–691. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.08.064>

Anexo 2

GEL LACT®

Gel Lact® es un almidón de yuca modificado, empleado principalmente en la elaboración de derivados lácteos. Soporta temperaturas altas durante la cocción, suministrando cuerpo, estabilidad y textura suave en la boca a las mezclas procesadas.

Usos

Ideal para la fabricación de derivados lácteos tipo yogurt, productos fermentados, cremas agrias, bebidas lácteas, quesos frescos e hilados y dulces de leche. Ideal para formulaciones bajas en calorías.

Dosificación

Quesos frescos	0,1% - 0,3%
Quesos hilados	0,05% - 0,3%
Bebidas lácteas fermentadas y no fermentadas	0,5% - 1,2%

Almacenamiento y empaque

Empaque:	bultos de 25 kg en sacos de papel, con bolsa de polietileno.
Almacenamiento:	mantener alejado de la luz directa del sol y olores fuertes.
Vida útil:	un (1) año en condiciones adecuadas de almacenamiento.

Principales Características

- Agente emulsificante y estabilizante.
- Genera texturas similares a productos de alto contenido graso, con un contenido bajo de calorías.
- Libre de olor y sabor, mejora la percepción de sabor del alimento.
- Excelente resistencia al calentamiento, pH bajo y procesos de manufactura.
- Producto libre de gluten.
- Ideal para sustituir contenidos de grasa y proteína en derivados lácteos.

Propiedades Físicoquímicas

Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo
Viscosidad	(BU)	709	849
Temperatura de gelificación	(°C)	54	70
Humedad	(%)	-	13,5
Cenizas	(%)	-	0,5
pH en solución	-	5,0	8,0

Propiedades Microbiológicas

Microorganismo (unidad)	Mínimo	Máximo
Recuento de bacterias aerobias <i>Mesófilos</i> (UFC/g)	10000	50000

Recuento E. Coli (UFC/g)	0	<10
Recuento de Mohos y levaduras (UFC/g)	100	1000
Determinación de Salmonella /25 g	Ausencia	Ausencia

Información sobre alérgenos

Alimentos alérgenos y productos derivados	Contenido en el producto		Posibilidad de encontrar trazas en el producto	
	SI	NO	SI	NO
Cereales con Gluten y sus derivados, es decir trigo, centeno, avena, cebada, espelta o sus variedades híbridas.		X		X
Crustáceos y sus derivados, camarones- gambas, cangrejos.		X		X
Huevos y subproductos		X		X
Pescado y sus derivados		X		X
Maní y sus derivados.		X		X
Frutos secos y derivados, es decir, almendras, avellanas, nueces.		X		X
Leche y sus derivados (Incluida la Lactosa)		X		X
Soya y sus derivados		X		X
Apio		X		X
Mostaza		X		X
Semillas de sésamo o Ajonjolí		X		X
Lupino o altramuz		X		X
Moluscos		X		X
Anhídrido sulfuroso y sulfitos en concentraciones superiores a 10 mg/kg o 10 mg/litro expresado como SO ₂		X		X

Radiaciones

El producto no ha sido irradiado

OGM

Este producto no entra dentro del ámbito de aplicación de la Resolución 4254 DE 2011 (alimentos OGM). Es decir, no contiene ni está compuesto por OGM, ni se ha producido a partir de OGM, ni contiene ingredientes producidos a partir de OGM. Por tanto, no está sujeto a los requisitos específicos en materia de etiquetado establecidos en la citada resolución.

Sustancias contaminantes

El producto cumple con la “Resolución 4506 de 2013 por la cual se establecen los niveles máximos de contaminantes en los alimentos destinados al consumo humano”. También cumple con los requisitos establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 6066 para almidón nativo de yuca.

Contaminante	Máximo (mg/Kg)
Cadmio	0,10

Información sobre Residuos de Plaguicidas

Pesticidas	Resultado	Máximo
Alaclor	0,00	No más de 0,02 ppm
Aldrin y Dieldrin (suma de los dos)	0,00	No más de 0,05 ppm
Clordano	0,00	No más de 0,05 ppm
DDT	0,00	No más de 1,0 ppm
Endosulfan	0,00	No más de 3,0 ppm
Endrin	0,00	No más de 0,05 ppm
Heptacloro	0,00	No más de 0,05 ppm
BHC	0,00	No más de 0,3 ppm
Permetrin	0,00	No más de 1,0 ppm
Dichlorvos	0,00	No más de 1,0 ppm
Diazinon	0,00	No más de 0,5 ppm
Etion	0,00	No más de 2,0 ppm

Información Nutricional

Porción de 20 gramos (1 cucharada sopera)

	Cantidad por porción	% VD (*)
Valor Energético	800 Kcal = 366 KJ	4
Carbohidratos	20 g	7
Proteínas	0,0 g	0
Grasas Totales	0,0 g	0
Grasas Saturadas	0,0 g	0
Grasas Trans	0,0 g	-----
Fibra Alimentaria	0,1 g	0
Sodio	2,35 mg	0

(*) % Valores diarios con base a una dieta de 2.000 Kcal u 8400 KJ. Sus Valores Diarios

pueden ser mayores o menores dependiendo de sus necesidades energéticas.

Requisitos legales o normativos

- NTC-6066 para almidón nativo de yuca
- Resolución 4254 de 2011
- Resolución 4506 de 2013
- Codex Alimentarius

Anexo 3

GEL® LACT XP

Gel® Lact XP es un almidón de yuca modificado, empleado principalmente en la elaboración de derivados lácteos. Soporta temperaturas altas durante la cocción, suministrando cuerpo, estabilidad y textura suave en la boca a las mezclas procesadas. Su presentación en polvo facilita su uso en todos los procesos para la fabricación de alimentos.

Usos

Ideal para la fabricación productos lácteos fermentados como quesos untables, yogurt griego y bebidas lácteas.

Ideal para la fabricación, salsas, cremas, aderezosIdeal para formulaciones bajas en calorías.

Dosificación

Quesos untables	3%- 4%
Bebidas lácteas fermentadas y no fermentadas	0,5% - 1,2%
yogurt griego	2%-3%
Salsas y aderezos:	1,5% a 3,0%
Otros derivados lácteos	0,5% - 3,0%

Almacenamiento y empaque

Empaque: bultos de 25 kg en sacos de papel, con bolsa de polietileno.

Almacenamiento: mantener alejado de la luz directa del sol y olores fuertes.

Vida útil: un (1) año en condiciones adecuadas de almacenamiento.

Principales Características

- Agente emulsificante y estabilizante.
- Genera texturas similares a productos de alto contenido graso, con un contenido bajode calorías.
- Libre de olor y sabor, mejora la percepción de sabor del alimento.
- Excelente resistencia al calentamiento, pH bajo y procesos de manufactura.

- Producto libre de gluten.
- Ideal para sustituir contenidos de grasa y proteína en derivados lácteos.

Propiedades Fisicoquímicas

Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo
Viscosidad	(BU)	900	1100
Temperatura de gelificación	(°C)	54	70
Humedad	(%)	-	13,5
Cenizas	(%)	-	0,5
pH en solución	-	5,0	8,0

Propiedades Microbiológicas

Microorganismo (unidad)	Mínimo	Máximo
Recuento de bacterias aerobias <i>Mesófilos</i> (UFC/g)	-	50000
Recuento E. Coli (UFC/g)	-	<10
Recuento de Mohos y levaduras (UFC/g)	-	1000
Determinación de Salmonella /25 g	-	Ausencia

Información sobre alérgenos

Alimentos alérgenos y productos derivados	Contenido en el producto		Posibilidad de encontrar trazas en el producto	
	SI	NO	SI	NO
Cereales con Gluten y sus derivados, es decir trigo, centeno, avena, cebada, espelta o sus variedades híbridas.		X		X
Crustáceos y sus derivados, camarones- gambas, cangrejos.		X		X
Huevos y subproductos		X		X
Pescado y sus derivados		X		X
Maní y sus derivados.		X		X
Frutos secos y derivados, es decir, almendras, avellanas, nueces.		X		X
Leche y sus derivados (Incluida la Lactosa)		X		X
Soya y sus derivados		X		X
Apio		X		X
Mostaza		X		X

Semillas de sésamo o Ajonjolí		X		X
Lupino o altramuz		X		X
Moluscos		X		X
Anhídrido sulfuroso y sulfitos en concentraciones superiores a 10 mg/kg o 10 mg/litro expresado como SO ₂		X		X

Radiaciones

El producto no ha sido irradiado

OGM

Este producto no entra dentro del ámbito de aplicación de la Resolución 4254 DE 2011 (alimentos OGM). Es decir, no contiene ni está compuesto por OGM, ni se ha producido a partir de OGM, ni contiene ingredientes producidos a partir de OGM. Por tanto, no está sujeto a los requisitos específicos en materia de etiquetado establecidos en la citada resolución.

Sustancias contaminantes

El producto cumple con la “Resolución 4506 de 2013 por la cual se establecen los niveles máximos de contaminantes en los alimentos destinados al consumo humano”. También cumple con los requisitos establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 6066 para almidón nativo de yuca.

Contaminante	Máximo (mg/Kg)
Cadmio	0,10

Plaguicidas

El producto cumple con la “Resolución 2906 de 2007 por la cual se establecen los Límites Máximos de Residuos de Plaguicidas – LMR en alimentos para consumo humano y en piensos o forrajes”

Pesticidas	Máximo (mg/kg)
Aldrin y dieldrin	0,1
Cipermetrin	0,05
Fenvalerato	0,05
Piretrinas	0,05

Información Nutricional

INFORMACIÓN NUTRICIONAL				
Tamaño porción 100g				
Porciones por envase 10				
Cantidad por porción				
Calorías	350		Calorías de la grasa	0
			Valor diario	
Grasa Total	0g			0%
	Grasa Saturada	0g		0%
	Grasa Insaturada	0g		
	Grasas Cis			
	Grasas Trans			
Colesterol	0mg			0%
Sodio	10mg			0%
Carbohidratos Disponibles	86g			29%
	Fibra Dietaria	0g		
	Fibra Insoluble	0g		
	Fibra Soluble	0g		
Proteína	<1g			1%
Vitamina A	0%	●	Vitamina C	0%
Hierro	8%	●	Calcio	2%
*Los porcentajes de valores diarios están basados en una dieta de 2000 calorías. Sus valores diarios pueden ser mayores o menores dependiendo de sus necesidades calóricas:				
		Calorías	2000	2500
Grasa Total		menor que	65g	80g
	Grasa Saturada	menor que	20g	25g
Colesterol		menor que	300mg	300mg
Sodio		menor que	2400mg	2400mg
Carbohidratos Totales		menor que	300g	375g
	Fibra Dietaria	menor que	25g	30g
Calorías por gramo:				
	Grasas	9	Carbohidratos	4
				Proteína 4

Requisitos legales o normativos

- NTC-6066 para almidón nativo de yuca
- Resolución 4254 de 2011
- Resolución 4506 de 2013
- Resolución 2906 de 2007

Anexo 4

Evaluación sensorial de bebidas fermentadas de soya

M	F
---	---

Nombre: _____ Edad: _____ Género: _____

¿Actualmente fuma? ____

¿Presenta alguna enfermedad que afecte sus sentidos? ____

¿Es usted alérgico a productos a base de soya? ____

¿Ha consumido bebidas fermentadas **NO** lácteas tipo yogurt? ____

Si su respuesta anterior es un si diga cuales: _____.

Marque con una **X** en cada atributo según su preferencia para cada código de producto.

ATRIBUTO	TEXTURA				OLOR				SABOR				COLOR				ACEPTACIÓN GENERAL			
	Código de producto																			
Nivel de agrado	637	325	853	278	637	325	853	278	637	325	853	278	637	325	853	278	637	325	853	278
Me gusta extremadamente																				
Me gusta mucho																				
Me gusta																				
Ni me gusta ni me disgusta																				
Me disgusta																				
Me disgusta mucho																				
Me disgusta extremadamente																				

¿Cuál de las 4 bebidas prefiere y por qué?
