UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Evaluación de diferentes cultivos de baja post acidificación aplicados a una bebida láctea fermentada

Silvina van Hissenhoven Lapacó

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias, Ciencia y Tecnología de Alimentos
Bogotá, Colombia

2017

Evaluación de diferentes cultivos de baja post acidificación aplicados a una bebida láctea fermentada

Silvina van Hissenhoven Lapacó

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de
Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Director:
Luis Felipe Gutiérrez, PhD.

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias, Ciencia y Tecnología de Alimentos
Bogotá, Colombia

2017

Resumen

En la industria láctea se cuenta con una amplia gama de cultivos para la producción de yogures y bebidas lácteas fermentadas con un comportamiento definido en cuanto a textura y sabor, así como en cinética de fermentación y post acidificación. Los cultivos escogidos son importantes en el diseño de productos, ya que afectan sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales.

En este trabajo se desarrolló una bebida láctea fermentada compuesta por un yogur base y un jarabe de frutas en proporciones 50-50% (v/v) empleando para la fabricación del yogur tres cultivos de baja post-acidificación compuestos por combinaciones de cepas individuales de bacterias ácido lácticas de *Streptococcus thermophilus y Lactobacillus delbruekii* spp*. bulgaricus.* Se evaluó el efecto del tipo de cultivo en la cinética de fermentación y en las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales tanto de los yogures (precursor del producto final) como de las bebidas lácteas fermentadas (producto final) a lo largo de su vida de anaquel.

La caracterización de los productos se realizó con: **1)** *Medidas fisicoquímicas*: pH, acidez titulable, viscosidad, sinéresis y medidas reológicas, **2)** *Medidas sensoriales*: perfiles de análisis cuantitativo descriptivo y **3)** *Medidas microbiológicas*: cantidad de *Streptococcus thermophilus y Lactobacillus delbruekii* spp y mediciones de coliformes totales*, Escherichia Coli,* hongos y levaduras*, Staphylococcus aureus y Bacillus cereus.*

Los resultados obtenidos indicaron que la cinética de fermentación no se vió influenciada por los diferentes cultivos escogidos, pero las características fisicoquímicas, sensoriales y microbiológicas si se vieron afectadas. El cultivo YF L812 fue el que confirió al yogur base y a la bebida láctea fermentada una mayor viscosidad y acidez láctica tanto instrumental como sensorial así como el que mayor cremosidad y *“mouthfeel”* presentó.

Palabras clave: Yogur, bebida láctea fermentada, cultivos de baja post-acidificación

Abstract

In the dairy industry, there is a wide variety of starter cultures for the production of yogurts and fermented milk beverages with defined texture and flavor performance as well as acidification speed and post acidification. When producing yogurt, various parameters like processing, milk base, milk powder, thickener and culture influence the characteristics of the final product.

In this work, a fermented milk beverage composed 50% by a yogurt and 50% by a syrup (v/v) was investigated using three low post-acidification cultures composed of combinations of defined single strains of the lactic acid bacteria *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbruekii* spp*, bulgaricus*. The effect of different type of culture on the fermentation kinetics and on the physicochemical, microbiological and sensory properties of the yogurts (precursor of the final product) and fermented milk beverages (final product) during its refrigerated storage were evaluated.

Products were characterized by: **1)** Physicochemical measures: pH, titratable acidity, viscosity, syneresis and rheological measurements, **2)** Sensory measures: quantitative descriptive analysis profiles and **3)** Microbiological measurements: amount of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbruekii* spp and measurements of total coliforms, *Escherichia coli*, fungi and yeasts, *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus*.

The results indicated that fermentation kinetics was not influenced by the different cultures chosen, but the physicochemical, sensorial and microbiological characteristics were affected. The YF L812 starter culture was the one that conferred the yogurt and fermented milk beverages the greatest viscosity and lactic acidity as well as the one that greater creaminess and mouthfeel presented.

Keywords: Yogurt, fermented milk beverage, low post-acidification starter cultures

Contenido

Pág.

Resumen **4**

Lista de gráficos **8**

Lista de figuras **9**

Lista de tablas **10**

Introducción **12**

1. Objetivos **16**
1.1 Objetivo general 16
1.2 Objetivos específicos 16

2. Marco teórico **17**
2.1 Productos lácteos 17
2.2 Fermentación 18
2.3 Yogur 18
2.4 Bebida láctea fermentada 20
2.5 Fabricación de yogur 21
2.5.1 Elección de la leche 21
2.5.2 Estandarización 22
2.5.3 Adición de azúcar o edulcorantes 22
2.5.4 Homogeneización 22
2.5.5 Tratamiento térmico 23
2.5.6 Inoculación y fermentación 23
2.5.7 Enfriamiento y empaque 23
2.6 Cultivos para producción de yogur 24
2.6.1 Cultivos de baja post acidificación 26
2.6.2 Exopolisacáridos 27
2.6.3 Compuestos del aroma 27
2.6.4 Conservación de cultivos 28
2.7 Almacenamiento y vida de anaquel del yogur y bebidas lácteas fermentadas 28
2.8 Defectos del yogur y bebidas lácteas fermentadas 29
2.9 Evaluación sensorial 30
2.9.1 Análisis cuantitativo descriptivo 33
2.10 Reología y viscosidad 33
2.10.1 Viscosidad 33

3. Materiales y Métodos **37**
3.1 Materiales 37
3.2 Métodos 37
3.2.1 Elaboración de bebida láctea 37
3.2.2 Evaluación de las características fisicoquímicas 39

3.2.3 Análisis microbiológicos 44
3.2.4 Diseño experimental y análisis estadístico 44

4. Resultados y discusión 45
4.1 Elaboración de yogur 45
4.2 Variación del pH y de la acidez en el tiempo 46
4.3 Variación de la viscosidad 49
4.4 Reología 52
4.5 Sinéresis 54
4.6 Análisis sensorial 56
4.7 Análisis microbiológico 66

5. Conclusiones 70

6. Recomendaciones 72

Anexo A: Curva de acidificación de los cultivos 73

Anexo B: Formato evaluación sensorial 75

Bibliografía 77

Lista de gráficos

Pág.

Gráfico 1. Tamaño de la categoría de a. Yogur y bebidas lácteas fermentadas, b. Leches saborizadas, c. Fórmulas infantiles, d. Leches larga vida, e. Modificadores de leche, f. Leche en polvo, g. Chocolate de mesa (Nielsen, 2015). 17
Gráfico 2. Efecto del cultivo y tiempo en el pH para A. Yogures y B. Bebidas lácteas fermentadas. 48
Gráfico 3. Efecto del cultivo y tiempo en la acidez para A. Yogures y B. Bebidas lácteas fermentadas. 49
Gráfico 4. Efecto del cultivo y tiempo en la viscosidad para A. Yogures y B. Bebidas lácteas fermentadas. 51
Gráfico 5. Variaciones de la viscosidad (η) en función de la velocidad de cizalla ($\dot{\gamma}$) para el yogur. Coeficiente de $\dot{\gamma}$= K, exponente = n-1. Las ecuaciones de las regresiones potenciales son [$\eta = K(\dot{\gamma})^{n-1}$]: $\eta = 7{,}1528(\dot{\gamma})^{-0{,}834}$ para YF L812, $\eta = 5{,}0832(\dot{\gamma})^{-0{,}929}$ para YC X11, $\eta = 4{,}6031(\dot{\gamma})^{-0{,}897}$ para YC X16. 52
Gráfico 6. Variaciones de la viscosidad (η) en función de la velocidad de cizalla ($\dot{\gamma}$) para las bebidas lácteas fermentadas Coeficiente de $\dot{\gamma}$ = K, exponente = n-1. Las ecuaciones de las regresiones potenciales son [$\eta = K(\dot{\gamma})^{n-1}$]: $\eta = 8{,}7545(\dot{\gamma})^{-0{,}911}$ para YF L812, $\eta = 5{,}6136(\dot{\gamma})^{-0{,}951}$ para YC X11, $\eta = 3{,}0392(\dot{\gamma})^{-0{,}920}$ para YC X16. 53
Gráfico 7. Efecto del cultivo y tiempo en la sinéresis para A. Yogures y B. Bebidas lácteas fermentadas. 55
Gráfico 8. Efecto del cultivo y del tiempo en los atributos sensoriales de los yogures: A. *"Mouthfeel"*, B. Viscosidad, C. Cremosidad, D. Dulzor, E. Acidez láctica, F. Astringencia. 59
Gráfico 9. Efecto del cultivo y tiempo en los atributos sensoriales de las bebidas lácteas fermentadas: A. *"Mouthfeel"*, B. Viscosidad, C. Dulzor, D. Acidez láctica, E. Astringencia, F. Sabor fresa, G. Sabor manzana, H. Sabor banano. 63
Gráfico 10. Perfil sensorial de yogur en A. Tiempo cero y B. Tiempo 21. 65
Gráfico 11. Perfil sensorial de bebidas lácteas fermentadas en A. Tiempo cero B. 14 días C. 21 días. 66
Gráfico 12. Recuento teórico de *Lactobacillus* y *Streptococcus* en un yogur de 1% de grasa y 4.5% de proteína. 67

Lista de figuras

Figura 1. Fabricación de bebida láctea fermentada. 14
Figura 2. Etapas para la fabricación de un yogur. 21
Figura 3. Velocidad de desarrollo de la acidez (expresada como % ácido láctico) (Tamime & Robinson, 2007d). 25
Figura 4. Esquema de movimiento de cizalla. 34
Figura 5. Variación de la viscosidad en función de la velocidad de cizalla para los diferentes tipos de fluidos tomado de Guest et al. (2013). 36
Figura 6. Efecto de diferentes cultivos de baja post-acidificación en la cinética de fermentación del yogur. 45

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Cultivos específicos según leche fermentada a producir (“CODEX STAN 243,” 2003). 19
Tabla 2 Requisitos de bacterias lácticas totales viables, al final de la vida útil (NTC 805, 2005). 20
Tabla 3. Producción de compuestos carbonilos (Tamime & Robinson, 2007e). 28
Tabla 4. Valores típicos y aplicaciones de efectos de la velocidad de cizalla en procesos industriales o aplicables al desarrollo de productos (Barnes et al., 1991)..... 35
Tabla 5. Características de los cultivos usados. 37
Tabla 6. Ingredientes empleados en el jarabe y sus porcentajes. 38
Tabla 7. Identificación de gustos básicos 41
Tabla 8. Identificación de olores. 41
Tabla 9. Análisis de sensaciones. 42
Tabla 10. Escala de cremosidad. 43
Tabla 11. Escala de viscosidad. 43
Tabla 12. Efecto de los cultivos en los valores de pH y acidez para el yogur y bebida láctea fermentada a lo largo de la vida de anaquel. 47
Tabla 13. Efecto de los cultivos en los valores de viscosidad dinámica para el yogur y bebida láctea fermentada a lo largo de la vida de anaquel. 50
Tabla 14. Parámetros de ley potencial obtenidos para los yogures y bebidas lácteas fermentadas. 54
Tabla 15. Efecto de los cultivos en la sinéresis para el yogur y bebida láctea fermentada a lo largo de la vida de anaquel. 55
Tabla 16. Efecto de los cultivos en el “*mouthfeel*” para el yogur a lo largo de la vida de anaquel. 56
Tabla 17. Efecto de los cultivos en la viscosidad sensorial para el yogur a lo largo de la vida de anaquel..... 56
Tabla 18. Efecto de los cultivos en la cremosidad para el yogur a lo largo de la vida de anaquel. 57
Tabla 19. Efecto de los cultivos en el dulce para el yogur a lo largo de la vida de anaquel. 57
Tabla 20. Efecto de los cultivos en la acidez para el yogur a lo largo de la vida de anaquel. 57
Tabla 21. Efecto de los cultivos en la astringencia para el yogur a lo largo de la vida de anaquel. 58
Tabla 22. Efecto de los cultivos en el “*mouthfeel*” para las bebidas lácteas fermentadas a lo largo de la vida de anaquel. 60
Tabla 23. Efecto de los cultivos en la viscosidad sensorial para las bebidas lácteas fermentadas a lo largo de la vida de anaquel. 60

Tabla 24. Efecto de los cultivos en el dulce para las bebidas lácteas fermentadas a lo largo de la vida de anaquel. 60
Tabla 25. Efecto de los cultivos en la acidez láctica para las bebidas lácteas fermentadas a lo largo de la vida de anaquel. 61
Tabla 26. Efecto de los cultivos en la astringencia para las bebidas lácteas fermentadas a lo largo de la vida de anaquel. 61
Tabla 27. Efecto de los cultivos en el sabor fresa para las bebidas lácteas fermentadas a lo largo de la vida de anaquel. 61
Tabla 28. Efecto de los cultivos en el sabor manzana para las bebidas lácteas fermentadas a lo largo de la vida de anaquel. 61
Tabla 29. Efecto de los cultivos en el sabor banano para las bebidas lácteas fermentadas a lo largo de la vida de anaquel. 62
Tabla 30. Descriptores de los compuestos carbonilos (Cheng, 2010) 64
Tabla 31. Presencia de *Lactobacillus delbrueckii* subsp*. bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus en las bebidas lácteas fermentadas.* 67
Tabla 32. Análisis microbiológico del yogur a lo largo de la vida de anaquel. 68
Tabla 33. Análisis microbiológico de la bebida láctea fermentada a lo largo de la vida de anaquel. 69

Introducción

Colombia, como otros países de la región andina, presenta una doble carga de malnutrición generada simultáneamente por problemas de desnutrición y obesidad. La doble carga de malnutrición describe poblaciones afectadas por desórdenes nutricionales, enfermedades prevenibles y crónicas no transmisibles. La malnutrición por delgadez, muestra una deficiencia neta de energía que causa deterioros de las funciones cognoscitivas, las asociadas con el sistema inmunitario de protección y un aumento en el riesgo de enfermar y morir. La malnutrición por sobrepeso y obesidad se evidencia en un incremento con la edad en el consumo de alimentos fuente de grasas y carbohidratos como son los productos de paquete, las bebidas azucaradas y las comidas rápidas, alimentos que incrementan el riesgo de contraer enfermedades cardiovasculares, diabetes y algunos tipos de cáncer (Ministerio de salud y protección social, 2016).

En muchos países en desarrollo, sobre todo en las poblaciones urbanas, está aumentando el consumo de alimentos de contenido energético alto y valor nutritivo escaso (con contenido alto de grasas y azúcares, pero pocos nutrientes) y está disminuyendo la actividad física. El progreso social y económico ha dado lugar a un mayor consumo de carnes, aceites y azúcares en forma de alimentos elaborados de bajo costo y simultáneamente, se ha disminuido el consumo de frutas, verduras y semillas (Ministerio de salud, 2015).

Por otro lado, podemos ver también que existe en la población colombiana un déficit de minerales y vitaminas dado por una deficiencia de hierro, zinc y calcio y vitaminas como la A y la B12 (Ministerio de salud y protección social, 2016).

Los productos alimenticios que atacan este tipo de deficiencias tienen un precio muy elevado y están enfocados principalmente a grupos sociales con mayor alcance económico afectando así el consumo de los más pobres.

Por lo anterior se hace necesario promover y desarrollar productos orientados hacia una alimentación saludable que además de nutrir sean asequibles a toda la población colombiana.

Para entender cuáles son los productos que son vistos por el consumidor colombiano como más alimenticios, se realizó un estudio exploratorio en el cual se indagó de forma espontánea por las bebidas que más alimentan (Empresa de consumo masivo, 2015). Los

resultados indicaron que los principales son la leche, el yogur[1], la avena (40, 40 y 20%, respectivamente) y los jugos naturales (56% de mención sin especificar sabor), entre los cuales principalmente se destacan el de guayaba (18%), tomate de árbol (12%) y mora (16%). Dentro de los estudios realizados por la empresa Quala S.A se encontró también que el yogur[2], es un producto que además de ser percibido altamente nutritivo y alimenticio por los consumidores es considerado como rico y de consumo para todos los días.

Por otra parte, según un estudio realizado por Nielsen, el yogur y las bebidas lácteas fermentadas son los productos lácteos más adquiridos en el mercado colombiano, después de alimentos como el queso, helado, chocolate y las frutas frescas, lo que demuestra el posicionamiento de estos productos en los hogares del país (Revista IAlimentos, 2015). De los mismos estudios, se concluyó que para el consumidor son muy importantes los atributos de textura o consistencia, así como el sabor. En la percepción del sabor están implicados varios receptores como los gustativos (papilas gustativas), olfativos, táctiles, térmicos (calentamiento y enfriamiento) y receptores del dolor. El sabor juega un importante papel en la determinación de la aceptabilidad de los alimentos, y al igual que la textura, es un proceso dinámico en el que a medida que el tiempo transcurre se producen una serie de cambios (Carpenter, Lyon, & Hasdell, 2002). La percepción del sabor es el resultado de diferentes fases, que comienzan antes de la ingestión, y continúan una vez deglutido el alimento. Es por esto que el atributo de sabor combina tres propiedades: el olor, el aroma y el gusto. El sabor es la suma de las tres características. Estos atributos se pueden modificar según el cultivo escogido.

Para entender cuál es la textura que más gusta en este tipo de productos, se realizaron estudios de evaluación de textura con 60 amas de casa en Bogotá y Barranquilla y 60 niños en Bogotá y Barranquilla encontrando que para el 65% de estos consumidores, los productos con mayor viscosidad son considerados como una opción más alimenticia y nutritiva. El producto de viscosidad baja es considerado como menos concentrado de sabor y consistencia, lo que se asocia con menor carácter nutritivo.

[1,2] Para el consumidor el término yogurt abarca todas las bebidas de este tipo (yogurt o bebida láctea fermentada) a pesar de que técnicamente la definición no es la misma.

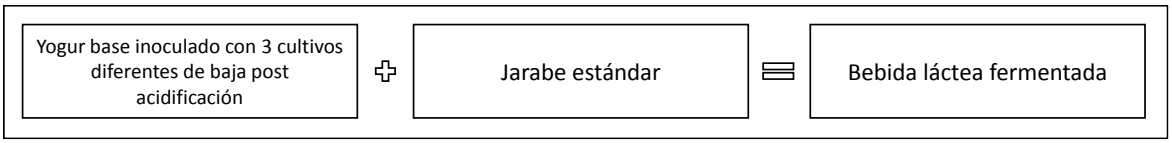
Dentro de los atributos de textura que se tienen en cuenta en el yogur y las bebidas lácteas fermentadas están la viscosidad, cremosidad y "*mouthfeel"* y dentro de los atributos del sabor están el dulzor, acidez, sabor a fruta, residual y amargo. Adicional a estos atributos se tienen también sensaciones de astringencia y raspocidad. Según el tipo de cultivo usado o escogido para producir un yogur o una bebida láctea fermentada es posible dar diferentes sensaciones de textura y sabor.

De acuerdo a la norma Colombiana NTC 4489 de 1998 (Icontec, 1998), la textura se define como "todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto, perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles y en donde sea apropiado, visuales y auditivos". Por lo tanto, la textura de un alimento no puede ser considerada como una sola característica, sino que hay que referirse a los atributos de textura que la componen.

La textura del alimento juega un papel importante en como los consumidores perciben los alimentos. Este, es uno de los atributos utilizados por los consumidores para evaluar la calidad de los alimentos pues es parte de nuestro sentido cuando tenemos la comida en nuestra boca. La textura se puede describir en términos tales como duro, suave, líquido, sólido, áspero, liso, cremoso, desmenuzable, crujiente, grumoso, arenoso, etc. Tales términos estructurales están directamente relacionados con la densidad, la viscosidad, la tensión superficial y otras propiedades físicas de un producto alimenticio en particular (Day & Golding, 2016).

Dado que una de las categorías más importantes para la población Colombiana es la categoría de bebidas lácteas, se propone en este trabajo desarrollar una bebida láctea fermentada suplementada con vitaminas y minerales reducida en azúcar enfocada a estratos 2, 3 y 4 que representan el 70% de la pirámide en Colombia. Para efectos de este trabajo, la bebida láctea fermentada desarrollada está compuesta por un yogur base que se fabricó utilizando 3 cultivos diferentes de baja post acidificación y un jarabe estándar que al mezclarlos conforman la bebida láctea fermentada (ver Figura 1).

Figura 1. Fabricación de bebida láctea fermentada.



Por esto, en este trabajo se hace necesario estudiar tanto el comportamiento del yogur base inoculado con los diferentes cultivos como las bebidas lácteas fermentadas como producto final.

En la industria láctea se cuenta con una amplia gama de cultivos para la producción de yogures y bebidas lácteas fermentadas compuestos por combinaciones de cepas individuales de bacterias ácido lácticas de *Streptococcus thermophilus y Lactobacillus delbruekii* spp *bulgaricus.* El éxito en la fabricación de un yogur se basa en la mutua interacción, también llamada proto-cooperación, entre estas dos especies (Settachaimongkon et al., 2014). Cada cultivo tiene un comportamiento definido en cuanto a textura y sabor así como en cinética de fermentación y post acidificación. Esta última propiedad se ha considerado recientemente como uno de los factores más importantes para la selección de cultivos iniciadores de yogur debido a que una baja post acidificación de estos puede aumentar la vida de anaquel y mejorar el comportamiento del yogur bajo un inadecuado manejo de la cadena de frío (Xu et al., 2015).

Debido a que no se conocen los efectos de la utilización de tres cultivos de baja post acidificación, sobre el perfil sensorial, las características fisicoquímicas y microbiológicas de una bebida láctea fermentada fortificada y reducida en azúcar que se quiere desarrollar, se requiere conocer dichas características para poder definir cuáles son los cultivos adecuados para el desarrollo de un nuevo producto. Este proyecto hace parte de un desarrollo empresarial para una compañía de consumo masivo.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Evaluar los efectos de la utilización de tres cultivos de baja post acidificación en el proceso de elaboración de una bebida láctea fermentada, así como en sus características sensoriales y fisicoquímicas.

1.2 Objetivos específicos

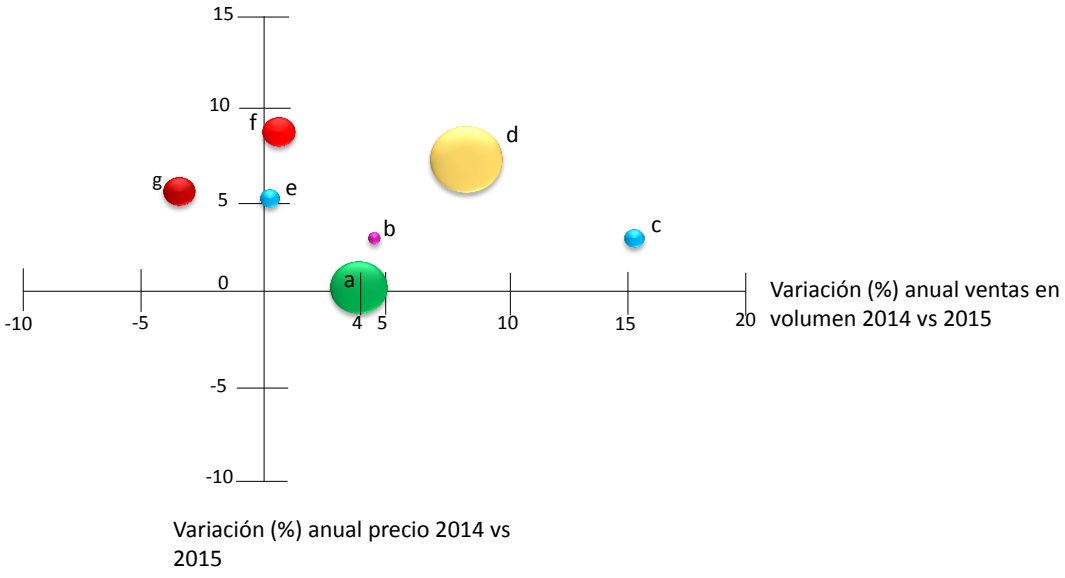
- Evaluar si la cinética de fermentación puede afectarse por el tipo de cultivo iniciador de baja post acidificación.
- Estudiar el efecto del cultivo iniciador en el perfil sensorial y en las características fisicoquímicas y microbiológicas de una bebida láctea fermentada durante su vida de anaquel.
- Determinar la posible relación entre los microorganismos contenidos en los cultivos empleados para la producción de una bebida láctea fermentada, y sus características sensoriales y fisicoquímicas.

2. Marco teórico

2.1 Productos lácteos

Los productos lácteos son alimentos con proteínas de alto valor biológico, las cuales contienen todos los aminoácidos esenciales para nuestro organismo. Para cada una de las etapas de nuestra vida, los lácteos ofrecen beneficios vitales para la nutrición y el desarrollo de nuestro cuerpo (Revista IAlimentos, 2009b). Estos, tienen un alto valor agregado, gracias a su cualidades nutritivas, con un posicionamiento de primer orden que los hace una elección muy conveniente (Revista IAlimentos, 2009a). Dentro de los productos lácteos están las bebidas lácteas que son el segundo alimento más consumido después de las frutas en Colombia (Nielsen, 2015). En el Gráfico 1 se puede apreciar el tamaño de la categoría (representado en el tamaño de la esfera) de bebidas nutritivas según Nielsen dentro de la cual se encuentra la categoría de yogur y bebidas lácteas fermentadas (Nielsen, 2015).

Gráfico 1. Tamaño de la categoría de a. Yogur y bebidas lácteas fermentadas, b. Leches saborizadas, c. Fórmulas infantiles, d. Leches larga vida, e. Modificadores de leche, f. Leche en polvo, g. Chocolate de mesa (Nielsen, 2015).



Como se puede apreciar en el Grafico 1 esta categoría ha venido aumentando un 4% en volumen (2014 vs 2015) pero no ha incrementado su valor en precio, lo que demuestra la importancia de desarrollar productos que mantengan el precio al consumidor.

2.2 Fermentación

La fermentación es un método usado desde hace miles de años con la finalidad de aumentar la vida útil de productos perecederos (de Oliveira, 2014). La fermentación de alimentos se hacía desde la época del Neolítico. Los primeros ejemplos de alimentos fermentados son el vino, el pan y el queso. En las regiones del este asiático el yogur, las bebidas lácteas fermentadas, bebidas alcohólicas, vinagre y pepinillos siguieron estos ejemplos (Tamime & Robinson, 2007a).

La caracterización de los microorganismos responsables de la fermentación, durante el florecimiento de la microbiología como ciencia a partir de la década de 1850, condujo al aislamiento de cultivos iniciadores y a su uso en procesos de fabricación. La mayoría de las leches fermentadas utilizan leche de vaca, pero también se suele usar leche de oveja, cabra, búfalo y caballo.

La leche puede ser fermentada por los siguientes microorganismos (Law, 2012):

- Levaduras lácticas: producen kefir, kumis o leche acidófila.
- Bacterias lácticas: mesofílicas (producen suero de leche), termofílicas (producen yogur y labneh) y terapéuticas (producen leche acidófila).
- Mohos: producen viili.

2.3 Yogur

El yogur es posiblemente la bebida láctea fermentada más antigua (Puhan, Driessen, Jelen, & Tamime, 1994). Se cree que su origen fue en Medio Oriente (Tamime & Robinson, 2007). El yogur se obtiene a partir de una fermentación láctica de la leche con *Streptococcus thermophilus y Lactobacillus delbruekii* spp*, bulgaricus.*

La textura del yogur depende sobre todo de las cepas de cultivo ácido láctico y el contenido de leche presente en el yogur. Se han utilizado también hidrocoloides como gelatina, pectina, carragenina y almidón para mejorar la textura del yogur y reducir la sinéresis. Sin embargo, estos estabilizadores a veces tienen sabores y atributos de textura indeseables

a la vez que desvirtúan el concepto de “etiquetas limpias" de los productos (Loveday, Sarkar, & Singh, 2013).

En Colombia, la norma que reglamenta el yogur es la resolución 2310 de 1986 emitida por el Ministerio de salud. A nivel mundial este tipo de producto está reglamentado por el Codex Stan 243-2003 que hace parte del Codex alimentarius de la leche y productos lácteos.

La definición de yogur (llamado también leche fermentada) según la Resolución 2310 de 1986 es la siguiente: “Denominase Yogur al producto obtenido a partir de la leche higienizada, coagulada por la acción de *Lactobacillus bulgáricus y Streptococcus termóphilus* los cuales deben ser abundantes y viables en el producto final”.

La definición de yogur según el Codex Stan 243-2003 es la siguiente: “La leche fermentada es un producto lácteo obtenido por medio de la fermentación de la leche, que puede haber sido elaborado a partir de productos obtenidos de la leche con o sin modificaciones en la composición, por medio de la acción de microorganismos adecuados y teniendo como resultado la reducción del pH con o sin coagulación (precipitación isoeléctrica). Estos cultivos de microorganismos serán viables, activos y abundantes en el producto hasta la fecha de duración mínima”.

Ciertas leches fermentadas se caracterizan por un cultivo específico (o cultivos específicos) utilizado para la fermentación, tal como se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1. Cultivos específicos según leche fermentada a producir (“CODEX STAN 243,” 2003).

Yogur:	Cultivos simbióticos de *Streptococcus thermophilus y Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus.*
Yogur con base a cultivos alternativos:	Cultivos de *Streptococcus thermophilus* y toda especie de *Lactobacillus.*
Leche acidófila:	*Lactobacillus acidophilus.*
Kefir:	Cultivo preparado a partir de gránulos de *kefir, Lactobacillus kefiri,* especies del género *Leuconostoc, Lactococcus y Acetobacter* que crecen en una estrecha relación específica. Los gránulos de *kefir* constituyen tanto levaduras fermentadoras de lactosa (*Kluyveromyces marxianus*) como levaduras fermentadoras sin lactosa (*Saccharomyces unisporus, Saccharomyces cerevisiae y Saccharomyces exiguus*).
Kumis:	*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus y Kluyveromyces marxianus.*

Podrán agregarse otros microorganismos aparte de los que constituyen el cultivo específico (o los cultivos específicos) especificados anteriormente.

Adicional a esto las leches fermentadas deben cumplir con los requisitos de contenido mínimo del cultivo del microorganismo específico (Icontec, 2005) como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2 Requisitos de bacterias lácticas totales viables, al final de la vida útil (NTC 805, 2005).

Producto	Requisito
En Yogur, kumis, UFC/g	mínimo 10^7
En leche cultivada, UFC/g	mínimo 10^6
En bebida láctea fermentada a base de leche fermentada, UFC/g	mínimo 10^4

El contenido de sólidos (cantidad de lactosa, otros carbohidratos, grasas, proteínas y minerales en la leche) también es importante para poder declarar un producto como yogur. Según la Resolución 2310 de 1986 un yogur debe tener un contenido mínimo de sólidos lácteos no grasos del 7% (p/p).

2.4 Bebida láctea fermentada

Son productos lácteos de consistencia fluida obtenidos a partir de leche fermentada mezclada con otros derivados lácteos e ingredientes higienizados (NTC 805, 2005). Son productos que deben contener un porcentaje mínimo de 40% (p/p) de leche fermentada y puede contener otros ingredientes como suero o jarabes. La bebida láctea fermentada se puede producir a partir de dos tipos de procesos:

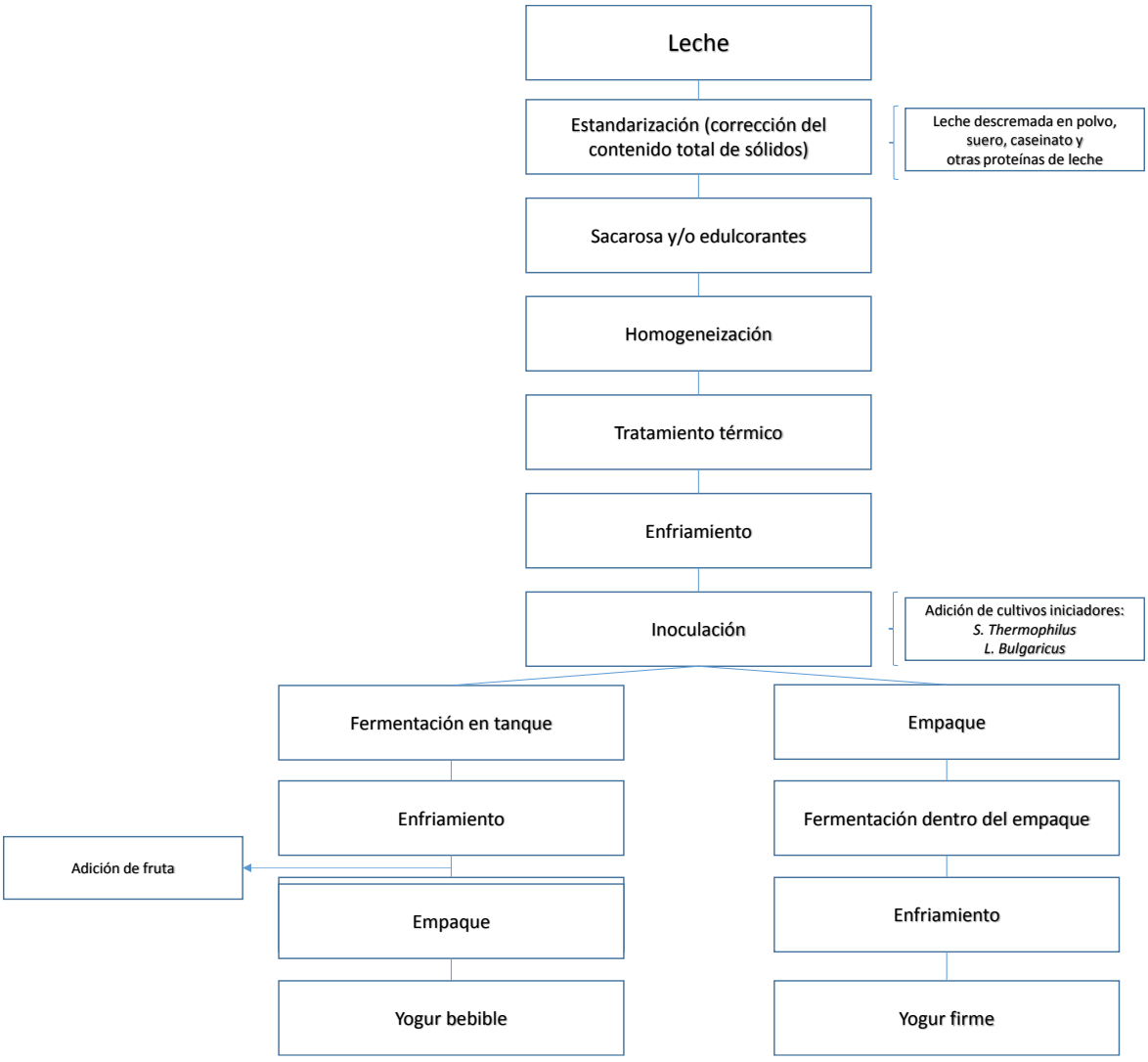
- Proceso 1: Mezcla de un yogurt (yogurt base) y un jarabe de frutas que puede contener estabilizantes, espesantes, salsa de frutas, etc (Ovalle, 2013).
- Proceso 2: Realizar en una primera etapa una mezcla de todos los ingredientes lácteos y un jarabe que puede contener estabilizantes, espesantes, salsa de frutas, etc. para realizar en una segunda etapa una fermentación con todos los ingredientes (Ovalle, 2013).

El proceso empleado para la obtención de la bebida láctea fermentada de este proyecto es el proceso 1.

2.5 Fabricación de yogur

Los microorganismos iniciadores del yogur juegan un rol importante durante la producción del yogur para el desarrollo de acidez, sabor y textura. La elaboración del yogur tiene las etapas que se muestran en la Figura 2 (de Oliveira, 2014).

Figura 2. Etapas para la fabricación de un yogur.



2.5.1 Elección de la leche

Con el fin de poder producir un yogur de alta calidad, la leche destinada a la producción de yogur debe ser de la más alta calidad bacteriológica. Debe tener un bajo contenido de bacterias y sustancias que puedan impedir el desarrollo del yogur. La leche no debe

contener antibióticos, bacteriófagos, residuos de solución de limpieza o agentes esterilizantes (Tetra Pak, 2012).

2.5.2 Estandarización

En la industria, el contenido de grasa y de sólidos no grasos se estandariza para mejorar la calidad de los productos desarrollados o con el fin de cumplir las especificaciones fijadas por las normas legales o recomendadas de composición de yogur (Tamime & Robinson, 2007b). Por lo general el contenido de sólidos y grasa se estandariza de acuerdo a los principios de la FAO y OMS. El yogur puede tener un contenido de grasa de 0 a 10% (p/p). Sin embargo, lo más habitual es un contenido de grasa de 0,5 a 3,5% (p/p).

El porcentaje de sólidos lácteos no grasos para la producción de yogur es importante porque afecta la cinética de acidificación y algunas características del producto como pH, acidez y consistencia (de Oliveira, 2014). Para producir un yogur con buenas características es necesaria una concentración de sólidos totales de 15 a 16% (p/p). La mayoría de yogures comerciales están entre 11 y 15% (p/p).

2.5.3 Adición de azúcar o edulcorantes

Es común realizar adición de azúcar o edulcorantes para la producción de yogur. Esta adición puede afectar los tiempos de fermentación. Altas concentraciones de sacarosa, resultan en tiempos de fermentación más largos y en algunos casos desarrollo de menor acidez (de Oliveira, 2014).

2.5.4 Homogeneización

Homogeneización significa disponer de una emulsión homogénea entre dos líquidos inmiscibles como lo son el aceite o grasa y el agua. Existen principalmente dos tipos de emulsiones: aceite en agua y agua en aceite. La grasa en la leche se encuentra emulsionada en la fase acuosa. La homogeneización de la leche se realiza con el propósito de promover la dispersión homogénea de la grasa en la leche para evitar su separación durante la etapa de fermentación en tanques. Se busca que los glóbulos de grasa tengan un tamaño inferior a 2 µm. La homogeneización puede realizarse en equipos de una sola etapa o de dos. Cuando se tienen productos con alto contenido de grasa se recomienda

homogeneización en dos etapas. La presión de operación generalmente está entre 1500 y 2000 psi (Tamime & Robinson, 2007c) y la temperatura de homogeneización es de 60 °C.

2.5.5 Tratamiento térmico

La leche se trata térmicamente antes de proceder a la inoculación de los cultivos, con el objetivo de mejorar sus propiedades como sustrato para las bacterias del cultivo industrial, asegurar que el coágulo del yogur terminado sea firme y reducir el riesgo de separación del suero del producto terminado.

Se consiguen resultados óptimos por medio del tratamiento térmico de la leche a 90-95 °C durante un tiempo de 5 min. Esta combinación de tiempo/temperatura no sólo elimina el 100% de la flora patógena de la leche, sino que además busca desnaturalizar las proteínas séricas (beta-lactoglobulina y lactoalbúmina) para obtener mejoras en las características de viscosidad y "*mouthfeel*", sin necesidad de adicionar sólidos lácteos (Tetra Pak, 2012) pues se generan interacciones entre las proteínas de suero desnaturalizadas y las micelas de caseína (particularmente la *κ*-caseína) a través de interacciones hidrofóbicas y enlaces disulfuro y por transferencia de calcio soluble, magnesio y fosfato del suero a las micelas de caseína coloidales. Calentar la leche a pH < 6,6 impulsa las proteínas del suero a asociarse con las micelas de la caseína (Loveday et al., 2013). Con tratamientos térmicos por encima de 90 °C se corre el riesgo de romper totalmente la estructura de las proteínas séricas, produciendo un yogur menos viscoso y con sensación astringente en la boca.

2.5.6 Inoculación y fermentación

Después de la pasteurización, la leche es enfriada a 42 – 45 °C, temperatura a la cual se realiza la inoculación.

2.5.7 Enfriamiento y empaque

Después de que el yogur llega a su pH ideal (~ 4,6) se debe enfriar para inactivar a los cultivos. En la industria se suele utilizar un sistema de enfriamiento de múltiples etapas. El primer paso consiste en enfriar el yogur desde 42 a 30 °C. En la segunda etapa, el producto se enfría hasta 20 °C y luego en una tercera fase se enfría el yogur hasta 15 °C. Esta temperatura permite que el producto fluya mejor en las máquinas envasadoras.

Finalmente, una vez envasado el producto, este se mantiene a 2-4 °C durante el transporte y almacenamiento.

Para el caso del yogurt batido mostrado en la Figura 2, este es encubado y enfriado en el mismo envase por lo que no se tiene el sistema de enfriamiento de múltiples etapas.

2.6 Cultivos para producción de yogur

Los principales microorganismos presentes en los cultivos empleados en las leches fermentadas son las bacterias ácido lácticas. Estas bacterias se clasifican según su temperatura óptima de crecimiento y pueden ser mesófilas (temperatura óptima de crecimiento de 30 °C) o termófilas (temperatura óptima de crecimiento de 42 °C). Para la fabricación del yogur se emplean bacterias lácticas termófilas (Silva Silva, 2015).

Las bacterias ácido lácticas son bacterias de forma esférica o de bastón que componen un grupo heterogéneo de bacterias gram positivas en el cual el ácido láctico es su principal producto obtenido a partir de los carbohidratos. Durante la fermentación, estas bacterias realizan tres grandes conversiones bioquímicas de los componentes de la leche:

- Conversión de lactosa en ácido láctico (fermentación).
- Hidrólisis de caseínas en péptidos y aminoácidos libres (proteólisis).
- Rompimiento de la grasa láctea en ácidos grasos libres (lipólisis).

Estas reacciones conducen a la producción de diversos metabolitos dando como resultado la disminución del pH y la formación de una determinada textura, sabor y tiempo de conservación del producto.

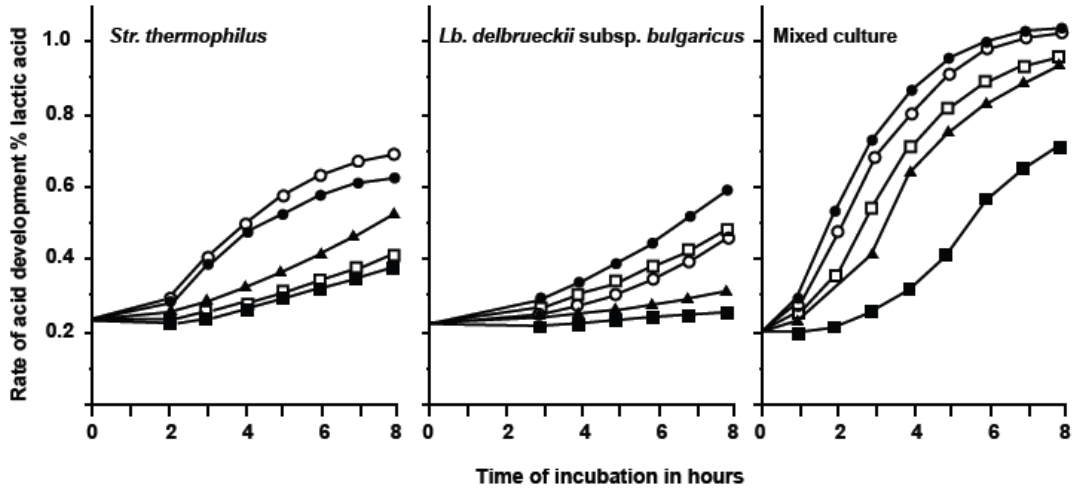
Las principales características de las bacterias ácido lácticas son las que se listan a continuación (D'Alonges, 2013):

- Fermentación de azúcar y poder acidificante que determina la velocidad con la cual la cepa realiza la fermentación condicionada principalmente por el metabolismo de la glucosa.
- Producción de compuestos volátiles que incluye la producción directa de moléculas volátiles como el diacetilo y metabolitos de actividad enzimática como proteólisis y lipolisis.
- Producción de exopolisacáridos relacionada con la capacidad de sintetizar polímeros de glúcidos que otorgan viscosidad al medio.

- Producción de péptidos que presentan un amplio potencial como conservadores para inhibir el crecimiento de microorganismos de la misma especie o patógenos.
- Resistencia a virus específicos.
- Generación de post acidificación lenta que permite aumentar la vida de anaquel o almacenamiento, ya que mantienen el pH y la acidez del producto a lo largo de su vida útil.

En la producción de yogur se usa una mezcla simbiótica de dos cepas de bacterias lácticas: *Lactobacillus delbrueckii* subsp*. bulgaricus* y *Streptococcus salivarius* subsp*. thermophilus*, pues la acidificación de la leche se produce más rápido cuando los cultivos están compuestos por las dos cepas como se puede apreciar en la Figura 3.

Figura 3. Velocidad de desarrollo de la acidez (expresada como % ácido láctico) (Tamime & Robinson, 2007d).



El *Streptococcus thermophilus* es una cepa anaerobia facultativa, es decir, su condición óptima de desarrollo es en atmósferas anaerobias (libres de oxígeno) pero por ser facultativa, puede adaptarse para crecer y desarrollarse en presencia de pequeñas condiciones de oxígeno. Es la cepa texturizante y la iniciadora de la curva de acidificación. Es la responsable de reducir el pH de 6,4 a 5,2 – 5,0 durante la acidificación. En esta etapa de la fermentación se produce ácido fórmico y dióxido de carbono que estimulan el crecimiento del *Lactobacillus Bulgaricus*. Este último, a través de enzimas, desdobla la proteína en péptidos y aminoácidos que estimulan el crecimiento del *Streptococcus thermophilus* (por eso se llama mezcla simbiótica). A partir del pH 5,0, la acidificación se

debe exclusivamente a la producción de ácido láctico por parte del *Lactobacillus bulgaricus*.

Los yogures con diversas combinaciones de cepas de bacterias ácido lácticas, incluso cuando comparten una cepa común, han mostrado propiedades distintivamente diferentes en términos de viscosidad aparente, firmeza de gel y capacidad de retención de agua lo que demuestra que existe una relación directa entre la cepa y las propiedades fisicoquímicas (Zhang, Folkenberg, Amigo, & Ipsen, 2016).

Numerosos factores pueden afectar la supervivencia de las bacterias en el yogur. Estos incluyen cambios en pH, presencia de peróxido de hidrógeno y oxígeno disuelto, concentración de metabolitos tales como ácido láctico y ácido acético, capacidad buffer del medio así como la temperatura de almacenamiento. La viabilidad también depende de la disponibilidad de nutrientes, promotores de crecimiento e inhibidores, concentración de solutos (presión osmótica), nivel de inoculación, temperatura de incubación, tiempo de fermentación y temperatura de almacenamiento (Donkor, Henriksson, Vasiljevic, & Shah, 2006).

2.6.1 Cultivos de baja post acidificación

En la producción del yogur, la lactosa se convierte en ácido láctico por la acción de los cultivos hasta alcanzar un pH de 4,2 – 4,6. Durante el almacenamiento del yogur el pH puede descender más abajo de 4,0 (Leroy & De Vuyst, 2004) y esto depende de las cepas y sus asociaciones (Shori & Baba, 2012). La cepa que usualmente produce ácido láctico durante la vida de anquel es el *Lactobacillus bulgaricus* (Jensen & Johansen, 2010). Este fenómeno es a menudo conocido como post acidificación. Esta post acidificación es indeseable en los yogures dado que disminuye el tiempo de almacenamiento pues produce una sensación ácida y amarga.

El problema al que se enfrentaban las empresas productoras de cultivos era que al generar cultivos de baja post acidificación estos perdían la capacidad texturizante. Por esto el reto que tenían era el de proporcionar alternativas a través de modificaciones genéticas de *Lactobacillus delbrueckii* subsp*. bulgaricus* que combinaran un bajo perfil de post-acidificación y un alto perfil texturizante, haciendo innecesaria la adición de agentes espesantes (Jensen & Johansen, 2010). Los cultivos de baja post acidificación tienen las siguientes características:

- Valor de pH, medido en un ensayo estándar, en el rango de 4,25 – 4,55 después de 14 días y/o después de 21 días y/o después de 28 días de almacenamiento. Adicional a esto, el pH disminuye en menos de 0,3 unidades (Bang Siemsen Jensen & Johansen, 2007).
- Propiedades de viscosidad de no menos de 25 - 50 Pa (Bang Siemsen Jensen & Johansen, 2007).

2.6.2 Exopolisacáridos

Los exopolisacáridos son polímeros biodegradables de alto peso molecular que se producen de residuos de monosacáridos formados de azúcar y derivados de azúcar (Sanalibaba & Çakmak, 2016) y son biosintetizados por una amplia gama de bacterias. Los exopolisacáridos, se diferencian en gran medida por su estructura y peso molecular, tamaño de la molécula, carga, y, como consecuencia, por sus propiedades reológicas (Mende, Rohm, & Jaros, 2016). Se dividen en homopolisacáridos y heteropolisacáridos según si están compuestos de un solo tipo de monosacárido o más de un tipo de monosacárido (Sanalibaba & Çakmak, 2016). Los exopolisacáridos producidos por las bacterias ácido lácticas son en su mayoría heteropolisacáridos.

Los homopolisacáridos comprenden un solo tipo de monosacárido, usualmente glucosa, fructosa o galactosa. Un ejemplo de estos son los α-glucanos. Los heteropolisacáridos son producidos tanto por bacterias mesófilas como termófilas dentro de las que se encuentran *Lactobacillus delbrueckii* spp*. bulgaricus y Streptococcus thermophilus* (Jaiswal, Sharma, Sanodiya, & Bisen, 2014).

Los exopolisacáridos se consideran como bio-espesantes naturales y desempeñan un papel crucial en la mejora de las propiedades reológicas de los productos lácteos pues ayudan a incrementar la viscosidad mejorando la textura y "*mouthfeel*", fijan el agua, estabilizan el producto y tienen propiedades emulsionantes (Harnett, Davey, Patrick, Caddick, & Pearce, 2011) (Sanalibaba & Çakmak, 2016).

2.6.3 Compuestos del aroma

Las bacterias homofermentativas convierten casi completamente la fuente de energía disponible (azúcar) en ácido láctico a través del piruvato para producir energía y equilibrar el balance redox. Sin embargo, el piruvato puede conducir a la generación de muchos otros

metabolitos tales como acetato, etanol, diacetilo y acetaldehído. De esta manera, el sabor distintivo del yogur es aportado por el ácido láctico y una mezcla compleja de compuestos volátiles, que incluyen los ya presentes en la leche y los compuestos específicos producidos a partir de la fermentación. El correcto control de la fermentación conduce a una producción mejorada de algunos de estos compuestos volátiles. Estos compuestos se pueden dividir en cuatro categorías principales (Tamime & Robinson, 2007d):

1. Ácidos no volátiles (ácido láctico, pirúvico, oxálico y succínico).
2. Ácidos volátiles (ácido fórmico, acético, propiónico y butírico).
3. Compuestos carbonilos (acetaldehído, acetona, acetoina y diacetilo).
4. Compuestos diversos (ciertos aminoácidos y/o constituyentes formados por degradación térmica de proteínas, grasas o lactosa).

El aroma y el sabor del yogur están determinados por la producción de acetaldehído y en menor medida por compuestos ácidos no volátiles y volátiles. El nivel de acetaldehído es mucho mayor en cultivos mixtos debido al crecimiento asociativo de los organismos del yogur, aunque la capacidad de producir compuestos volátiles se le atribuye en mayor medida a *Lactobacillus delbrueckii* subsp*. bulgaricus* y en menor medida a los *Streptococcus thermophilus* como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Producción de compuestos carbonilos (Tamime & Robinson, 2007e).

Organismo	Acetaldehído	Acetona	Acetoína	Diacetilo
Streptococcus thermophilus	1,0-13,5	0,2-5,2	1,5-7,0	0,1-13,0
Lactobacillus delbrueckii subsp*. bulgaricus*	1,4-77,5	0,3-3,2	trazas-2,0	0,5-13,0
Cultivos Mixtos	2,0-41,0	1,3-4,0	2,2-5,7	0,4-0,9

2.6.4 Conservación de cultivos

Para garantizar la correcta estandarización y calidad uniforme en el producto final es necesario conservar correctamente los cultivos. Por esto para conservarlos se pueden mantener en estado líquido, deshidratados o congelados (Tamime & Robinson, 2007f).

2.7 Almacenamiento y vida de anaquel del yogur y bebidas lácteas fermentadas

Enfriar el yogur y las bebidas lácteas fermentadas a temperaturas menores de 10 °C y mantener esta temperatura baja hasta que el producto llega al consumidor, ayuda a

disminuir las reacciones biológicas y bioquímicas que tienen lugar en este tipo de productos (Tamime & Robinson, 2007b). Las reacciones biológicas resultan de la actividad metabólica del cultivo iniciador del yogur pues aunque se retarda cualquier actividad metabólica de los microorganismos, se tienen igualmente procesos fermentativos y producción de ácido láctico generado principalmente por *L. bulgaricus* que afectan el pH y la acidez, haciendo que el pH disminuya y la acidez aumente en el tiempo (Tamime & Robinson, 2007b). Esta propiedad se conoce como post acidificación y se ha considerado recientemente como uno de los factores más importantes para la selección de cultivos iniciadores de yogur debido a que aumentan la vida de anaquel y a que pueden mejorar el comportamiento del yogur bajo un inadecuado manejo de la cadena de frío (Xu et al., 2015). Además, las reacciones biológicas se generan por cualquier contaminante microbiano que resistió el tratamiento térmico y sobrevivió al proceso de fermentación o por contaminantes que ingresaron al proceso después de la producción (por ejemplo, hongos y levaduras) (de Oliveira, 2014). Algunas de las reacciones bioquímicas que se presentan en el yogur y bebidas lácteas fermentadas son la oxidación de grasas por presencia de oxígeno y cambios en el color de estos productos debido a su acidez.

Hasta hace pocos años, la vida útil del yogur y bebidas lácteas fermentadas era de 20 días bajo refrigeración tiempo en el cual el producto mantenía sus características en estado ideal. Las industrias han tratado de extender su vida útil a 35 días (de Oliveira, 2014). Durante este período, se corre el riesgo de que el número de bacterias ácido lácticas disminuya y, a medida que aumenta la acidez se produce hidrólisis ácida de las proteínas generando coagulación y por ende producción de sinéresis y con frecuencia los aromas extraños tienden a aparecer.

2.8 Defectos del yogur y bebidas lácteas fermentadas

Los defectos más comunes en los yogures y bebidas lácteas fermentadas son:

- Sinéresis: La sinéresis es un parámetro de calidad importante ya que es uno de los defectos más habituales en la elaboración de yogur y bebidas lácteas fermentadas que genera la aparición espontánea de líquido libre en la parte superior del gel. Se denomina sinéresis o desuerado para geles lácteos ácidos. Es un defecto común en los yogures y bebidas lácteas fermentadas, y refleja la liberación de la fase de suero de la red de proteínas (Morell, Hernando, Llorca, & Fiszman, 2015). Esta

puede generarse también si el recipiente en el que se realizó la fermentación se agita o se altera ligeramente cuando la gelificación acaba de comenzar (pH 5,5-5,2), momento en el cual el gel sigue siendo débil y puede fracturarse. En particular, los geles son propensos a la sinéresis cuando se elige una alta temperatura de incubación (> 40 ° C) o cuando el contenido de sólidos es bajo (Körzendörfer, Nöbel, & Hinrichs, 2017). La sinéresis también se ve afectada por la presencia de aditivos como gomas, y por la adición de minerales, aumentando el porcentaje de sinéresis (Tamime & Robinson, 2007g). Una manera cuantitativa de evaluar el suero o agua separada del gel proteínico en yogures y bebidas lácteas fermentadas es mediante centrifugación.

- Grumos: Se pueden producir por desnaturalización de la albúmina, temperaturas de almacenamiento del yogur muy bajas o altas, inoculación del cultivo a temperaturas más bajas o altas de las establecidas (Ovalle, 2013).
- Acidificación: Se genera por presencia de bacterias o un aumento de la post-acidificación a lo largo de la vida de anaquel.
- Baja viscosidad: Se produce por bajo contenido de proteínas, tratamiento térmico u homogeneización insuficiente, agitación incorrecta del yogur, agitación del yogur a temperatura muy baja, tratamiento mecánico muy vigoroso, agitación en pH muy bajo (< 4,2), destrucción del gel durante la acidificación o según el cultivo usado (Ovalle, 2013).
- Contaminación microbiológica: La contaminación a nivel industrial puede producirse por la calidad de las materias primas, tratamiento térmico insuficiente, higiene y desinfección incorrecta, contaminación por parte de los operarios, ambiente contaminado no controlado y puntos muertos en la línea de producción (Ovalle, 2013).

2.9 Evaluación sensorial

Las técnicas de análisis sensorial se han convertido en una herramienta clave para la comprensión de las preferencias del consumidor de productos lácteos en los cuales atributos como la apariencia, sabor y textura resultan ser los más relevantes. Por esta razón, las técnicas modernas de análisis sensorial pueden contribuir en el proceso de desarrollo de nuevos productos atractivos para el consumidor permitiendo tanto la

optimización de productos para un segmento específico de consumidores, como el monitoreo de los parámetros de calidad del producto (Innovations in Dairy, 2005).

La mayoría de los atributos del sabor en el yogur se generan a partir de la lipólisis de la grasa láctea y las transformaciones microbiológicas de la lactosa. Más de 100 compuestos volátiles, incluyendo compuestos carbonílicos, alcoholes, ácidos, ésteres, hidrocarburos, compuestos que contienen azufre y compuestos heterocíclicos, se encuentran en el yogur a concentraciones bajas. Además del ácido láctico, el acetaldehído, el diacetil, la acetoína, la acetona y la 2-butanona contribuyen al aroma y por ende el sabor característicos del yogur y las bebidas lácteas fermentadas (Cheng, 2010).

Cuando se realizan pruebas sensoriales de yogures y bebidas lácteas fermentadas los productos se aprietan entre la lengua y el paladar y se mezclan con la saliva antes de tragar. Esto provoca cambios tanto en la matriz del yogur, como en el de la bebida láctea fermentada por lo que es importante determinar cómo se ve afectada la red de proteínas estructuradas por este proceso y como se liberan compuestos de aroma y sabor (Laiho, Williams, Poelman, Appelqvist, & Logan, 2017). Varios estudios han mostrado correlaciones entre el comportamiento reológico determinado por instrumentos objetivos, como la viscosidad aparente y los atributos estructurales y sensoriales específicos. Sin embargo, es evidente que la reología por sí sola no puede predecir parámetros sensoriales complejos como el "*mouthfeel*" y la cremosidad siendo necesario determinar los perfiles sensoriales de los alimentos (Laiho et al., 2017).

En análisis sensorial el instrumento de medición lo constituyen las personas que evalúan el producto. Los jueces deben emitir juicios precisos (versus un valor de referencia) y reproducibles (en el tiempo), para lo cual es importante realizar un entrenamiento a los catadores. Existen varios tipos de panelistas: los panelistas expertos, los panelistas entrenados o panelistas de laboratorio y los panelistas consumidores. Los dos primeros son empleados en control de calidad, en el desarrollo de nuevos productos o cuando se realizan cambios en las formulaciones. El tercer grupo es empleado para determinar la reacción del consumidor hacia el producto alimenticio (Hernández, 2005).

El proceso de formación de catadores cuenta con cuatro etapas (Espinosa Manfugás, 2007): pre selección o selección previa, selección, adiestramiento y comprobación del adiestramiento.

- Preselección: esta etapa tiene como objetivo conocer aspectos personales que pueden influir en el desempeño de los futuros catadores. Para esto se hacen

entrevistas de manera voluntaria a los candidatos con el propósito de evaluar la salud, disponibilidad, interés y motivación de los mismos (Espinosa Manfugás, 2007). Por lo general, el reclutamiento de panelistas, tanto para paneles entrenados como para paneles no entrenados, puede iniciarse con el personal que trabaja en la institución u organización en que se lleve a cabo la investigación. La mayoría de personas que trabajan en una organización son panelistas potenciales y usualmente estarán interesados en participar si sienten que su contribución es importante (Watts B.M, Yilimaki G.L., Jeffery L.E., & Elías L.G., 1992).

- Selección: esta etapa tiene como objetivo evaluar la agudeza sensorial de los panelistas y la capacidad para discriminar diferentes grados de una característica sensorial específica (Watts B.M et al., 1992). Para esto se realizan pruebas para investigar la sensibilidad gustativa como pruebas de identificación de sabores básicos, prueba de umbral de sabor, prueba de detección y reconocimiento de olores, prueba de identificación de colores, prueba de identificación de textura, pruebas triangulares, entre otras (Espinosa Manfugás, 2007).
- Adiestramiento: esta etapa tiene como objetivo familiarizar a los individuos en el procedimiento de evaluación sensorial, mejorar la habilidad individual de los jueces para reconocer, identificar y cuantificar los atributos sensoriales, lograr una alta sensibilidad de los evaluadores y desarrollarles la capacidad para memorizar los distintos atributos que se evalúan a cada alimento. Además se busca conseguir juicios precisos y reproducibles, homogenizar la respuesta del equipo y lograr que los jueces dejen sus preferencias personales en función de dar criterios objetivos y exactos (Espinosa Manfugás, 2007).
- Comprobación del adiestramiento: esta etapa tiene como objetivo la realización de comprobaciones periódicas del adiestramiento para garantizar la confiabilidad de los resultados (Espinosa Manfugás, 2007).

Las pruebas que pueden ser utilizadas para evaluar sensorialmente un producto se dividen en tres grupos (Hernández, 2005): Pruebas discriminativas, descriptivas y afectivas. Las pruebas discriminativas permiten comparar dos o más productos, e incluso estimar el tamaño de la diferencia. De manera general son sencillas y de gran utilidad práctica. Las pruebas descriptivas son de manera general más complejas, mediante las mismas los jueces establecen los descriptores que definen las diferentes características sensoriales de un producto y utilizan dichos descriptores para cuantificar las diferencias existentes

entre varios productos. Las pruebas afectivas se realizan con personas no seleccionadas ni entrenadas, las que constituyen los denominados “jueces afectivos”. Los mismos en la mayoría de los casos se escogen atendiendo a que sean consumidores reales o potenciales del producto que se evalúa, pudiendo tener en cuenta situaciones económicas, demográficas, entre otros aspectos (Espinosa Manfugás, 2007).

La prueba a usar dependerá del tipo de proyecto que se esté realizando. Para este desarrollo se hace énfasis en las pruebas descriptivas y en específico a la prueba de análisis cuantitativo descriptivo.

2.9.1 Análisis cuantitativo descriptivo

Este tipo de prueba consiste en analizar varios atributos sensoriales de un alimento como el sabor, la textura y la apariencia. Cada panelista debe asignarle un valor a la intensidad percibida, además de cuantificar, también se puede describir o cualificar sensorialmente el producto. Para estas pruebas los panelistas se seleccionan de un gran grupo de candidatos de acuerdo a su capacidad para discriminar las diferencias en las propiedades sensoriales entre las muestras según el tipo de producto para el que han de ser entrenados (Meilgaard, Civille, & Carr, 2006). La capacitación de los panelistas requiere el uso de productos e ingredientes referencia, como otros métodos descriptivos, para estimular la generación de terminología.

2.10 Reología y viscosidad

Los parámetros reológicos son necesarios para establecer la consistencia o textura del yogur y de las bebidas lácteas fermentadas de manera objetiva. El comportamiento reológico del yogur se debe en buena medida al gel estructural presente, por lo que sus propiedades de flujo o viscosas exhiben dependencia tanto en el esfuerzo cortante como en el tiempo (Valderrama, 2001).

2.10.1 Viscosidad

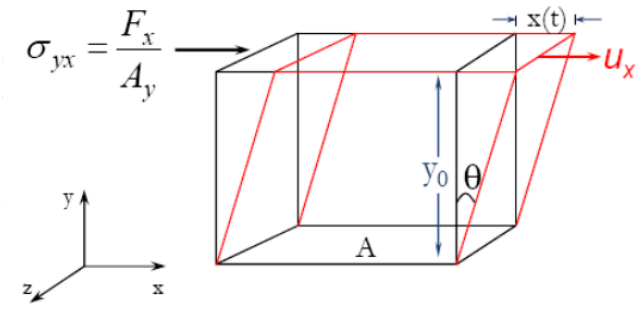
La viscosidad de un fluido es una medida de la resistencia a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción. La viscosidad es una propiedad física característica de todos los fluidos que emerge de las colisiones entre las

partículas del fluido que se mueven a diferentes velocidades, provocando una resistencia a su movimiento (Barnes, Hutton, & Walters, 1991).

2.10.1.1 Esfuerzo de cizalla o esfuerzo cortante

En la Figura 4 se muestra un esquema de movimiento de cizalla dado por una Fuerza (F) sobre un plato de área (A) que genera un desplazamiento (Δx) en un material

Figura 4. Esquema de movimiento de cizalla.



La fuerza Fx requerida para mover el plato superior se relaciona con el área en contacto con el material y para llegar a una medida específica es necesario dividir la fuerza total necesaria para el movimiento por el área en contacto con la sustancia según la Ecuación 1. Por definición, el esfuerzo de cizalla es la fuerza (Fx) por unidad de área (Ay) aplicada paralelamente al desplazamiento. En el SI tiene unidades de Pascales.

$$Esfuerzo\ de\ Cizalla \rightarrow \tau = \frac{Fuerza\ aplicada}{Area\ del\ plato} = \frac{\overrightarrow{Fx}}{Ay}[=]\frac{N}{m^2} = Pa \qquad \textbf{Ec. 1.}$$

Dado el esfuerzo de cizalla, el material sufre una deformación que se define como la variación relativa de posición en la dirección del flujo obtenido durante un proceso de cizalla. Se puede definir según la ecuación 2 por la relación geométrica formada. Esta variable es adimensional:

$$Deformación\ de\ Cizalla\ \rightarrow \gamma = tan\,\theta = \frac{\Delta x}{l} \qquad \textbf{Ec. 2.}$$

Si la fuerza aplicada en la Figura 4 se mantiene constante en el tiempo, se está generando permanentemente una deformación a una velocidad resultante que se denomina como velocidad de deformación de cizalla. Es decir es el cambio de la deformación de cizalla

por unidad de tiempo o la derivada de la deformación con respecto del tiempo. En el SI tiene unidades de s^{-1}. En inglés se denomina “shear rate”.

$$Velocidad\ de\ deformación\ de\ Cizalla \rightarrow \dot{\gamma} = \frac{\Delta\gamma}{\Delta t} = \frac{d\gamma}{dt} \qquad \textbf{Ec. 3.}$$

Muchos procesos industriales o casos cotidianos generan velocidades de deformación en cizalla como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores típicos y aplicaciones de efectos de la velocidad de cizalla en procesos industriales o aplicables al desarrollo de productos (Barnes et al., 1991).

Situación	Rango típico de velocidad de cizalla (s^{-1})	Aplicación
Sedimentación de polvos finos suspendidos en líquidos	10^{-6} a 10^{-4}	Desarrollo de Pinturas o productos de cuidado personal
Drenaje por gravedad	10^{-1} a 10^{1}	Aplicación de pinturas o recubrimientos
Extrusión	10^{0} a 10^{2}	Desarrollo de productos poliméricos, empaques
Masticación y deglución	10^{1} a 10^{2}	Alimentos
Mezclado y agitación	10^{1} a 10^{3}	Manufactura de líquidos
Flujo en tuberías	10^{0} a 10^{3}	Bombeado, flujo de sangre
Cepillado	10^{3} a 10^{4}	Aplicaciones de cuidado oral
Recubrimientos a alta velocidad	10^{5} a 10^{7}	Aplicaciones en polímeros o punturas

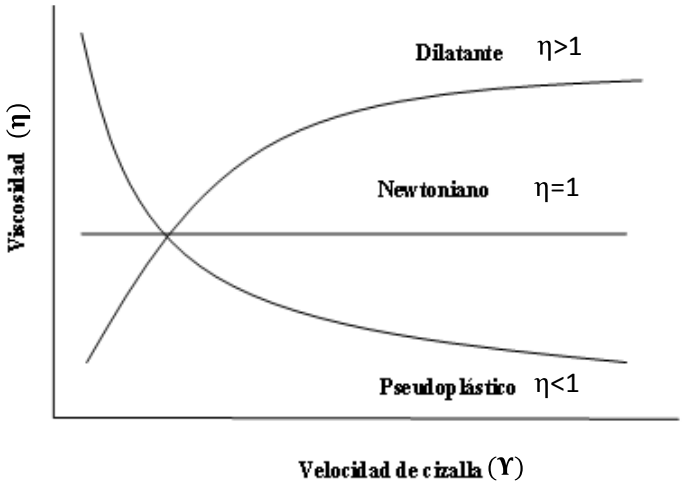
Debido a los diferentes procesos a los cuales son sometidos los alimentos y sus amplios rangos de cizalla, es que este tipo de análisis tiene un alto impacto en el entendimiento del uso de los fluidos en la industria, esto debido al amplio rango de velocidades de cizalla en los cuales se evalúa y su aplicación a los procesos productivos.

La mayoría de los fluidos pueden ser total o parcialmente descritos por el modelo de Ostwald-de Waele o Ley de Potencia. Este modelo es representado con la Ecuación 4.

$$\eta = K\,\Upsilon^{\,n-1} \qquad \textbf{Ec. 4.}$$

donde *K* y n son parámetros empíricos, *K* es el índice de consistencia y n es el índice de comportamiento de flujo, η es la viscosidad aparente y Υ es la velocidad de cizalla.

Figura 5. Variación de la viscosidad en función de la velocidad de cizalla para los diferentes tipos de fluidos tomado de Guest et al. (2013).



Valores de n inferiores a 1 indican que el fluido analizado es pseudoplástico. Valores de n superiores a 1 representan fluidos dilatantes. Finalmente, valores de n iguales a 1 indican un comportamiento viscoso ideal, es decir newtonianos (Figura 5) (Jahangiri, Streblow, & Müller, 2012).

3. Materiales y Métodos

3.1 Materiales

Cultivos: Se utilizaron tres cultivos de baja post acidificación de la casa comercial Christian Hansen (YC-X11, YF L812 y YC-X16) que tienen las características que se muestran en la Tabla 5 según ficha técnica del proveedor.

Tabla 5. Características de los cultivos usados.

	YC-X11	YF L812	YC-X16
Descripción	Cultivo YOFlex termófilo	Cultivo YOFlex termófilo	Cultivo YOFlex termófilo
Taxonomía	*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* *Streptococcus thermophilus*	*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* *Streptococcus thermophilus*	*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* *Streptococcus thermophilus*
Propiedades físicas	Color: grisáceo o rojizo o ligeramente marrón Forma: granulado	Color: grisáceo o rojizo o ligeramente marrón Forma: granulado	Color: grisáceo o rojizo o ligeramente marrón Forma: granulado
Aplicación	Yogur con sabor suave de alta viscosidad y baja post-acidificación. Adecuado para yogur bebible y cuchareable.	Yogur con extra alta viscosidad y sabor suave. Recomendado para yogur bebible y cuchareable.	Yogur con sabor suave, de muy alta viscosidad y muy baja post-acidificación. Adecuado para yogur bebible y cuchareable.
Dosis recomendada	50 U para 250 L	50 U para 250 L	50 U para 250 L
Curva de acidificación	Ver Anexo A	Ver Anexo A	Ver Anexo A

3.2 Métodos

3.2.1 Elaboración de bebida láctea

Para la elaboración de la bebida láctea fermentada se realizaron 3 yogures bases cada uno fabricado con un tipo de cultivo. A cada uno de estos se le adicionó un jarabe en proporciones 50-50 % (v/v). A continuación se muestra el paso a paso para la elaboración de la bebida láctea fermentada.

3.2.1.1 Elaboración de yogur base

Para la elaboración del yogur base se usó un procesador de alimentos con control de temperatura y velocidad de mezcla Thermomix (Thermomix TM31, Vorwerk, Alemania)

buscando replicar las condiciones que se tienen a nivel industrial. Los ingredientes empleados fueron los siguientes: leche entera en polvo, suero en polvo, sacarosa, sucralosa y agua. Estos ingredientes fueron premezclados y adicionados al equipo Thermomix con agua a 45 °C y calentados hasta 90 °C durante 8 min. En una yogurtera (Yogur Maker, Green & White, Estados Unidos) se agregó 1 L de producto. Los cultivos previamente preparados en leche UHT fueron adicionados según la concentración recomendada por el fabricante a 43 °C.

Los yogures se fabricaron para obtener un producto con 2,4% de grasa, 11% de sólidos lácteos no grasos, 4,5% de sacarosa y 0,03% de sucralosa.

3.2.1.2 Elaboración de jarabe

Para la elaboración del jarabe se usó un procesador de alimentos con control de temperatura y velocidad de mezcla Thermomix (Thermomix TM31, Vorwerk, Alemania) buscando replicar las condiciones que se tienen a nivel industrial. Los ingredientes empleados se muestran en la Tabla 6:

Tabla 6. Ingredientes empleados en el jarabe y sus porcentajes.

Ingredientes	% (p/p)
Agua	90,558
Salsa de frutas	3,93
Sacarosa	2,063
Almidón	1,887
Fosfato tricálcico	0,729
Saborización	0,382
Pectina	0,283
Conservante (sorbato de potasio)	0,079
Vitaminas y Zinc	0,056
Hierro	0,031
Rojo 40	0,002

La adición de estos ingredientes al Thermomix se realizó de la siguiente forma:

- Paso 1: Adicionar el 50% del agua disponible del jarabe a 70 °C al Thermomix y adicionar la pectina premezclada con el 70% de la sacarosa para garantizar su correcta dispersión. Agitar a 4000 rpm por 20 min. Adicionar las vitaminas, zinc y hierro.

- Paso 2: Mezclar con agitador de paletas (Dra-Lab-840103010000, Dragon Lab, China) en un recipiente plástico a 1500 rpm el almidón con el 30% restante de la sacarosa, sorbato de potasio y el 50% restante del agua a temperatura ambiente por 10 min.
- Paso 3: Adicionar sobre la mezcla de pectina, la mezcla de almidón, sacarosa sorbato de potasio y agua al Thermomix.
- Paso 4: Mezclar la fase del almidón con la fase de la pectina y calentar hasta 90 °C durante 5 min para garantizar la correcta cocción y desempeño del almidón. Los sabores, salsa de frutas y el color se adicionan a 85 °C.

3.2.1.3 Elaboración de bebida láctea fermentada

Para la elaboración de la bebida láctea fermentada se adicionó 50% de yogur y 50% de jarabe (v/v) a 25 °C. Cada bebida láctea se almacenó en recipientes herméticos de 150 mL mantenida en condiciones de refrigeración (4-6 °C) y analizada durante 21 días, tiempo de anaquel tomado para este proyecto.

Las bebidas lácteas fermentadas se fabricaron para obtener un producto con 1,2% de grasa, 5,5% de sólidos lácteos no grasos, 6,6% de sacarosa, 0,03% de sucralosa, vitaminas A, B3, B5, B9, D, E, K (10% de la ingesta diaria recomendada) y minerales hierro y zinc (10% de la ingesta diaria recomendada).

3.2.2 Evaluación de las características fisicoquímicas

Las propiedades fisicoquímicas se evaluaron durante la vida de anaquel del producto y se realizaron tanto a los yogures bases como a las bebidas lácteas fermentadas por triplicado. Salvo en los casos en que se indique lo contrario, las mediciones se realizaron los días 0, 7, 14 y 21.

3.2.2.1 Medida de pH

Las medidas de pH se realizaron usando un pH-metro MP220 (Mettler Toledo, Estados Unidos) a 10 °C.

3.2.2.2 Medida de acidez titulable

Las medidas de acidez, expresada como porcentaje de ácido láctico, se realizaron por medio de titulación con NaOH 0,1N a viraje de indicador de fenolftaleína según la siguiente ecuación:

$$\%\ Ácido\ láctico = \left(\frac{V_B \times N_B \times 90}{V_{leche}}\right) \times 100 \qquad \textbf{Ec. 5}$$

Donde V_B es el volumen de solución de hidróxido de sodio 0,1 N usado en la titulación de la muestra, en ml, N_B es la normalidad de la solución de hidróxido de sodio y V_{leche} el volumen de la muestra (10 ml) y 90 es el equivalente del ácido láctico.

3.2.2.3 Medida de viscosidad

Las medidas de viscosidad se realizaron usando un viscosímetro (DVIIþ Pro, Brookfield Co., Alemania) con aguja S63 a 20 rpm a temperatura ambiente (25 $\pm$ 2 ºC).

3.2.2.4 Sinéresis

Las medidas de sinéresis se realizaron en tiempo 0 y a los 21 días. Las muestras (~15 mL) fueron centrifugadas a 3000 rpm durante 20 min utilizando una centrífuga (LW Scientific Ultra-8T, Estados Unidos). La medida de sinéresis fue calculada como una relación porcentual entre el peso del suero liberado/agua tras la centrifugación y el peso de la muestra de yogur y bebida láctea fermentada, utilizando la siguiente fórmula:

$$Agua/Suero\ Liberado\ (\%) = \left(1 - \frac{Peso\ de\ sedimento}{Peso\ de\ la\ muestra}\right) x100 \qquad \textbf{Ec. 6}$$

3.2.2.5 Mediciones reológicas

Las mediciones reológicas se realizaron en un reómetro ARES, modelo DISCOVERY HR-1 (TA Instruments, Delaware, USA), usando un sensor plato-plato de 40 mm de diámetro rugoso con un gap de 1 mm y rugosidad de 0,4 mm (PPR40), a 25 °C. Las curvas de flujo se obtuvieron usando barridos de viscosidad en el intervalo de 0,01 y 100 s^{-1}. Esta medición se realizó en tiempo cero, justo después de la producción de los yogures y bebidas lácteas fermentadas.

3.2.2.6 Evaluación sensorial

Para escoger a los panelistas que evaluaron los yogures bases y las bebidas lácteas fermentadas con los tres cultivos de baja post-acidificación, se realizó el entrenamiento teniendo en cuenta las etapas de preselección, selección y adiestramiento. Para la pre selección se determinó a través de una entrevista el interés de los panelistas, la disponibilidad, hábitos y horarios alimenticios, estado de salud e intolerancia o alergia a los alimentos.

Para la etapa de selección se realizaron las siguientes evaluaciones:

- Identificación de los gustos básicos: se prepararon los cinco gustos básicos (dulce, amargo, salado, umami y ácido) según Tabla 7.

Tabla 7. Identificación de gustos básicos

Gustos básicos	Materia prima	Dosis de aplicación	Solución de aplicación
Dulce	Azúcar refinada	22.5 g	1 L de agua
Salado	Sal	6 g	
Acido	Ácido cítrico	0.8 g	
Amargo	Cafeína	0.54 g	
Umami	Glutamato	1.8 g	

- Identificación de olores: se prepararon las distintas muestras según Tabla 8.

Tabla 8. Identificación de olores.

Olor	Materia Prima	Preparación
Pera	Fragancia	Cortar una tirilla de 3 cm, humedecer con la fragancia cubrir con algodón y tapar con papel aluminio.
Naranja	Fragancia	Cortar una tirilla de 3 cm, humedecer con la fragancia cubrir con algodón y tapar con papel aluminio.
Rosa	Fragancia	Cortar una tirilla de 3 cm, humedecer con la fragancia cubrir con algodón y tapar con papel aluminio.
Canela	Astilla de canela	Astillas de canela en infusión (4 g de canela en 100 mL de agua dejar hervir por 2 min) se adiciona 2 mL de solución de Canela en el algodón y se tapa con papel aluminio.
Ajo	Ajo deshidratado o ajo blanco común	Ajo deshidratado (0,5 g de ajo en un vaso de 4 oz cubrir con algodón y tapar con papel aluminio) o ajo blanco común en infusión (se prepara 2 gr de ajo en 100 mL de agua, dejar hervir por 2 min). Se adiciona 2 mL de solución de ajo en el algodón y se tapa con papel aluminio.
Acetona	Removedor de esmalte Lander	Se adiciona 3 mL de removedor *Lander* en un tubo de ensayo de tapa rosca.

- Prueba descriptiva de sensaciones: Consiste en conocer la diferencia entre sabor y sensación, entender el vocabulario empleado por los evaluadores y generar memoria sensorial. Las muestras se prepararon según Tabla 9.

Tabla 9. Análisis de sensaciones.

Sensaciones	Materia prima	Preparaciones
Burbujeante	CO_2	En 1 L de agua fría con una temperatura de 4 °C se agrega CO_2, realizando tres pulsaciones con el sodas Trema, se sirve en el momento de probar, para que no pierda el gas.
Pungente	Jengibre	En un L de agua al clima, se agrega 60 g de jengibre en trozos de 2 cm x 2 cm, dejar hervir por 5 min. Dejar enfriar y servir.
Picante	Ají	En 1 L de agua al clima, se agrega 6 g de ají, revolver hasta disolver todo el producto y servir.
Astringente	Extracto de té negro	En 1 L de agua al clima, se agrega 7,7 g de extracto de té negro, revolver hasta disolver todo el producto y servir.
Metálico	Sulfato ferroso 300 mg	En 1 L de agua al clima, se agrega 0,098 g de sulfato ferroso y revolver hasta disolver todo el producto y servir.
refrescante	Halls Negro XS	Servir una pastilla de halls negro.

Después de realizadas las pruebas de sensibilidad se realizaron las pruebas de caracterización usando la siguiente metodología:

- Prueba de umbrales de los gustos básicos. El objetivo de estas pruebas es conocer la sensibilidad, el nivel de detección, reconocimiento y saturación del evaluador frente a los cinco gustos básicos para la selección de jueces.
- Prueba de ordenación por intensidades. El objetivo de estas pruebas es conocer la sensibilidad del evaluador en el reconocimiento y en la diferenciación de las intensidades de los cinco gustos básicos.

Para la etapa de adiestramiento se realizaron pruebas discriminativas y pruebas descriptivas usando como producto la bebida láctea fermentada y los yogures bases.

- Prueba triangular. En esta prueba se le presenta al evaluador simultáneamente tres muestras, 2 iguales y una diferente y el panelista debe seleccionar la muestra diferente.
- Prueba duo-trio: En esta prueba se presentan al evaluador simultáneamente tres muestras, una muestra identificada como P o patrón y 2 muestras codificadas, una igual al patrón, el panelista debe seleccionar la muestra igual a P o patrón.

- Prueba pares simples – comparación pareada: En esta prueba se presenta al evaluador simultáneamente 2 muestras, el panelista debe probar e indicar si las muestras son iguales o diferentes.

Para las pruebas descriptivas se le solicitó a la casa saborista Firmenich un kit de sabores para hacer reconocimiento y descripción de cada sabor. El kit consta de los siguientes sabores divididos en familias:

- Láctea: Notas cultivo, rancio, vainilla, leche condensada, caramelo, cremoso, lácteo.
- Floral-Frutal: violeta, sulfuroso, piel dulce, pulpa.
- Frutal: banano, manzana, pera, durazno, fresa, frambuesa, naranja, bayas, semilla, notas maduras, notas verdes, baya, cereal.
- Dulces fantasía: mermelada, dulce, miel, sulfuroso dulce.

Se realizó un proceso de memorización para interiorizar y relacionar el sabor con lo que se está probando.

Adicionalmente se entrenó a los evaluadores en medición de atributos de textura dirigidos especialmente a medir cremosidad y viscosidad usando como referencia la NTC 4489 adaptada al tipo de producto a evaluar. Como ingredientes referencia se usaron los mostrados en la Tabla 10 y 11.

Tabla 10. Escala de cremosidad.

Escala 1	Escala 2	Escala 3	Escala 3,5	Escala 4	Escala 5
Agua 100%	Agua 50%/Leche 50%	Leche 100%	75% Leche + 25%Crema	Crema 50% + Leche 50%	Crema de leche 100%

Tabla 11. Escala de viscosidad.

Escala 1	Escala 2	Escala 3	Escala 4	Escala 5	Escala 6
Yogo Yogo	Regeneris	Yogur Original	Mayonesa	Leche Condensada	Miel

Por medio de escalas de 6 puntos se evaluaron distintos atributos del producto (Ver Anexo B) y se determinaron los perfiles de análisis cuantitativo descriptivo de las 3 bebidas lácteas fermentadas realizadas con los diferentes cultivos y de los 3 yogures bases realizados con los diferentes cultivos determinando de esta manera si los productos presentan o no diferencias.

Para presentar el perfil del producto se usó la norma técnica NTC 3929 de perfil de sabor.

Las mediciones se hicieron en tiempo 0 y a los 21 días de almacenamiento para el yogur base y en tiempo 0, 14 días y 21 días de almacenamiento para la bebida láctea fermentada.

3.2.3 Análisis microbiológicos

Para cada una de las muestras de yogur base y bebida láctea fermentada se realizaron mediciones de Coliformes totales*, Escherichia Coli,* Hongos y Levaduras*, Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus* siguiendo el método de análisis dado en la NTC 4458 para Coliformes totales y *Escherichia Coli,* NTC 5698-1 para hongos y levaduras, NTC 4779 para *Staphylococcus aureus y* NTC 4679 para *Bacillus cereus.*

Además, para la bebida láctea fermentada se realizaron mediciones de *Lactobacillus delbrueckii* subsp*. bulgaricus* y *Streptococcus salivarius* subsp*. thermophilus* siguiendo el método de análisis ISO 7889 - IDF 117:200 en tiempo 0 y a los 21 días de almacenamiento.

3.2.4 Diseño experimental y análisis estadístico

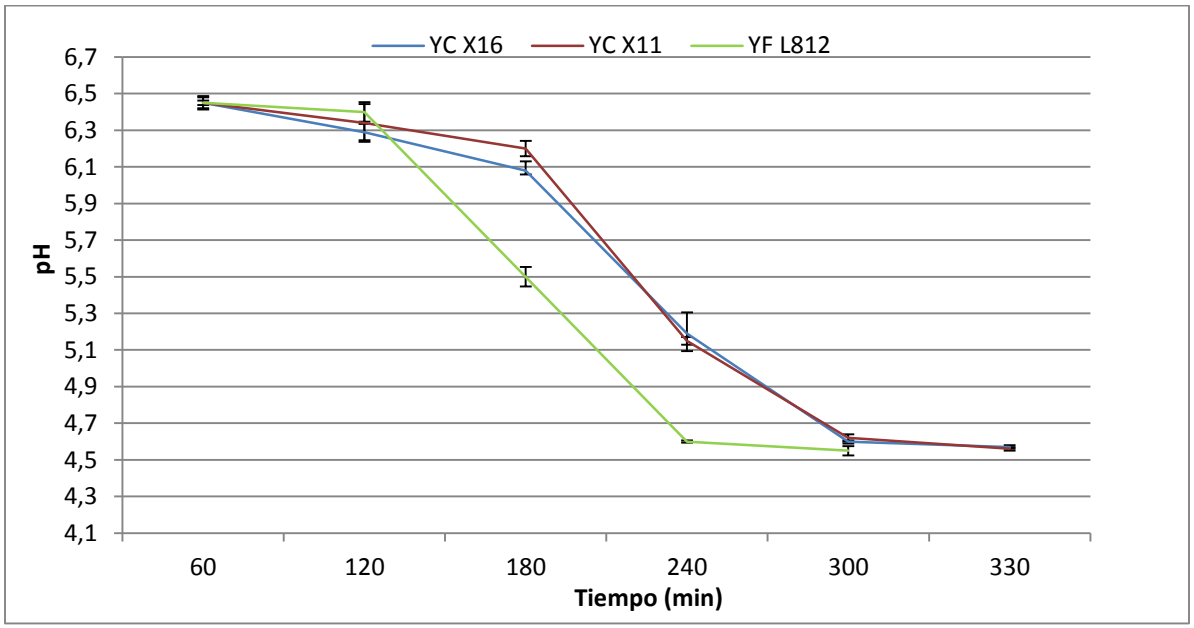
Los resultados de las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y microbiológicas fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor, utilizando el software Statgraphics Centurion XV, versión 15.2.05. El análisis de varianza de las variables respuesta se realizó utilizando el modelo GLM (General Linear Models) y la comparación de las medias se realizó por la mínima diferencia significativa (test LSD).

4. Resultados y discusión

4.1 Elaboración de yogur

La cinética de fermentación, la generación de textura, sabor y aroma y la baja post acidificación son los procesos fermentativos más importantes de los cultivos iniciadores de yogur como se ha mencionado anteriormente. A continuación se presenta la cinética de fermentación de los yogures que indica el correcto funcionamiento del cultivo. Para la elaboración del yogur se usó una temperatura de 43 °C y la fermentación de las muestras se detuvo cuando el pH alcanzó 4,6 obteniendo las curvas mostradas en la Figura 6.

Figura 6. Efecto de diferentes cultivos de baja post-acidificación en la cinética de fermentación del yogur.



Los resultados obtenidos mostraron que las cinéticas de fermentación siguieron el comportamiento esperado según ficha técnica del proveedor. El tiempo de fermentación necesario para alcanzar un pH aproximado de 4,6 varió entre 300 y 330 min. El cultivo YF L812 varió significativamente entre el minuto 180 y 240 comparado con el cultivo YC X11 y YC X16 (p<0,05). Esta diferencia en la curva de fermentación puede deberse a una mayor generación de acidez debido a las bacterias *Lactobacillus bulgaricus*, sin embargo al final

de la fermentación alcanzó el pH deseado en 300 min sin presentar diferencia significativa con los demás cultivos (p>0,05).

Para todos los casos, en la última hora de fermentación no se presentan diferencias significativas en el pH (p>0,05). Esto puede deberse a que al ser cultivos de baja post acidificación logran mantener el pH sin generar cambios significativos en este parámetro.

4.2 Variación del pH y de la acidez en el tiempo

Durante el almacenamiento los productos se encontraron a temperaturas entre 4 °C y 6 °C. A esta temperatura como se ha mencionado anteriormente, aunque se retarda cualquier actividad metabólica de los microorganismos se tiene igualmente procesos fermentativos y producción de ácido láctico.

En la Tabla 12 se puede observar el efecto de los cultivos en el pH y la acidez de los productos durante la vida de anaquel. La disminución del pH o aumento de la acidez y el potencial redox son dependientes de los ingredientes añadidos y del tipo de cultivo usado (Dave & Shah, 1997).

Tabla 12. Efecto de los cultivos en los valores de pH y acidez para el yogur y bebida láctea fermentada a lo largo de la vida de anaquel.

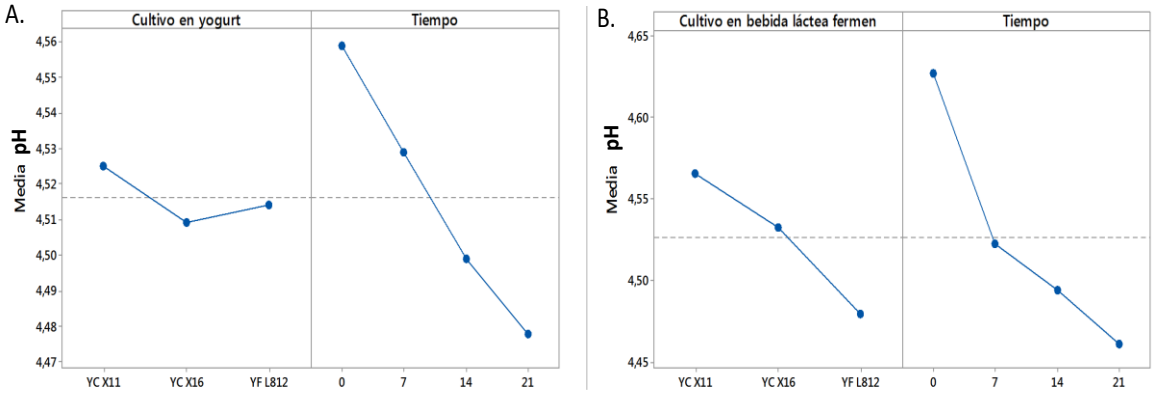
Producto	Tipo de cultivo	tiempo 0		tiempo 7 días		tiempo 14 días		tiempo 21 días	
		pH	Acidez (% Ácido Láctico)	pH	Acidez (% Ácido Láctico)	pH	Acidez (% Ácido Láctico)	pH	Acidez (% Ácido Láctico)
Yogur	YC X11	4,56 ± 0,01 ^{a,A}	0,81 ± 0,04 ^{a,E}	4,55 ± 0,03 ^{a,A}	0,87 ± 0,01 ^{a,F}	4,5 ± 0,01 ^{a,B}	0,90 ± 0,01 ^{a,FG}	4,49 ± 0,02 ^{a,B}	0,93 ± 0,01 ^{a,G}
	YC X16	4,57 ± 0,02 ^{a,A}	0,83 ± 0,03 ^{a,E}	4,52 ± 0,01 ^{a,B}	0,90 ± 0,03 ^{a,F}	4,49 ± 0,01 ^{a,C}	0,93 ± 0,04 ^{a,F}	4,46 ± 0,01 ^{ab,D}	0,94 ± 0,04 ^{a,F}
	YF L812	4,55 ± 0,01 ^{a,A}	0,89 ± 0,02 ^{b,E}	4,52 ± 0,01 ^{a,B}	0,97 ± 0,02 ^{b,F}	4,51 ± 0,01 ^{a,B}	1,00 ± 0,02 ^{b,FG}	4,48 ± 0,01 ^{b,C}	1,05 ± 0,06 ^{b,G}
Bebida láctea fermentada	YC X11	4,65 ± 0,02 ^{b,A}	0,42 ± 0,03 ^{c,E}	4,56 ± 0,05 ^{b,B}	0,46 ± 0,03 ^{c,EF}	4,55 ± 0,02 ^{b,B}	0,46 ± 0,02 ^{c,EF}	4,51 ± 0,02 ^{c,B}	0,48 ± 0,02 ^{c,F}
	YC X16	4,62 ± 0,06 ^{b,A}	0,43 ± 0,03 ^{c,E}	4,52 ± 0,03 ^{b,B}	0,46 ± 0,05 ^{c,E}	4,51 ± 0,02 ^{c,B}	0,47 ± 0,03 ^{c,E}	4,49 ± 0,01 ^{c,B}	0,49 ± 0,02 ^{cd,E}
	YF L812	4,62 ± 0,06 ^{b,A}	0,46 ± 0,03 ^{c,E}	4,49 ± 0,01 ^{b,B}	0,50 ± 0,01 ^{c,EF}	4,43 ± 0,01 ^{d,C}	0,51 ± 0,03 ^{c,EF}	4,38 ± 0,01 ^{d,D}	0,54 ± 0,03 ^{d,F}

Valores en columna seguidos de la misma letra minúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Valores en filas seguidos de la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Como se puede observar en la Tabla 12, tanto el tipo de cultivo como el tiempo tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el pH (p<0,05). Este efecto se presenta gráficamente tanto para el yogur como para las bebidas lácteas fermentadas (Gráfico 2).

Gráfico 2. Efecto del cultivo y tiempo en el pH para A. Yogures y B. Bebidas lácteas fermentadas.

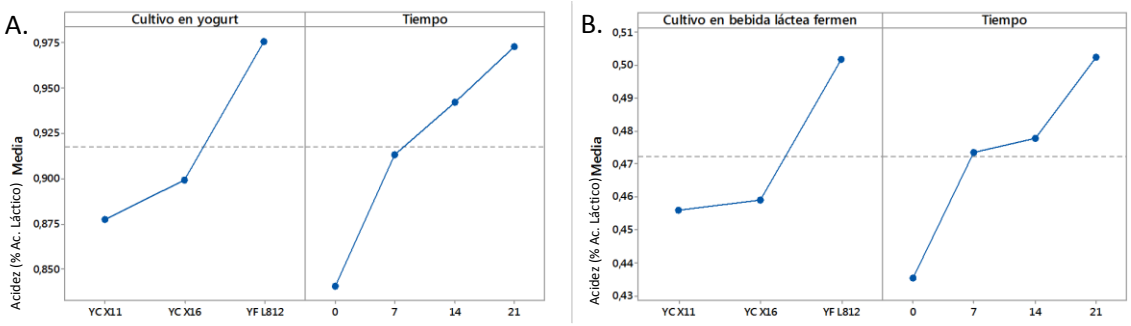


Aunque ambos efectos presentaron diferencia estadística significativa, el efecto del tiempo sobre el pH es mayor que el efecto del tipo de cultivo y esto se puede concluir dado que la pendiente de esta gráfica es más pronunciada y esto hace referencia a un mayor efecto sobre la medida. Tendencias similares fueron reportadas para yogures producidos usando exopolisacáridos almacenados a 4 °C por 28 días (Prasanna, Grandison, & Charalampopoulos, 2013).

Por otra parte, aunque estadísticamente el pH presenta diferencias significativas influenciadas por el tiempo, estos cultivos cumplen con el criterio de ser de baja post acidificación ya que los valores de pH de las muestras de yogur presentaron un descenso de 1,56% desde tiempo cero hasta 21 días de almacenamiento para el caso del cultivo YC X11 y del cultivo YF L812. El cultivo YC X16 presentó un descenso en el pH de 2,47%. Igualmente ninguno de estos presentó una disminución en menos de 0,3 unidades. Estos resultados indican que el uso de un cultivo iniciador de yogur como los de este proyecto compuestos por una cepa de *L. bulgaricus* de acidificación lenta y adicionado en menos proporción que el *S. thermophilus,* podría reducir los cambios drásticos en el pH durante el almacenamiento de productos lácteos fermentados.

Los comportamientos obtenidos para la acidez se muestran en el Gráfico 3. A partir de los datos se concluye que tanto el tipo de cultivo como el tiempo tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre este parámetro (p<0,05).

Gráfico 3. Efecto del cultivo y tiempo en la acidez para A. Yogures y B. Bebidas lácteas fermentadas.



El cultivo que presentó mayor variación en la acidez fue el YF L812 lo que indica que es el cultivo con la mayor cantidad de *L.delbrueckii* spp*. bulgaricus* (ver sección 4.7).

4.3 Variación de la viscosidad

La viscosidad como se mencionó previamente, es uno de los atributos más importantes para el consumidor dado que determina la capacidad de llenura del producto. En la Tabla 13 se muestran las viscosidades de los yogures y bebidas lácteas fermentadas fabricadas con los cultivos YC X11, YC X16 y YF L812.

Tabla 13. Efecto de los cultivos en los valores de viscosidad dinámica para el yogur y bebida láctea fermentada a lo largo de la vida de anaquel.

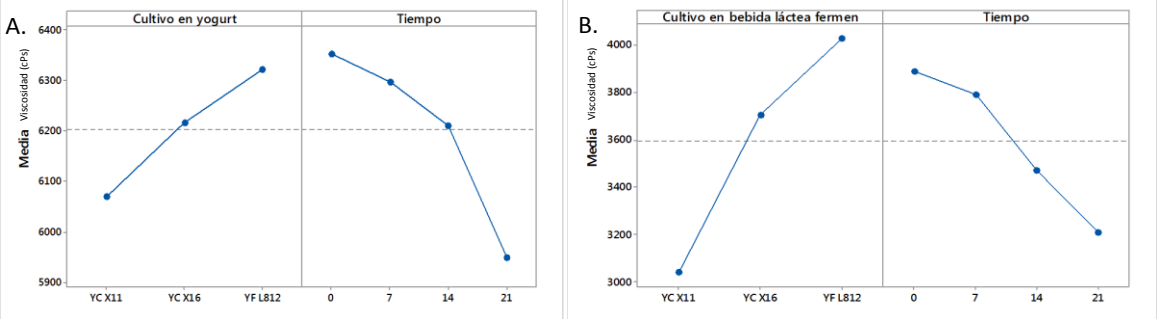
Producto	Tipo de cultivo	tiempo 0	tiempo 7 días	tiempo 14 días	tiempo 21 días
		Viscosidad dinámica (cPs)			
Yogur	YC X11	6251,67 ± 34,03 ^{a,A}	6151,67 ± 65,90 ^{a,B}	6050,33 ± 47,38 ^{a,C}	5831,33 ± 55,87 ^{a,D}
	YC X16	6357,33 ± 20,53 ^{b,A}	6315,33 ± 25,17 ^{b,A}	6233,00 ± 44,80 ^{b,B}	5960,67 ± 35,23 ^{b,C}
	YF L812	6451,67 ± 32,53 ^{c,A}	6427,33 ± 33,26 ^{c,A}	6352,33 ± 26,54 ^{c,B}	6058,00 ± 40,60 ^{c,C}
Bebida láctea fermentada	YC X11	3626,33 ± 34,93 ^{d,A}	3460,00 ± 56,90 ^{d,B}	2852,67 ± 69,06 ^{d,C}	2226,33 ± 108,58 ^{d,D}
	YC X16	3891,67 ± 13,51 ^{e,A}	3784,67 ± 102,96 ^{e,AB}	3650,67 ± 143,20 ^{e,BC}	3491,67 ± 139,33 ^{e,C}
	YF L812	4158,00 ± 82,15 ^{f,A}	4134,33 ± 115,70 ^{f,A}	3913,00 ± 118,60 ^{f,B}	3913,00 ± 28,16 ^{f,B}

Valores en columna seguidos de la misma letra minúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Valores en filas seguidos de la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Como se puede evidenciar en la Tabla 13 tanto los yogures como las bebidas lácteas fermentadas presentan diferencias significativas (p<0,05) tanto en tiempo cero como a lo largo de la vida en anaquel en este parámetro. El análisis de este comportamiento se presenta gráficamente a continuación:

Gráfico 4. Efecto del cultivo y tiempo en la viscosidad para A. Yogures y B. Bebidas lácteas fermentadas.



El cultivo que presentó mayor viscosidad fue el YF L812 seguido por el YC X16. Este comportamiento se presentó tanto en el yogur como en la bebida láctea fermentada. Dado que el único cambio realizado en los productos fue el cultivo usado, se puede concluir que existe una relación directa entre el cultivo y la textura del yogur y de la bebida láctea fermentada. Estos datos son coherentes con las fichas técnicas del proveedor dado que se considera el cultivo YF L812 como el que aporta la mayor textura comparado con los otros dos cultivos.

El aumento en la viscosidad del cultivo YF L812 puede estar generado por la mayor producción de exopolisacáridos, pues como han demostrado varias investigaciones, los exopolisacáridos producidos por las bacterias ácido lácticas interactúan con el agua libre de la estructura del gel mejorando las propiedades reológicas y la textura del yogur (Prasanna et al., 2013).

A lo largo de la vida de anaquel se observó una disminución en la viscosidad tanto para los yogures como las bebidas lácteas fermentadas. Esta disminución de la firmeza puede explicarse por la baja post-acidificación de las bacterias lácticas en los productos pues la producción de ácido láctico conduce a la estabilización de micelas de caseína y un refuerzo de la fuerza de la red de proteínas que en estos yogures se tendría en menor medida (Yousseef, Lafarge, Valentin, Lubbers, & Husson, 2016).

4.4 Reología

Es importante conocer las propiedades reológicas del yogur pues pueden afectar el diseño del proceso, desarrollo del producto, procesamiento, manipulación, control de calidad y almacenamiento. Para entender el comportamiento reológico de los yogures y bebidas lácteas fermentadas se realizaron curvas de flujo en tiempo cero las cuales se pueden observar en los Gráficos 5 y 6. En los mismos gráficos se observan las regresiones potenciales de la viscosidad en función de la velocidad de cizalla y sus respectivos ajustes al modelo de la ley potencial, correspondientes a la Ec. 4. Estos ajustes se muestran en la leyenda de los Gráficos 5 y 6. Con base en la Ec. 4 se pudieron determinar los valores de las constantes índice de consistencia *(K)* e índice de flujo (n) para cada objeto de análisis (Tabla 14).

Gráfico 5. Variaciones de la viscosidad (η) en función de la velocidad de cizalla (γ) para el yogur. Coeficiente de γ= *K*, exponente = n-1. Las ecuaciones de las regresiones potenciales son [$\eta = K(\gamma)^{n-1}$]: $\eta = 7{,}1528(\gamma)^{-0{,}834}$ para YF L812, $\eta = 5{,}0832(\gamma)^{-0{,}929}$ para YC X11, $\eta = 4{,}6031(\gamma)^{-0{,}897}$ para YC X16.

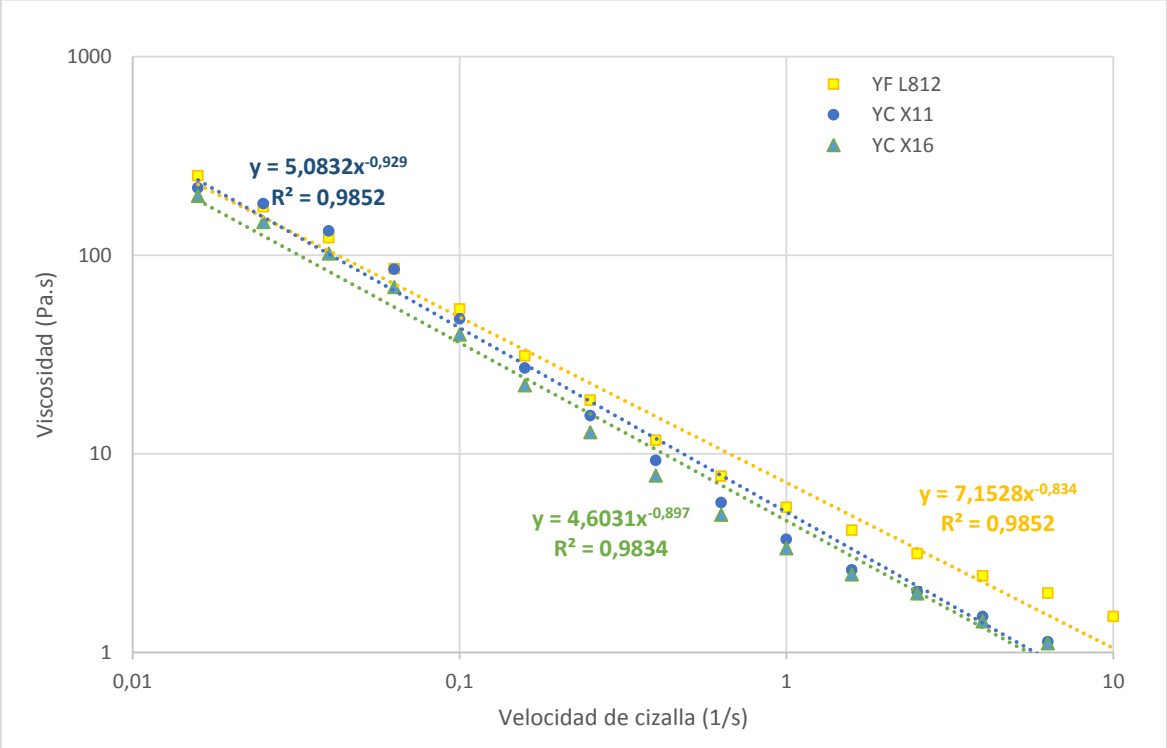
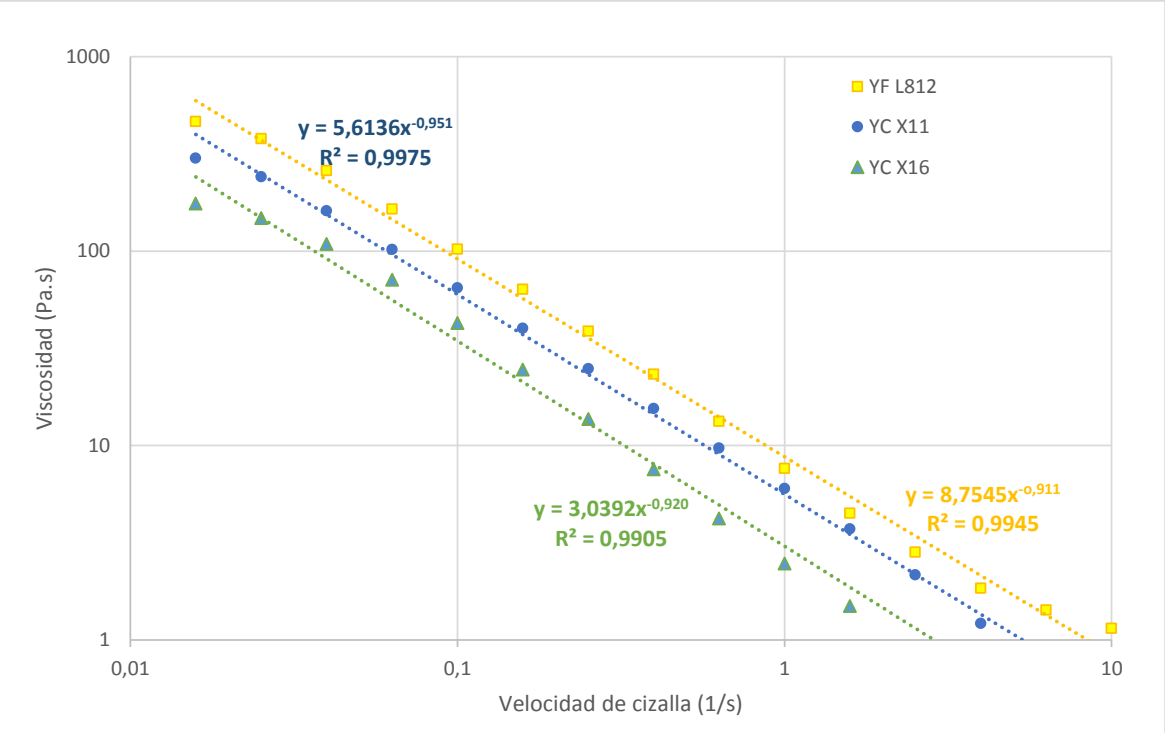


Gráfico 6. Variaciones de la viscosidad (η) en función de la velocidad de cizalla (Υ) para las bebidas lácteas fermentadas Coeficiente de Υ = K, exponente = n-1. Las ecuaciones de las regresiones potenciales son [$\eta = K(\Upsilon)^{n-1}$]: $\eta = 8{,}7545(\Upsilon)^{-0{,}911}$ para YF L812, $\eta = 5{,}6136(\Upsilon)^{-0{,}951}$ para YC X11, $\eta = 3{,}0392(\Upsilon)^{-0{,}920}$ para YC X16.



Como se puede observar en los gráficos los yogures y bebidas lácteas fermentadas tienen un comportamiento pseudoplástico pues su viscosidad y esfuerzo cortante disminuyen con la velocidad de deformación. Además todos los productos evaluados presentaron un valor de n menor a 1 lo cual permite concluir a partir del índice de flujo que todos ellos son pseudoplásticos. Las fuerzas hidrodinámicas tales como deglución, mezcla, vertido y bombeo, generadas durante la ruptura por cizallamiento de las unidades estructurales de exopolisacáridos causan el comportamiento pseudoplástico de las diferentes muestras (Prasanna, Bell, Grandison, & Charalampopoulos, 2012). Desde el punto de vista del desarrollo de un producto alimenticio, esta característica pseudoplástica de los exopolisacáridos es importante para proporcionar buenas propiedades sensoriales tales como propiedades de "*mouthfeel*" y propiedades de liberación de sabor de los alimentos (Prasanna et al., 2012).

Los mayores valores de viscosidad para el yogur y la bebida láctea fermentada se encontraron para el cultivo YF L812 como se evidencia en los gráficos 5 y 6 siendo

congruente con los resultados encontrados para la viscosidad dinámica calculada por medio del equipo Brookfield.

Tabla 14. Parámetros de ley potencial obtenidos para los yogures y bebidas lácteas fermentadas.

Producto	*K* (Pa·s^{-1})	N (U.A.)	R^2 experimental
Yogur YC X11	5,08^{a}± 0,30	0,07^{a}± 0,03	0,98
Yogur YC X16	4,60^{a}± 0,20	0,10^{b}± 0,05	0,98
Yogur YF L812	7,15^{b}± 0,45	0,16^{c}± 0,03	0,98
Bebida láctea fermentada YC X11	5,61 ^{c}± 0,28	0,05 ^{d}± 0,02	0,99
Bebida láctea fermentada YC X16	3,04 ^{d}± 0,12	0,08 ^{e}± 0,01	0,99
Bebida láctea fermentada YF L812	8,75 ^{e}± 0,30	0,09 ^{d}± 0,02	0,99

Valores en columna seguidos de la misma letra minúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Los valores de n mostrados en la Tabla 14 cercanos a cero indican que los productos son más inestables y sensibles a los procesos de cizalla. Por esto se puede concluir que las bebidas lácteas son más inestables comparadas con los yogures base y esto puede deberse a que las interacciones proteína-proteína que se generan en el yogur, son más fuertes que las generadas en la bebida láctea fermentada entre la proteína del yogur y los hidrocoloides del jarabe. Tendencias similares fueron reportadas para yogures probióticos enriquecidos con fibra de maracuyá (Espírito-Santo et al., 2013).

4.5 Sinéresis

La sinéresis como se mencionó anteriormente es un defecto de calidad importante en la fabricación de un yogur, ya que puede conducir a la acumulación de suero en la superficie del gel generando una baja aceptación por parte del consumidor.

En la Tabla 15 se tienen los valores de sinéresis calculados para los diferentes yogures y bebidas lácteas fermentadas y en el Gráfico 7 los efectos de los cultivos y del tiempo en la sinéresis. Los valores variaron entre 32-42%, encontrándose diferencias significativas influenciadas por el tipo de cultivo (p>0,05) pero no por el tiempo. Los valores encontrados en este estudio se encuentran dentro de los rangos reportados por Keogh & O'kennedy, 1998, para yogures adicionados con grasa láctea, proteína e hidrocoloides, pero más altos que los hallados para yogures probióticos con una mezcla de leche de vaca y oveja (Vianna

et al., 2017) los cuáles llegaron a un valor máximo de 34,6% a los 28 días de almacenamiento.

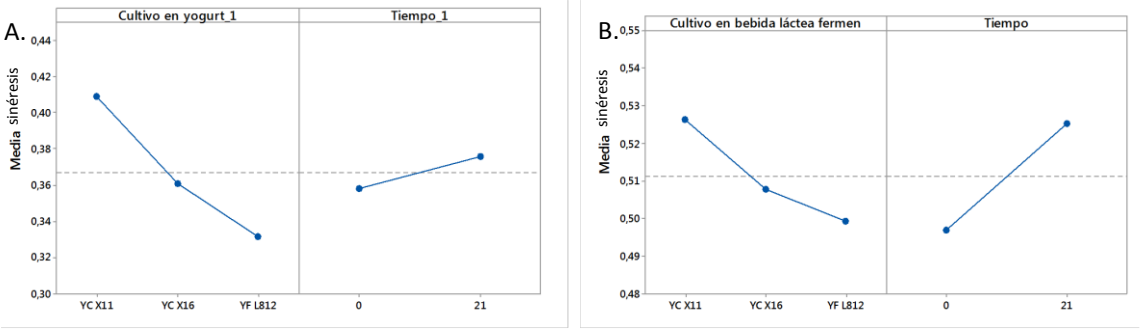
Tabla 15. Efecto de los cultivos en la sinéresis para el yogur y bebida láctea fermentada a lo largo de la vida de anaquel.

Producto	Tipo de cultivo	tiempo 0	tiempo 21 días
		Sinéresis (%)	Sinéresis (%)
Yogur	YC X11	39,80 ± 0,80 ^{a,A}	42,00 ± 1,10 ^{a,A}
	YC X16	35,30 ± 1,00 ^{ab,A}	36,90 ± 0,90 ^{b,A}
	YF L812	32,42 ± 4,30 ^{b,A}	33,80 ± 4,20 ^{c,A}
Bebida láctea	YC X11	50,60 ± 0,70 ^{c,A}	55,70 ± 1,50 ^{d,A}
	YC X16	49,40 ± 0,20 ^{c,A}	52,10 ± 1,20 ^{d,A}
	YF L812	49,10 ± 0,80 ^{c,A}	50,80 ± 1,90 ^{d,A}

Valores en columna seguidos de la misma letra minúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Valores en filas seguidos de la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Gráfico 7. Efecto del cultivo y tiempo en la sinéresis para A. Yogures y B. Bebidas lácteas fermentadas.



El valor de sinéresis de las bebidas lácteas fermentadas comparadas con los yogures es más alta y esto puede deberse a la mayor presencia de agua que incrementa el % de sinéresis.

El cultivo que presentó menor sinéresis fue el YF L812 y esto puede deberse a que genera una mayor cantidad de exopolisacáridos que ayudan a disminuir el nivel de separación del líquido (Yousseef et al., 2016). Esto se corrobora en distintos estudios en los cuales se evidencia que una mayor cantidad de exopolisacáridos genera una estructura porosa en el yogur que podría aumentar la capacidad de retención de agua de la estructura de gel conduciendo a una menor sinéresis (Xu et al., 2015).

4.6 Análisis sensorial

Como se ha dicho anteriormente, uno de los parámetros más importantes que se tiene en cuenta para seleccionar un producto es el perfil sensorial. Es por esto que se realizaron pruebas sensoriales a los diferentes yogures bases y bebidas lácteas fermentadas con 6 panelistas entrenados escogidos luego de haber realizado el entrenamiento. Este entendimiento se realizó con la finalidad de caracterizar tanto el yogur base que compone la bebida láctea fermentada como la bebida láctea fermentada como producto final. Los atributos que se tuvieron en cuenta en el yogur base fueron "*mouthfee*l", viscosidad, dulzor, acidez láctica, astringencia y cremosidad los cuales fueron evaluados en tiempo cero y a los 21 días de almacenamiento según resultados mostrados en Tablas 16 a 21 y Gráfico 8.

Tabla 16. Efecto de los cultivos en el "*mouthfeel*" para el yogur a lo largo de la vida de anaquel.

Producto	Tipo de cultivo	*"Mouthfeel"*	
		tiempo 0	tiempo 21
Yogur	YC X11	4,58 ± 0,13 ^{a,A}	3,54 ± 0,10 ^{a,B}
	YC X16	4,63 ± 0,00 ^{a,A}	4,08 ± 0,00 ^{b,B}
	YF L812	5,00 ± 0,14 ^{b,A}	4,00 ± 0,20 ^{ab,A}

Valores en columna seguidos de la misma letra minúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Valores en filas seguidos de la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Tabla 17. Efecto de los cultivos en la viscosidad sensorial para el yogur a lo largo de la vida de anaquel.

Producto	Tipo de cultivo	Viscosidad	
		tiempo 0	tiempo 21
Yogur	YC X11	4,00 ± 0,00^{a,A}	3,58 ± 0,08^{a,A}
	YC X16	4,00 ± 0,00^{a,A}	3,97 ± 0,13^{b,A}
	YF L812	4,00 ± 0,00^{a,A}	4,01 ± 0,14^{b,A}

Valores en columna seguidos de la misma letra minúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Valores en filas seguidos de la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Tabla 18. Efecto de los cultivos en la cremosidad para el yogur a lo largo de la vida de anaquel.

Producto	Tipo de cultivo	Cremosidad	
		tiempo 0	tiempo 21
Yogur	YC X11	3,12 ± 0,21 ^{a,A}	3,00 ± 0,00 ^{a,A}
	YC X16	3,12 ± 0,59 ^{a,A}	3,17 ± 0,21 ^{a,A}
	YF L812	3,75 ± 0,22 ^{b,A}	3,17 ± 0,21 ^{a,B}

Valores en columna seguidos de la misma letra minúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Valores en filas seguidos de la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Tabla 19. Efecto de los cultivos en el dulce para el yogur a lo largo de la vida de anaquel.

Producto	Tipo de cultivo	Dulce	
		tiempo 0	tiempo 21
Yogur	YC X11	3,58 ± 0,30 ^{a,A}	3,42 ± 0,32 ^{a,A}
	YC X16	3,17 ± 0,26 ^{b,A}	3,41 ± 0,24 ^{a,A}
	YF L812	3,62 ± 0,26 ^{b,A}	3,71 ± 0,26 ^{a,A}

Valores en columna seguidos de la misma letra minúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Valores en filas seguidos de la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Tabla 20. Efecto de los cultivos en la acidez para el yogur a lo largo de la vida de anaquel.

Producto	Tipo de cultivo	Acidez láctica	
		tiempo 0	tiempo 21
Yogur	YC X11	2,83 ± 0,13 ^{a,B}	3,42 ± 0,49 ^{a,A}
	YC X16	2,6 ± 0,37 ^{ab,A}	3,00 ± 0,50 ^{ab,A}
	YF L812	3,13 ± 0,21 ^{b,B}	3,58 ± 0,21 ^{b,A}

Valores en columna seguidos de la misma letra minúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Valores en filas seguidos de la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

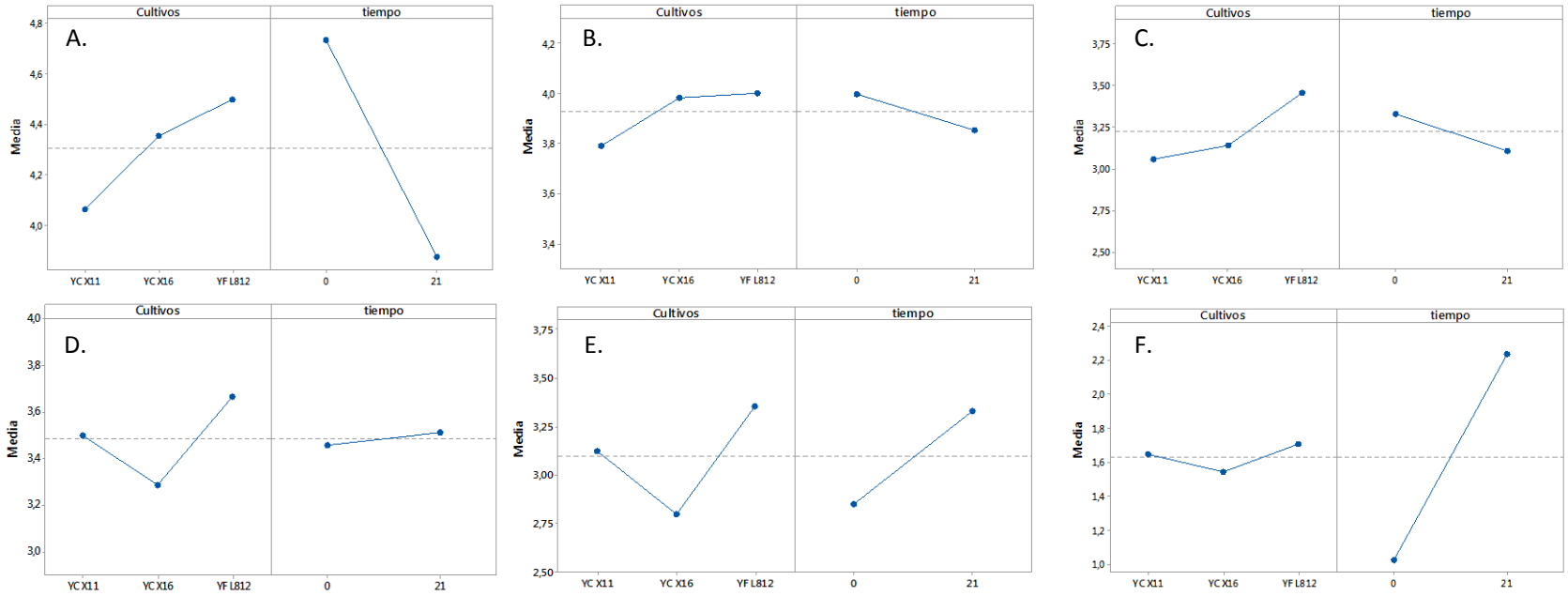
Tabla 21. Efecto de los cultivos en la astringencia para el yogur a lo largo de la vida de anaquel.

Producto	Tipo de cultivo	Astringente	
		tiempo 0	tiempo 21
Yogur	YC X11	1,04 ± 0,10 ^{a,A}	2,25 ± 0,42 ^{a,B}
	YC X16	1,00 ± 0,00 ^{a,A}	2,08 ± 0,31 ^{a,B}
	YF L812	1,04 ± 0,10 ^{a,A}	2,38 ± 0,37 ^{a,B}

Valores en columna seguidos de la misma letra minúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Valores en filas seguidos de la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Gráfico 8. Efecto del cultivo y del tiempo en los atributos sensoriales de los yogures: A. *"Mouthfeel"*, B. Viscosidad, C. Cremosidad, D. Dulzor, E. Acidez láctica, F. Astringencia.



Los atributos que se tuvieron en cuenta para las bebidas lácteas fermentadas fueron *"mouthfeel*", viscosidad, sabor fresa, sabor manzana, sabor banana, dulzor, acidez láctica y astringencia los cuales se evaluaron en tiempo cero, 14 días y 21 días de almacenamiento. Los resultados se muestran en las Tablas 22 a 29 y en el Gráfico 9.

Tabla 22. Efecto de los cultivos en el "*mouthfeel*" para las bebidas lácteas fermentadas a lo largo de la vida de anaquel.

Producto	Tipo de cultivo	*Mouthfeel*		
		tiempo 0	tiempo 14	tiempo 21
Bebida láctea fermentada	YC X11	3,04 ± 0,10 ^{aA}	3,03± 0,08 ^{aA}	3,03±0,08 ^{aA}
	YC X16	3,33± 0,20 ^{bA}	3,58± 0,13 ^{bB}	3,00± 0,22 ^{aC}
	YF L812	4,00± 0,16 ^{cA}	3,45± 0,12 ^{bB}	3,46± 0,10 ^{bB}

Valores en columna seguidos de la misma letra minúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Valores en filas seguidos de la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Tabla 23. Efecto de los cultivos en la viscosidad sensorial para las bebidas lácteas fermentadas a lo largo de la vida de anaquel.

Producto	Tipo de cultivo	Viscosidad		
		tiempo 0	tiempo 14	tiempo 21
Bebida láctea fermentada	YC X11	3,00± 0,00 ^{aA}	2,97± 0,08 ^{aA}	2,13± 0,21 ^{aB}
	YC X16	3,00± 0,00 ^{aA}	3,00± 0,00 ^{aA}	2,00± 0,00 ^{bB}
	YF L812	3,00± 0,00 ^{aA}	2,97± 0,08 ^{aA}	2,97± 0,08 ^{bA}

Valores en columna seguidos de la misma letra minúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Valores en filas seguidos de la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Tabla 24. Efecto de los cultivos en el dulce para las bebidas lácteas fermentadas a lo largo de la vida de anaquel.

Producto	Tipo de cultivo	Dulce		
		tiempo 0	tiempo 14	tiempo 21
Bebida láctea fermentada	YC X11	2,92± 0,30 ^{a,A}	3,23± 0,30 ^{a,A}	3,23± 0,20 ^{a,A}
	YC X16	3,04± 0,10 ^{a,A}	3,36± 0,20 ^{a,B}	3,28± 0,17 ^{a,B}
	YF L812	3,17± 0,30 ^{a,A}	3,29± 0,29 ^{a,A}	3,44± 0,10 ^{b,A}

Valores en columna seguidos de la misma letra minúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Valores en filas seguidos de la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Tabla 25. Efecto de los cultivos en la acidez láctica para las bebidas lácteas fermentadas a lo largo de la vida de anaquel.

Producto	Tipo de cultivo	Acidez láctica		
		tiempo 0	tiempo 14	tiempo 21
Bebida láctea fermentada	YC X11	2,71± 0,29 ^{a,AB}	3,01± 0,14 ^{a,B}	2,48± 0,32 ^{a,A}
	YC X16	2,83± 0,20 ^{a,A}	2,60± 0,40 ^{b,A}	2,73± 0,19 ^{a,A}
	YF L812	3,38± 0,20 ^{b,A}	3,42± 0,20 ^{c,A}	3,58± 0,13 ^{b,A}

Valores en columna seguidos de la misma letra minúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Valores en filas seguidos de la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Tabla 26. Efecto de los cultivos en la astringencia para las bebidas lácteas fermentadas a lo largo de la vida de anaquel.

Producto	Tipo de cultivo	Astringencia		
		tiempo 0	tiempo 14	tiempo 21
Bebida láctea fermentada	YC X11	2,71± 0,40 ^{a,A}	2,29± 0,30 ^{a,A}	2,42± 0,20 ^{a,A}
	YC X16	2,79± 0,40 ^{a,A}	2,25± 0,27 ^{a,B}	2,00± 0,00 ^{b,B}
	YF L812	3,67± 0,25 ^{b,A}	2,96± 0,24 ^{a,B}	2,56± 0,10 ^{a,C}

Valores en columna seguidos de la misma letra minúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Valores en filas seguidos de la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Tabla 27. Efecto de los cultivos en el sabor fresa para las bebidas lácteas fermentadas a lo largo de la vida de anaquel.

Producto	Tipo de cultivo	Sabor Fresa		
		tiempo 0	tiempo 14	tiempo 21
Bebida láctea fermentada	YC X11	3,00± 0,16 ^{a,A}	2,75± 0,22 ^{a,B}	3,05± 0,12 ^{a,A}
	YC X16	3,25± 0,16 ^{b,A}	3,21± 0,24 ^{b,A}	3,56± 0,19 ^{b,B}
	YF L812	3,50± 0,16 ^{c,A}	3,57± 0,38 ^{b,AB}	3,84± 0,20 ^{c,B}

Valores en columna seguidos de la misma letra minúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Valores en filas seguidos de la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Tabla 28. Efecto de los cultivos en el sabor manzana para las bebidas lácteas fermentadas a lo largo de la vida de anaquel.

Producto	Tipo de cultivo	Sabor Manzana		
		tiempo 0	tiempo 14	tiempo 21
Bebida láctea fermentada	YC X11	2,33± 0,34 ^{a,A}	2,29± 0,33 ^{a,A}	2,40± 0,20 ^{a,A}
	YC X16	2,71± 0,25 ^{b,AB}	2,96± 0,16 ^{b,B}	2,44± 0,24 ^{a,A}
	YF L812	3,00± 0,00 ^{b,A}	3,08± 0,21 ^{b,A}	2,92± 0,20 ^{b,A}

Valores en columna seguidos de la misma letra minúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Valores en filas seguidos de la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

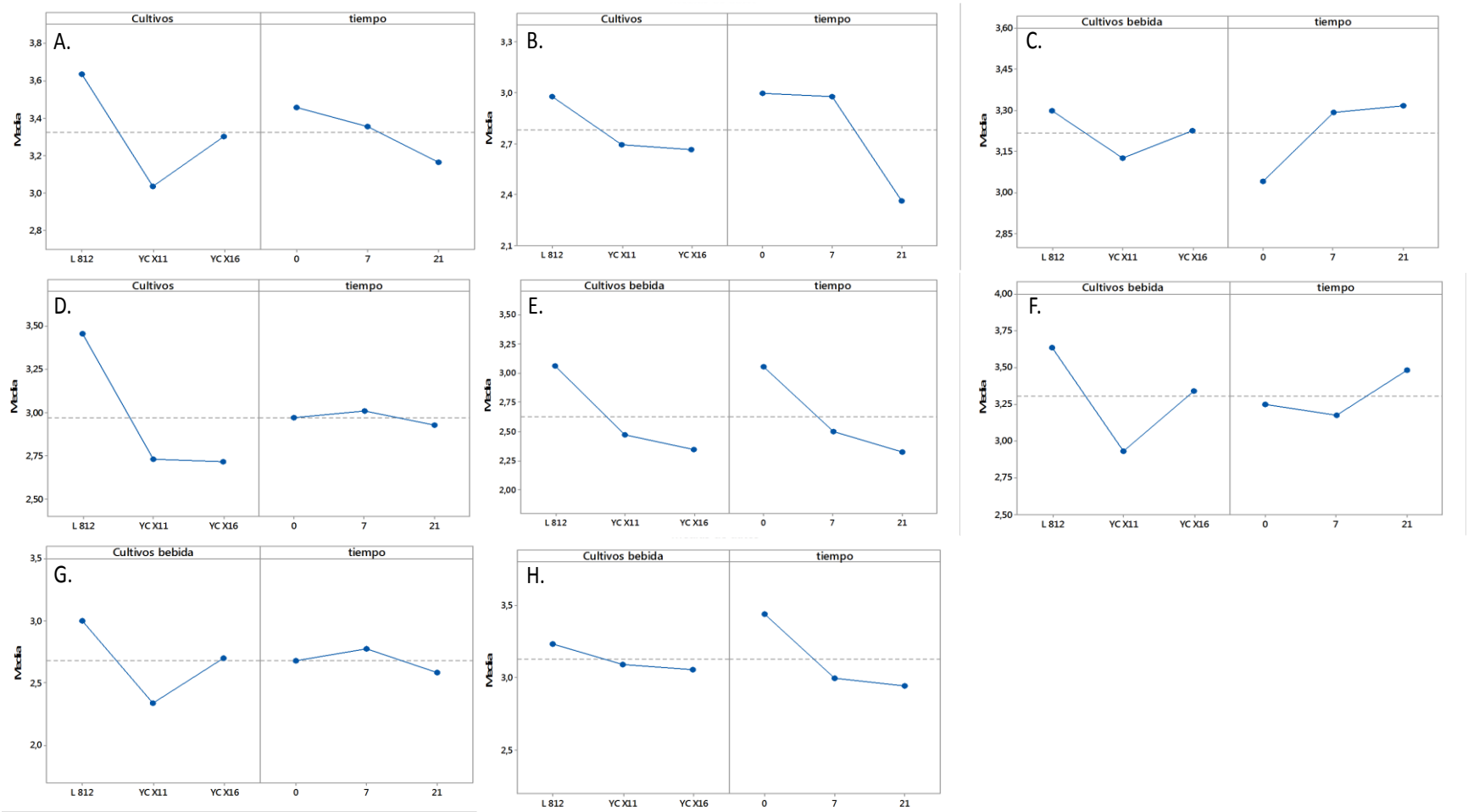
Tabla 29. Efecto de los cultivos en el sabor banano para las bebidas lácteas fermentadas a lo largo de la vida de anaquel.

Producto	Tipo de cultivo	Sabor Banano		
		tiempo 0	tiempo 14	tiempo 21
Bebida láctea fermentada	YC X11	3,21± 0,29 ^{a,A}	2,95± 0,17 ^{a,A}	3,13± 0,21 ^{a,A}
	YC X16	3,29± 0,29 ^{a,A}	3,04± 0,24 ^{a,AB}	2,83± 0,20 ^{a,B}
	YF L812	3,83± 0,54 ^{b,A}	3,00± 0,40 ^{a,B}	2,88± 0,37 ^{a,B}

Valores en columna seguidos de la misma letra minúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Valores en filas seguidos de la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD con un 95% de confianza.

Gráfico 9. Efecto del cultivo y tiempo en los atributos sensoriales de las bebidas lácteas fermentadas: A. *"Mouthfeel"*, B. Viscosidad, C. Dulzor, D. Acidez láctica, E. Astringencia, F. Sabor fresa, G. Sabor manzana, H. Sabor banano.



De acuerdo con los resultados, el *"mouthfeel"*, acidez láctica y astringencia fueron los atributos que se vieron afectados significativamente a través del tiempo ($p<0,05$) para el yogur. Para el caso de las bebidas lácteas fermentadas el *"mouthfeel"* y la astringencia fueron los parámetros que variaron significativamente en el tiempo ($p<0,05$).

El yogur y la bebida láctea fermentada fabricadas con el cultivo YF L812 fueron los que presentaron mayor viscosidad, cremosidad y *"mouthfeel"*. Esto podría deberse a la mayor producción de exopolisacáridos por parte del cultivo YF L812. Este comportamiento está acorde al estudio realizado por Prasanna et al., 2012, donde se relaciona la producción de exopolisacáridos por bacterias ácido lácticas en yogur con mejoras en las propiedades reológicas y las características sensoriales, incluyendo *"mouthfeel*", viscosidad, brillo y cremosidad.

Los atributos sensoriales que estadísticamente tuvieron un efecto según el tipo de cultivo empleado fueron el *"mouthfeel*", dulzor y acidez láctica para el yogur y para la bebida láctea fermentada el *"mouthfeel"*, acidez láctica, astringencia y los sabores fresa y manzana. Estos cambios sensoriales dependen en gran medida del equilibrio relativo de los compuestos del sabor derivados de la grasa, proteína o carbohidratos presentes en la leche y la compleja mezcla de compuestos volátiles, que incluyen los ya presentes en la leche y los compuestos específicos producidos a partir de la fermentación de la leche por cada uno de los cultivos (Cheng, 2010).

El yogur y la bebida láctea fermentada que presentaron mayores niveles de *"mouthfeel"*, dulzor, acidez láctica y mayor intensidad en el sabor fresa y manzana fueron los fabricados con el cultivo YF L812. Esto puede deberse a una mayor generación por parte del cultivo de notas cremosas, butíricas y dulces dadas por diferentes compuestos volátiles carbonilos como el acetaldehído, diacetilo, acetona, acetoin y 2-butanona que generan los aromas más intensos en el yogur. En la Tabla 31 se muestran los descriptores de los diferentes compuestos (Cheng, 2010).

Tabla 30. Descriptores de los compuestos carbonilos (Cheng, 2010)

Compuesto	Descriptor
Acetaldehído	Etéreo, fresco, verde, picante
Diacetilo	Butírico, cremoso, vainilla
Acetona	Dulce y afrutado
Acetoin	Butírico
2-Butanona	Avellana, dulce y afrutado

En los Gráficos 10 y 11 se presentan los perfiles sensoriales de los yogures y de las bebidas lácteas fermentadas en tiempo cero y a lo largo de la vida de anaquel siguiendo el protocolo de la norma Técnica NTC 3929 de perfil de sabor.

Gráfico 10. Perfil sensorial de yogur en A. Tiempo cero y B. Tiempo 21.

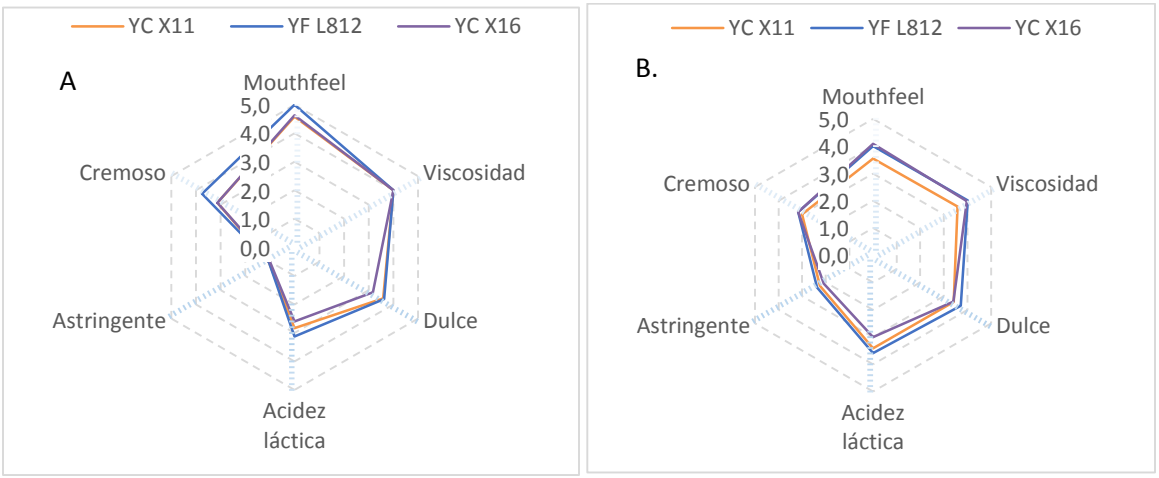
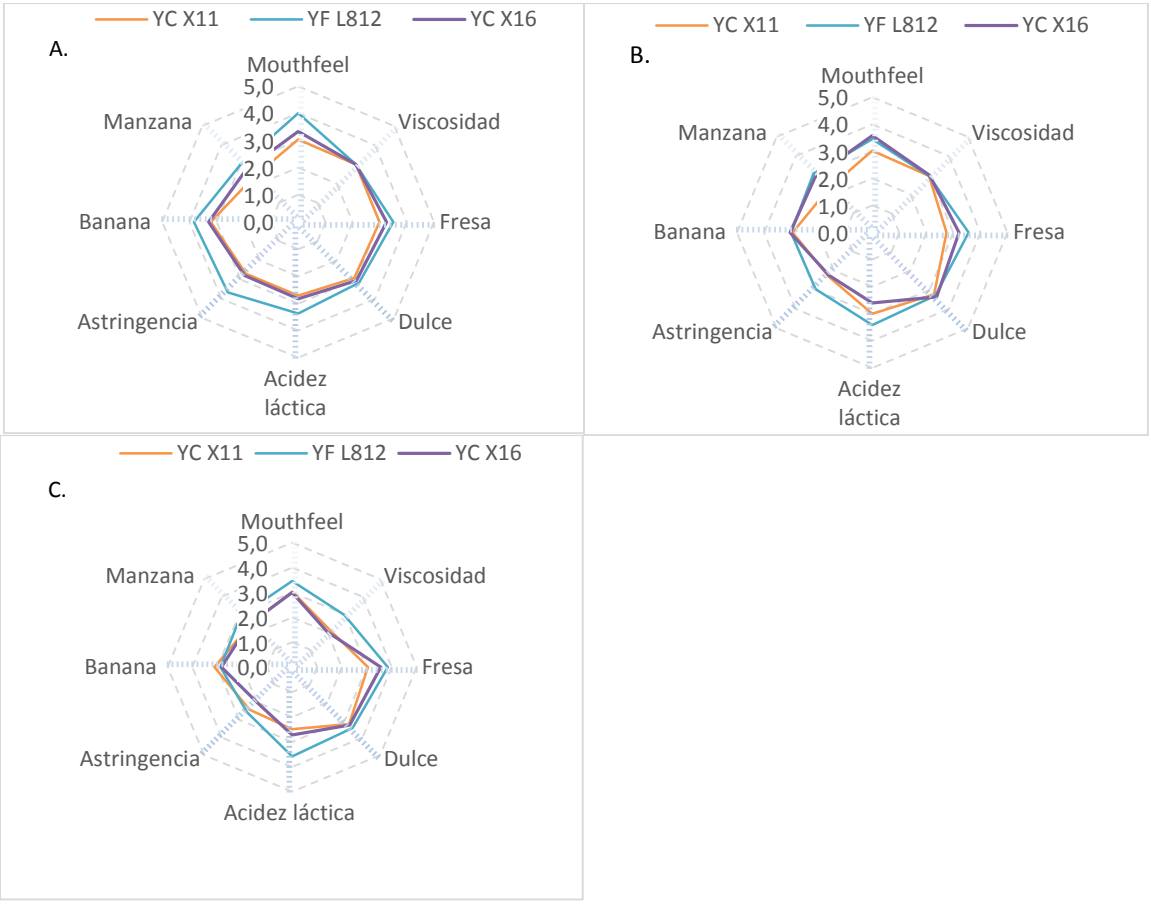


Gráfico 11. Perfil sensorial de bebidas lácteas fermentadas en A. Tiempo cero B. 14 días C. 21 días.

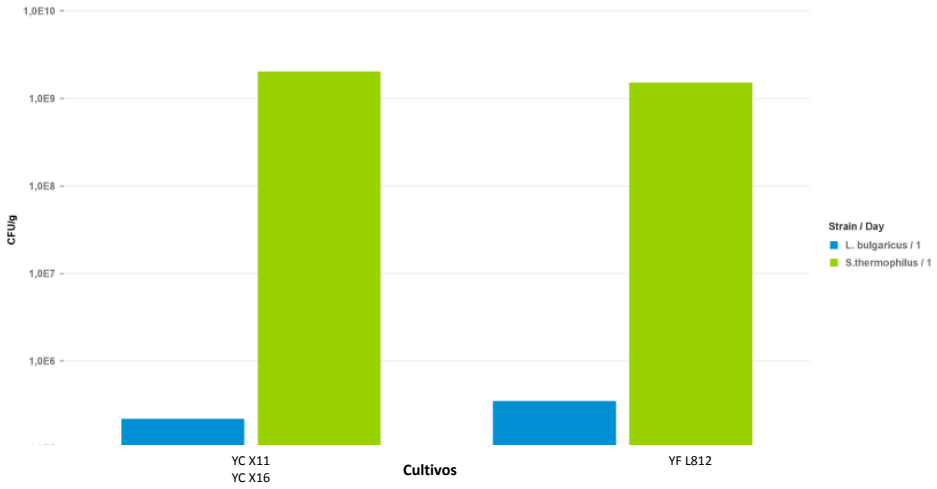


4.7 Análisis microbiológico

Las principales propiedades tecnológicas de las bacterias ácido lácticas en la fermentación de la leche como se ha dicho anteriormente son la acidificación, el mejoramiento de la textura, la producción de sabor y el nivel final de ácido láctico que es el principal producto de la actividad metabólica de los cultivos iniciadores.

Según información suministrada por el proveedor CHR-Hansen el cultivo YF L812 posee una cepa que genera extra alta viscosidad, el cultivo YC X16 posee una cepa que genera muy alta viscosidad y el cultivo YC X11 posee una cepa que genera alta viscosidad (ver Tabla 5). Además según información entregada por el proveedor de cultivos CHR-Hansen, el recuento de los cultivos empleados en el día 1, en un yogur de 1% de grasa y 4,5% de proteína almacenado a 6°C es el que se muestra en el Gráfico 12.

Gráfico 12. Recuento teórico de *Lactobacillus* y *Streptococcus* en un yogur de 1% de grasa y 4.5% de proteína.



Para entender la supervivencia de las bacterias ácido lácticas en las diferentes bebidas lácteas fermentadas evaluadas se realizaron análisis por conteo de placa del contenido de bacterias ácido lácticas con el fin de conocer los porcentajes de estos en cada una de las bebidas lácteas fermentadas, para poder identificar sus comportamientos y saber si cumplen con los requisitos de bacterias lácticas totales viables al final de la vida de anaquel en bebidas lácteas fermentadas (mínimo 10^4) según NTC 805 de 2005. Los resultados se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31. Presencia de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* en las bebidas lácteas fermentadas.

Producto	**Tipo de cultivo**	***Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ufc/ml**	
		tiempo 0	**tiempo 21**
Bebida láctea fermentada	YC X11	10×10^1	<10
	YC X16	15×10^3	20×10^2
	YF L812	37×10^4	20×10^4
Producto	**Tipo de cultivo**	***Streptococcus thermophilus* ufc/ml**	
		tiempo 0	**tiempo 21**
Bebida láctea fermentada	YC X11	32×10^4	18×10^4
	YC X16	32×10^4	20×10^4
	YF L812	15×10^6	13×10^6

Los recuentos de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* disminuyeron durante el almacenamiento para todas las bebidas lácteas fermentadas, lo que indica que es menos robusto que el *Streptococcus thermophilus*. Este resultado está de acuerdo con estudios previos que indicaron que el almacenamiento refrigerado disminuyó significativamente los recuentos viables de *Lactobacillus* en el día 14 durante el almacenamiento refrigerado (Prasanna et al., 2013, Shori & Baba, 2012). Adicionalmente la reducción de los recuentos de *Lactobacillus* podría estar asociada con la post-acidificación del yogur que provoca una reducción adicional en los valores de pH (Shori & Baba, 2012) y además puede estar afectado por la presencia de conservantes en el producto que pueden actuar como inhibidores y disminuir la viabilidad de los cultivos en el tiempo de almacenamiento.

Por otro lado, todas las bebidas lácteas fermentadas cumplen con el requisito de contenido mínimo de microorganismos (mínimo 10^4) estando acordes a los requisitos de contenido de bacterias lácticas viables al final de la vida de anaquel según la NTC 805 de 2005.

Se realizaron además análisis microbiológicos de los yogures y bebidas lácteas al inicio de la vida de anaquel, a los 7 días, 14 días y a los 21 días de almacenamiento. Los análisis microbiológicos se realizaron con el fin de conocer la inocuidad del producto en cuanto a los parámetros exigidos por la resolución 2310 de 1986.

Tabla 32. Análisis microbiológico del yogur a lo largo de la vida de anaquel.

Yogur															
Tiempo VU	Coliformes totales ucf/g			*Escherichia Coli* ucf/g			Hongos y Levaduras ucf/g			*Staphylococcus aureus* ucf/g			*Bacillus cereus* ucf/g		
	YC X16	YF L812	YC X11	YC X16	YF L812	YC X11	YC X16	YF L812	YC X11	YC X16	YF L812	YC X11	YC X16	YF L812	YC X11
t0	1	1	1	0	0	0	1	30	10	<100	<10	<10	<100	<100	<100
t7	1	40	1	0	0	0	<10	10	10	<10	<10	<10	<100	<100	<100
t14	<10	1	1	0	0	0	20	<10	40	<10	<10	<10	<100	<100	<100
t21	10	1	10	0	0	0	40	10	20	<10	<10	<10	<100	<100	<100

Tabla 33. Análisis microbiológico de la bebida láctea fermentada a lo largo de la vida de anaquel.

Bebida láctea															
Tiempo VU	Coliformes totales ucf/g			*Escherichia Coli* ucf/g			Hongos y Levaduras ucf/g			*Staphylococcus aureus* ucf/g			*Bacillus cereus* ucf/g		
	YC X16	YF L812	YC X11	YC X16	YF L812	YC X11	YC X16	YF L812	YC X11	YC X16	YF L812	YC X11	YC X16	YF L812	YC X11
t0	<10	<10	<10	0	0	0	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	<100	<100
t7	<10	<10	<10	0	0	0	<10	<10	<10	<10	<100	<10	<100	<100	<100
t14	<10	<10	<10	0	0	0	20	<10	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100
t21	<10	<10	<10	0	0	0	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100

5. Conclusiones

- Se logró desarrollar una bebida láctea fermentada y entender que existen diferencias significativas en el perfil sensorial, fisicoquímico y microbiológico según el tipo de cultivo escogido. Para la bebida láctea fermentada desarrollada en este trabajo, el cultivo que confirió una mayor viscosidad y acidez láctica tanto instrumental como sensorial, menor sinéresis, así como el que mayor cremosidad y *"mouthfeel"* presentó fue el YF L812 siendo el cultivo ideal para este proyecto.
- Los tres cultivos escogidos no presentaron diferencia significativa en la cinética fermentativa sin embargo el cultivo YF L812 varió significativamente entre el minuto 180 y 240 comparado con el cultivo YC X11 y YC X16 diferencia que puede estar debida a las cepas de bacterias *Lactobacillus bulgaricus*. Sin embargo al final de la fermentación alcanzó el pH deseado en 300 min sin presentar diferencia significativa con los demás cultivos. Para todos los casos, en la última hora de fermentación no se presentan diferencias significativas en el pH.
- Los valores de pH y acidez cambiaron durante el tiempo de almacenamiento y según el tipo de cultivo empleado. Aunque estadísticamente el pH presenta diferencias significativas influenciadas por el tiempo, estos cultivos cumplen con el criterio de ser de baja post acidificación ya que ninguno de estos presentó una disminución en menos de 0,3 unidades en el pH.
- La viscosidad presenta diferencias significativas tanto en tiempo cero como a lo largo de la vida de anaquel. El cultivo que presentó mayor viscosidad fue el YF L812 seguido por el YC X16 lo que demuestra que la escogencia del cultivo es clave para el producto que se desee desarrollar.
- Los valores de sinéresis variaron entre 32-42% para los yogures encontrándose diferencias significativas influenciadas por el tipo de cultivo pero no por el tiempo. Las bebidas lácteas fermentadas tuvieron una mayor sinéresis dada la mayor presencia de agua.
- El *"mouthfeel"*, acidez láctica y astringencia fueron los atributos que se vieron afectados significativamente a través del tiempo para el yogur. Para el caso de las bebidas lácteas fermentadas el *"mouthfeel"* y la astringencia fueron los parámetros que variaron significativamente en el tiempo. Los atributos sensoriales que estadísticamente tuvieron un efecto afectado por el tipo de cultivo empleado fueron

el *“mouthfeel*”, dulzor y acidez láctica para el yogur y para la bebida láctea fermentada el *“mouthfeel”*, acidez láctica, astringencia y los sabores fresa y manzana. El yogur y la bebida láctea fermentada que presentaron mayores niveles de *“mouthfeel”*, dulzor, acidez láctica y mayor intensidad en el sabor fresa y manzana fueron los fabricados con el cultivo YF L812.

- Los recuentos de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* disminuyeron durante el almacenamiento para todas las bebidas lácteas fermentadas, lo que indica que es menos robusto que el *Streptococcus thermophilus*.

6. Recomendaciones

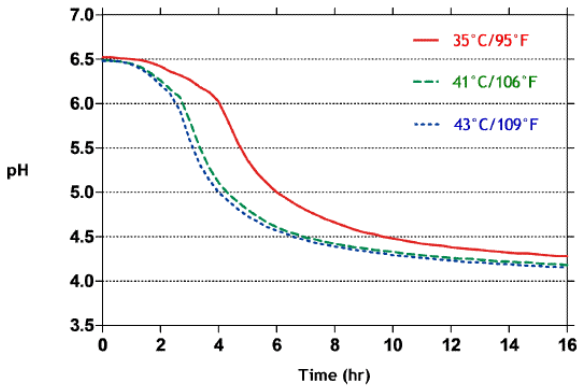
Para futuras investigaciones se recomienda:

- Conocer las cepas de los cultivos para poder tener más control sobre los cultivos analizados y realizar la medición de los atributos conociendo cuáles cultivos son productores de exopolisacáridos y cuales no.
- Evaluar si existe alguna correlación en las características fisicoquímicas y sensoriales al variar el contenido de sólidos de la leche.
- Evaluar cómo se afecta el perfil sensorial y fisicoquímico al utilizar hidrocoloides como reemplazo para generar textura y cultivos productores de exopolisacáridos.
- Validar el producto con consumidor para determinar el grado de aceptación de este.

Anexo A: Curva de acidificación de los cultivos

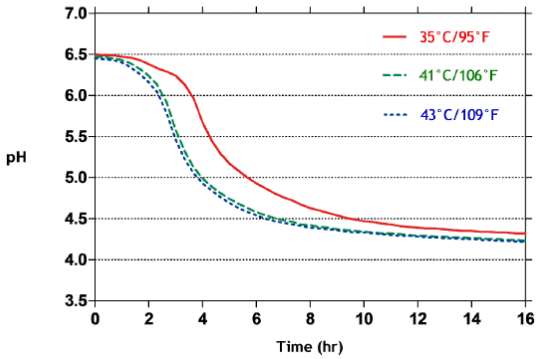
YC-X11
Product Information
Version: 3 PI EU EN 07-19-2016

Acidification curve



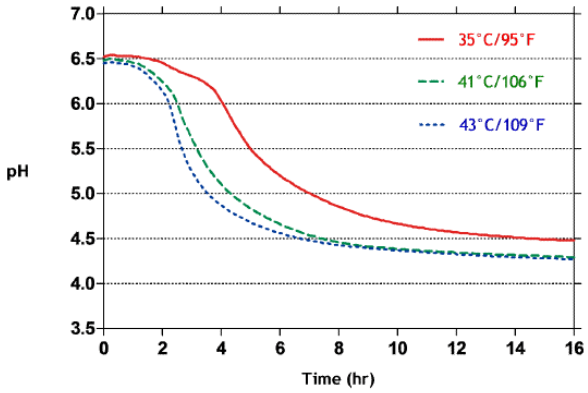
YC-X16
Product Information
Version: 3 PI EU EN 07-19-2016

Acidification curve



YF-L812
Product Information
Version: 3 PI EU EN 07-19-2016

Acidification curve



Anexo B: Formato evaluación sensorial

Nombre Evaluador:	***Usted evaluará tres muestras codificadas, por favor califique la intensidad de cada uno de los descriptores. Es permitido calificaciones decimales, donde 0 (Ausente) 1 (Muy baja) 2 (Baja) 3 (Perceptible) 4(Intenso) 5 (Muy intenso). Código 371***							
	Cremosidad	***Viscosidad***	***Fresa***	***Manzana***	***Banano***	***Dulce***	***Acidez láctica***	***Astringencia***

Bibliografía

Bang Siemsen Jensen, N., & Johansen, A. H. (2007, December 28). Low Post-Acidifying Lactic Acid Bacteria. Retrieved from https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf;jsessionid=FE63452F799280C900B2C1C54EDEA122.wapp1nB?docId=WO2007147890&recNum=236&maxRec=11295&office=&prevFilter=&sortOption=&queryString=&tab=PCTDescription

Barnes, H. ., Hutton, J. ., & Walters, K. (1991). An introduction to rheology. *Polymer International*, *25*(1), 61–61. https://doi.org/10.1002/pi.4990250112

Ministerio de salud y protección social. (2016). Guías alimentarias basadas en alimentos para la población colombiana mayor de 2 años, bienestar familiar.

Carpenter, R. P., Lyon, D. H., & Hasdell, T. A. (2002). *Análisis sensorial en el desarrollo y control de la calidad de alimentos*. Acribia.

Cheng, H. (2010). Volatile flavor compounds in yogurt: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *50*(10), 938–950. https://doi.org/10.1080/10408390903044081

D'Alonges, S. (2013, February 4). *Identificazione, caratterizzazione ed industrializzazione di ceppi di Streptococcus thermophilus per la produzione di yogurt* (Doctoral Thesis). Retrieved from http://road.unimol.it/handle/2192/208

Dave, R. I., & Shah, N. P. (1997). Viability of yoghurt and probiotic bacteria in yoghurts made from commercial starter cultures. *International Dairy Journal*, *7*(1), 31–41. https://doi.org/10.1016/S0958-6946(96)00046-5

Day, L., & Golding, M. (2016). Food structure, rheology, and texture. In *Reference Module in Food Science*. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03412-0

de Oliveira, M. N. (2014). Fermented milks | Fermented milks and yogurt. In C. A. B. L. Tortorello (Ed.), *Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition)* (pp. 908–922). Oxford: Academic Press. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012384730000121X

Donkor, O. N., Henriksson, A., Vasiljevic, T., & Shah, N. P. (2006). Effect of acidification on the activity of probiotics in yoghurt during cold storage. *International Dairy Journal*, *16*(10), 1181–1189. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.10.008

Espinosa Manfugás, J. (2007). *Evaluación sensorial de los alimentos*. Retrieved from https://www.google.com.co/webhp?sourceid=chrome-instant&rlz=1C1CAFB_enCO639CO640&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=evaluaci%C3%B3n+sensorial+de+los+alimentos+julia+espinosa

Espírito-Santo, A. P., Lagazzo, A., Sousa, A. L. O. P., Perego, P., Converti, A., & Oliveira, M. N. (2013). Rheology, spontaneous whey separation, microstructure and sensorial characteristics of probiotic yoghurts enriched with passion fruit fiber. *Food Research International*, *50*(1), 224–231. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.09.012

Harnett, J., Davey, G., Patrick, A., Caddick, C., & Pearce, L. (2011). Lactic acid bacteria | Streptococcus thermophilus. In J. W. Fuquay (Ed.), *Encyclopedia of Dairy Sciences (Second Edition)* (pp. 143–148). San Diego: Academic Press. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123744074002685

Hernández, E. (2005). Evaluación sensorial. Retrieved April 16, 2017, from http://e-liosgrupo.blogspot.com/2016/10/hernandez-e-2005-evaluacion-sensorial.html

Icontec. (1998). Norma técnica colombiana. NTC 4489. Análisis sensorial. Metodología perfil de textura.

Icontec. (2005). Norma técnica colombiana. NTC 805. Productos lácteos. Leches fermentadas.

Innovations in Dairy. (2005). Sensory evaluation of dairy products, (2005, octubre 30). Retrieved from http://www.mintinnovation.com/links/docs/Sensory_Evaluation/Sensory%20evaluation%20of%20dairy%20products.pdf

Jahangiri, P., Streblow, R., & Müller, D. (2012). Simulation of non-newtonian fluids using modelica (pp. 57–62). https://doi.org/10.3384/ecp1207657

Jaiswal, P., Sharma, R., Sanodiya, B. S., & Bisen, P. S. (2014). Microbial exopolysaccharides: natural modulators of dairy products. *Http://Www.Japsonline.Com/Counter.Php?Aid=1358*. Retrieved from http://imsear.hellis.org/handle/123456789/158994

Jensen, N. B. S., & Johansen, A. H. (2010, January 28). Low post-acidifying lactic acid bacteria. Retrieved from http://www.google.ch/patents/US20100021586

Keogh, M. k., & O'kennedy, B. t. (1998). Rheology of stirred yogurt as affected by added milk fat, protein and hydrocolloids. *Journal of Food Science*, *63*(1), 108–112. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb15687.x

Körzendörfer, A., Nöbel, S., & Hinrichs, J. (2017). Particle formation induced by sonication during yogurt fermentation – Impact of exopolysaccharide-producing starter cultures on physical properties. *Food Research International*, *97*, 170–177. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.04.006

Laiho, S., Williams, R. P. W., Poelman, A., Appelqvist, I., & Logan, A. (2017). Effect of whey protein phase volume on the tribology, rheology and sensory properties of fat-free stirred yoghurts. *Food Hydrocolloids*, *67*, 166–177. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.01.017

Law, B. A. (2012). *Microbiology and biochemistry of cheese and fermented Milk*. Springer Science & Business Media.

Leroy, F., & De Vuyst, L. (2004). Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry. *Trends in Food Science & Technology*, *15*(2), 67–78. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.004

Loveday, S. M., Sarkar, A., & Singh, H. (2013). Innovative yoghurts: Novel processing technologies for improving acid milk gel texture. *Trends in Food Science & Technology*, *33*(1), 5–20. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.06.007

Meilgaard, M. C., Civille, G. V., & Carr, T. B. (2006). *Sensory evaluation techniques* (Fourth Edition).

Mende, S., Rohm, H., & Jaros, D. (2016). Influence of exopolysaccharides on the structure, texture, stability and sensory properties of yoghurt and related products. *International Dairy Journal*, *52*, 57–71. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.08.002

Ministerio de salud. (2015). Estrategia nacional para la prevención y control de las deficiencias de micronutrientes en Colombia 2014-2021.

Morell, P., Hernando, I., Llorca, E., & Fiszman, S. (2015). Yogurts with an increased protein content and physically modified starch: rheological, structural, oral digestion and sensory properties related to enhanced satiating capacity. *Food Research International*, *70*, 64–73. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.024

Nielsen. (2015). Informe comercial categoría bebidas lacteas, Bogotá.

Ovalle, P. (2013). Memorias capacitación control de calidad, Bogotá.

Prasanna, P. H. P., Bell, A., Grandison, A. S., & Charalampopoulos, D. (2012). Emulsifying, rheological and physicochemical properties of exopolysaccharide produced by Bifidobacterium longum subsp. infantis CCUG 52486 and

Bifidobacterium infantis NCIMB 702205. *Carbohydrate Polymers*, *90*(1), 533–540. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.05.075

Prasanna, P. H. P., Grandison, A. S., & Charalampopoulos, D. (2013). Microbiological, chemical and rheological properties of low fat set yoghurt produced with exopolysaccharide (EPS) producing Bifidobacterium strains. *Food Research International*, *51*(1), 15–22. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.11.016

Puhan, Z., Driessen, F. ., Jelen, P., & Tamime, A. Y. (1994). Fresh Products - Yogurt, Fermented Milks, Quarg and Fresh Cheese.

Empresa de consumo masivo (2015). Estudio exploratorio Bogotá y Barranquilla.

Revista IAlimentos. (2009a). ¿Es tiempo de retos para los productores de derivados lácteos?, (2009, Marzo 30). Retrieved from http://revistaialimentos.com/news/edicion-8/publirreportaje/es-tiempo-de-retos-para-los-productores-de-derivados-lacteos.htm

Revista IAlimentos. (2009b). La importancia de los lácteos en la nutrición, (2009, Marzo 30). Retrieved from http://revistaialimentos.com/news/edicion-8/sector-destacado-lacteos/a-importancia-de-los-lacteos-en-la-nutricion.htm

Revista IAlimentos. (2015). Yogurt innovación y tendencias, (2015, Octubre 27). Retrieved from http://revistaialimentos.com/news/el-consumo-de-yogurt-en-colombia-esta-en-ascenso.htm

Sanalibaba, P., & Çakmak, G. A. (2016). Exopolysaccharides production by lactic acid bacteria. *Applied Microbiology: Open Access*, *2*(2), 1–5. https://doi.org/10.4172/2471-9315.1000115

Settachaimongkon, S., Nout, M. J. R., Antunes Fernandes, E. C., van Hooijdonk, T. C. M., Zwietering, M. H., Smid, E. J., & van Valenberg, H. J. F. (2014). The impact of selected strains of probiotic bacteria on metabolite formation in set yoghurt.

International Dairy Journal, *38*(1), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.04.002

Shori, A. B., & Baba, A. S. (2012). Viability of lactic acid bacteria and sensory evaluation in Cinnamomum verum and Allium sativum-bio-yogurts made from camel and cow milk. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, *11*(1), 50–55. https://doi.org/10.1016/j.jaubas.2011.11.001

Silva Silva, G. (2015). Centro de estudios de la leche, Leches fermentadas ciencia y tecnología.

Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2007a). 1 - Historical background. In A. Y. Tamime & R. K. Robinson (Eds.), *Tamime and Robinson's Yoghurt (Third edition)* (pp. 1–12). Woodhead Publishing. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845692131500016

Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2007b). 2 - Background to manufacturing practice. In A. Y. Tamime & R. K. Robinson (Eds.), *Tamime and Robinson's Yoghurt (Third edition)* (pp. 13–161). Woodhead Publishing. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845692131500028

Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2007c). 4 - Plant cleaning, hygiene and effluent treatment. In A. Y. Tamime & R. K. Robinson (Eds.), *Tamime and Robinson's Yoghurt (Third edition)* (pp. 284–347). Woodhead Publishing. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845692131500041

Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2007d). 6 - Microbiology of yoghurt and related starter cultures. In A. Y. Tamime & R. K. Robinson (Eds.), *Tamime and Robinson's Yoghurt (Third edition)* (pp. 468–534). Woodhead Publishing. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845692131500065

Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2007e). 7 - Biochemistry of fermentation. In A. Y. Tamime & R. K. Robinson (Eds.), *Tamime and Robinson's Yoghurt (Third edition)* (pp. 535–607). Woodhead Publishing. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845692131500077

Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2007f). 8 - Preservation and production of starter cultures. In A. Y. Tamime & R. K. Robinson (Eds.), *Tamime and Robinson's Yoghurt (Third edition)* (pp. 608–645). Woodhead Publishing. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845692131500089

Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2007g). 10 - Quality control in yoghurt manufacture. In A. Y. Tamime & R. K. Robinson (Eds.), *Tamime and Robinson's Yoghurt (Third edition)* (pp. 685–753). Woodhead Publishing. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845692131500107

Tetra Pak. (2012). Fermented milk products | Tetra Pak dairy processing handbook. Retrieved April 2, 2017, from http://dairyprocessinghandbook.com/chapter/fermented-milk-products

Valderrama, J. (2001). *Informacion Tecnologica*. Centro de Informacion Tecnologica.

Vianna, F. S., Canto, A. C. V. C. S., da Costa-Lima, B. R. C., Salim, A. P. A. A., Costa, M. P., Balthazar, C. F., Silva, A. C. O. (2017). Development of new probiotic yoghurt with a mixture of cow and sheep milk: effects on physicochemical, textural and sensory analysis. *Small Ruminant Research*, *149*, 154–162. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2017.02.013

Watts B.M, Yilimaki G.L., Jeffery L.E., & Elías L.G. (1992). Métodos sensoriales! básicos para la evaluación de alimentos. Retrieved April 16, 2017, from https://idl-bnc.idrc.ca/dspace/bitstream/10625/12666/1/IDL-12666.pdf

Xu, Z., Li, S., Gong, G., Liu, Z., Wu, Z., & Ma, C. (2015). Influence of different acidifying strains of Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus on the quality of yoghurt. *Food Science and Technology Research*, *21*(2), 263–269. https://doi.org/10.3136/fstr.21.263

Yousseef, M., Lafarge, C., Valentin, D., Lubbers, S., & Husson, F. (2016). Fermentation of cow milk and/or pea milk mixtures by different starter cultures: Physico-chemical and sensorial properties. *LWT - Food Science and Technology*, *69*, 430–437. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.060

Zhang, L., Folkenberg, D. M., Amigo, J. M., & Ipsen, R. (2016). Effect of exopolysaccharide-producing starter cultures and post-fermentation mechanical treatment on textural properties and microstructure of low fat yoghurt. *International Dairy Journal*, *53*, 10–19. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.09.008