

DISEÑO DE UN ALIMENTO FUNCIONAL A BASE DE MORA Y CHILACUAN CON ADICIÓN DE LACTOBACILLUS LACTIS ATCC 19435 MICROENCAPSULADO COMO UNA ALTERNATIVA DE APLICACIÓN AL SECTOR AGROINDUSTRIAL

DESIGN OF A FUNCTIONAL FOOD BASED ON BLACKBERRY AND CHILACUAN WITH THE ADDITION OF MICROENCAPSULATED LACTOBACILLUS LACTIS ATCC 19435 AS AN ALTERNATIVE FOR APPLICATION TO THE AGRO-INDUSTRIAL SECTOR.

Henry Jurado Gámez ¹

Jhon Fredy Ceron Cordoba ²

Aida Paulina Davila Solarte ³

Resumen

El presente artículo tiene como objetivo central el diseñar un alimento funcional a base de mora de castilla (*Rubus glaucus*) y chilacuan (*Vasconcellea cundinamarcensis*) con adición de *Lactobacillus lactis* microencapsulado, la mora y el chilacuan son frutas que se producen de manera cultural en la región de Nariño y hacen parte de la soberanía alimentaria de la región, por otro lado, los probióticos son alimentos que han crecido últimamente en el mercado. A nivel metodológico, para iniciar con la investigación se reconstituyó y sembró la cepa de *L. lactis*, para lo cual se ajustó el inóculo (escala McFarland), se procedió a micro encapsular mediante el secado por aspersión. Después de almacenar 80 días, se evaluó viabilidad, eficiencia, morfología, actividad de agua, solubilidad, humedad y humectabilidad. Luego se llevó el microencapsulado a un modelo gastrointestinal *In Vitro* para determinar las UFC/mL. Finalmente se incluyó el probiótico microencapsulado en un alimento y se realizó una evaluación sensorial y de costos. Los resultados para las diferentes pruebas fueron; viabilidad 89.69 %; eficiencia 93.70 %; actividad de agua 0,35 %; solubilidad 97,32 %; humedad 3,27 % y humectabilidad 98 seg. El personal encuestado inclino preferencia por el producto con adición de microencapsulado. Se concluye que los parámetros evaluados indican estabilidad del material microencapsulado con una población bacteriana superior a 3.1×10^{10} UFC/mL.

Palabras clave: Probiótico, Prebiótico, *Lactobacillus lactis*, Secado por aspersión, Alimento funcional.

Abstract

The present paper has as central objective to design a functional food based on blackberry (*Rubus glaucus*) and chilacuan (*Vasconcellea cundinamarcensis*) with the addition of microencapsulated *Lactobacillus lactis*, blackberry and chilacuan that are fruits produced

Recepción: 25 de septiembre de 2022/ Evaluación: 29 de noviembre de 2022 / Aprobado: 15 diciembre de 2022

¹Zoot, Esp, M.Sc, Ph.D, Director Grupo de Investigación PROBIOTEC-FORAPIS, Profesor Titular de Tiempo Completo, Programa de Zootecnia, Facultad de Ciencias Pecuarias, Universidad de Nariño Email: henryjugam@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/000-0003-21187997>.

²Zoot, Maestrante en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Investigador Grupo de Investigación PROBIOTEC-FORAPIS, Programa de Zootecnia, Facultad de Ciencias Pecuarias, Universidad de Nariño. Email: jhceron@unal.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4160-5797>

³Zoot, M.Sc, Profesora hora catedra, Facultad de Ciencias Pecuarias, Programa de Zootecnia, Universidad de Nariño Facultad de Ciencias Pecuarias, Universidad de Nariño. Email: aidasolarte@yahoo.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2486-102X>.

culturally in the Nariño region and are part of food sovereignty of the region, on the other hand, probiotics are foods that have recently grown in the market. In **methodological level**, to start the investigation, the *L. lactis* strain was reconstituted and seeded, for which the inoculum was adjusted (McFarland scale), in this way it was microencapsulated by spray drying. After 80 days of storage, viability, efficiency, morphology, water activity, solubility, humidity and wettability were evaluated. Microencapsulation was then run in an in vitro gastrointestinal model to determine CFU/mL. Finally, the microencapsulated probiotic was applied in a food and a sensory and cost evaluation was carried out. The results for the different tests were viability 89.69%; efficiency 93.70%; water activity 0.35%; solubility 97.32%; humidity 3.27% and wettability 98 second. The staff surveyed preferred the product with the addition of microencapsulation. It is concluded the parameters evaluated indicate stability of the microencapsulated material with a bacterial population greater than 3.1×10^{10} CFU/mL.

Keywords: Probiotic, Prebiotic, *Lactobacillus lactis*, Spray drying, Functional food.

Introducción

En los 80's se desarrolló el concepto alimento funcional, termino japonés que hace referencia a un alimento que integra una dieta estándar, el cual aporta gran cantidad de nutrientes y tiene efecto sobre la salud de quien lo consume llegando a reducir el peligro de cuadros crónicos (Bernal Castro et al., 2017). Para la elaboración de alimentos funcionales se utilizan materias primas de origen natural, las cuales tienen características medicinales declaradas y son comprobadas bajo criterio científico, de esta forma, la diversidad de alimentos funcionales se compone de: alimentos para neonatos, cereales, comidas preparadas, confitería, lácteos, pasabocas, cárnicos, bebidas y mermeladas (Corbo et al., 2014). Desde la antigüedad, los probióticos pertenecen al grupo de los alimentos funcionales, siendo uno de los más utilizados en la industria (Fang Wu, 2020).

Los probióticos están compuestos por una cantidad variable de géneros y clases de hongos, levaduras y bacterias, generalmente, bacterias ácido lácticas (BAL); las cuales son generalmente usados en diversos procesos industriales, tales como la elaboración de alimentos, metodologías agropecuarias sostenibles y biorrecuperación del medio ambiente (Fang Wu, 2020). A nivel mundial, el consumo de alimentos nutritivos y beneficiosos ha presentado un gran crecimiento, de este modo, se han creado alimentos funcionales que contienen sustratos bioactivos (probióticos y prebióticos), para potenciar propiedades benéficas en el huésped (Altamirano Sánchez, 2022).

El término 'probiótico' se usa cuando hay expresión de cualidades benéficas demostradas en la salud de un organismo, propiedades expresadas por microorganismos vivos bien definidos y caracterizados, sin embargo, la inclusión de probióticos en matrices alimentarias está condicionada por factores ambientales y procesos que pueden afectar directamente la estabilidad bacteriana, por tanto, se emplean procesos biotecnológicos, como la microencapsulación mediante secado por aspersión con el fin de proteger las BAL (Marco et al., 2021). Las bacterias ácido lácticas se encuentran distribuidas biológicamente en lácteos fermentados, carnes, vegetales fermentados, boca e intestino humano, las cuales producen ácido láctico a partir de carbohidratos disponibles en el medio, sus requerimientos nutricionales se basan en fuentes de carbohidratos, nitrógeno, aminoácidos, vitaminas y minerales (Flores Tixicuro, 2020), el crecimiento bacteriano de las BAL se encuentra entre los 5 – 45 °C con una temperatura óptima de 37 °C, con un pH entre 3,5 – 10 con un pH óptimo de 5,5 – 6,5 (Nath Mohanty et al., 2015).

Por otra parte, se menciona la importancia del estudio de *L. lactis*, como microorganismo vital en diferentes estudios para la comunidad científica, en los cuales se

ha demostrado la efectividad en relación a los procesos de aplicación en biotecnología e ingeniería genética con la finalidad de contrarrestar enfermedades de origen transmisibles y no transmisibles, donde se resaltan ciertas características deseables dentro del sistema gastrointestinal, gracias a sus condiciones de adaptación, tecnología de secreción extracelular, propiedades probióticas, capacidad de replicación y clonación selectiva, y ausencia de cuerpos de inclusión y endotoxinas (Song et al., 2017).

La microencapsulación es un proceso que permite recubrir elementos bioactivos con un agente encapsulante conocido como material pared o matriz encapsulante, que aislará el material activo, protegiéndolo así de cambios y ambientes adversos u ocultando propiedades sensoriales que los consumidores no aprecian. El aislamiento proporcionado por la matriz encapsulante se romperá con la aplicación de un estímulo específico (pH o calor), liberando la sustancia activa en la ubicación objetivo específica o en condiciones ideales, esta técnica se ha divulgado en varias producciones, entre ellas, cosmética, manufactura, agropecuarias, alimentaria, biomédica y biotecnológica. En la actualidad, el secado por aspersión es el método recomendado gracias al costo accesible, aplicabilidad, alta eficiencia, buena capacidad para producción en masa y se utiliza para proteger antibióticos, enzimas, saborizantes, aceites esenciales y microorganismos (Altamirano Sánchez, 2022; Rodrigues do Amaral et al., 2019).

Para utilizar un microencapsulado en el diseño de alimentos, la matriz debe ser consumible, biodegradable y con cualidades que permitan formar una película sobre el probiótico, estos dos materiales deben ser compatibles y tener buena sinéresis, teniendo en cuenta propiedades como flexibilidad, resistencia, estabilidad e impermeabilidad del producto final (Bansode et al., 2010).

Entre los materiales pared más utilizados en la microencapsulación se encuentra la maltodextrina, proveniente de diferentes equivalentes de dextrosa, se caracteriza por ser un polímero digerible y los compuestos bioactivos encapsulados pueden liberarse rápidamente durante la digestión gástrica, dejándolos expuestos a las condiciones gastrointestinales (Yoha et al., 2020). Por otra parte, la inulina es un fructooligosacárido ligeramente ramificado, compuesto por unidades de fructosa con enlaces β -(2-1), la inulina es un compuesto moderadamente soluble en agua, gracias a sus enlaces glucosídicos es indigerible en la porción gástrica de humanos, pero es digerida por microorganismos intestinales. Por tanto, la inulina ha sido reportada como un biopolímero de liberación colónica, ya que puede pasar relativamente intacta por la parte superior del tracto gastrointestinal, llegando al colon donde se pueden liberar los compuestos bioactivos (González et al., 2020).

Para el diseño de alimentos funciones, se debe tener en cuenta el grado de aprobación del consumidor con el fin de obtener un consumo masivo, uno de esos productos es la mora, nativa de los altos trópicos suramericanos (Colombia, Ecuador, Honduras, México y el Salvador), el Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, describe que la mora es uno de los diez frutos más consumidos en la canasta familiar a nivel nacional, dicha relevancia radica en el perfil organoléptico, aplicaciones gastronómicas, propiedades nutricionales y antioxidantes, por otra parte, la producción de mora apoya el crecimiento y desarrollo económico en productores a mediana y pequeña escala, que permiten extender el trabajo rural y estimular la agricultura y economía familiar (“Av. En El Cultiv. Las Berries En El Trópico,” 2021).

Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019), Nariño es el tercer departamento con área sembrada de Mora a nivel nacional, siendo el cultivar Castilla (R. glaucus), el más utilizado, a nivel departamental y nacional. Es una fruta baja en calorías, rica en vitamina C, hierro, potasio, calcio, fibra, taninos y ácidos orgánicos, además, los pigmentos que contiene la mora de castilla cumplen funciones antioxidantes, que otorgan

el color característico (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015). *R. glaucus* puede mejorar funciones biológicas gracias a sus propiedades antioxidantes, antiinflamatoria, antineurodegenerativa y anticancerígena, gracias a la presencia de compuestos fenólicos, además, es de fácil comercialización y preparación en diversos productos vino, jalea, jugos, batidos, mermeladas y conservas (Pilacuan Hernández, 2021).

En la región andina nariñense, coexisten diversas especies frutales de valor biológico, industrial y alimenticio, que se encuentran en peligro de extinción, entre ellos el chilacuan, se encuentra como árboles individuales o en huertas familiares (Silva Parra et al., 2012). Según Arellano Tobar (2019) el chilacuan (*Vasconcellea cundinamarzensis*), es una planta herbácea perenne de porte alto con variedad de usos: el fruto maduro es apetecido en preparación de postres, jaleas, jugos, conservas, ensaladas de frutas y acompañamiento para carnes; el fruto verde es una fuente de látex y papaína usada para ablandar carnes y en la industria farmacológica.

Culturalmente, la mora y el chilacuan hacen parte de las preparaciones de gran diversidad de comestibles, como el dulce de chilacuan, mora, uchuva, breva y además son frutas que se siembran de manera ancestral en el territorio Nariñense. Recetas que integran la ancestralidad alimentaria del territorio y de las comunidades indígenas, base para la autonomía alimentaria familiar (Achicanoy vivas et al., 2021).

Se prevé que el mercado de suplementos probióticos en América del Norte aumente de 547 millones de dólares estadounidenses en 2017 a 1500 millones en 2027. Esto representaría casi una triplicación de los valores de mercado en ese período de tiempo (Nils-Gerrit, 2022). En 2020, los probióticos en cápsulas representaron la mayor parte del mercado de probióticos en América Latina. A lo largo del período de 2021 a 2027, se pronosticó que este segmento aumentaría de valor, junto con otros tipos de suplementos, como polvo, masticables y tabletas. Se estimó que el valor de mercado de las cápsulas de probióticos aumentaría más del 74 por ciento durante este período (Probiotic Supplements: Market Value by Application Latin America 2027 | Statista, n.d.).

De tal forma, surge la propuesta de investigación para diseñar un alimento funcional a base de mora y chilacuan con adición de *Lactobacillus lactis* microencapsulado con inulina y maltodextrina mediante el secado por aspersión.

Metodología

Ubicación. El estudio se ejecutó en el laboratorio PROBIOTEC- FORAPIS (grupo de investigación) en la Universidad de Nariño, situados en la ciudad de Pasto – Nariño, Colombia. Con 12 °C temperatura promedio, 2540 msnm, 1075 mm de precipitación anual promedio y 78 % de humedad relativa.

Activación de cepas bacterianas y ajuste de inóculo. La activación y ajuste de inóculo de *L. lactis* ATCC 19435 se obtuvo mediante lo expuesto por Jurado-Gómez et al., (2014).

***Lactobacillus lactis* – Secado por aspersión.** Después de activar la cepa y ajustar a $1,5 \times 10^9$ UFC/mL, se disolvió 50 g de inulina y 50 g de maltodextrina (10 % p/v) en agua destilada hasta completar 500 ml de solución. Luego se llevó al equipo de secado por aspersión Secador Spray Bilon 6000s®, con ajuste de temperatura de entrada a 165 °C y temperatura de salida a 67 – 70 °C (Montes Ramírez, 2013; Rodríguez Barona et al., 2016). Duración de proceso 3 horas. Al finalizar, el microencapsulado se empacó en bolsas ziplock metalizadas y se almacenaron a temperatura ambiente durante 80 días.

Evaluación de material microencapsulado – Secado por aspersión. La estructura y morfología de las capsulas se determinaron por microscopia electrónica de barrido FEG (Field Emission Gun) QUANTA 650 FEG. Para el estudio y caracterización del microencapsulado se evaluaron variables como viabilidad y eficiencia, se realizaron

pruebas para evaluar propiedades físicas del microencapsulado con los siguientes parámetros: actividad de agua, solubilidad, humedad y humectabilidad, expuestas por Rodríguez Barona *et al.*, (2016) y Montes Ramírez (2013).

Respuesta del material microencapsulado bajo condiciones gastrointestinales

In Vitro. En 18 mL de agua destilada se adicionaron 2 g de microencapsulado, solución que se sometió a: actividad de lisozima (0,01 %) 37 °C x 5 min (85 rpm). Condición gástrica con pepsina 3 %; NaCl 0,5 %; pH 2,0 a 37 °C x 90 min (60 rpm). Condiciones intestinales con pancreatina 1 %; bilis 0,3 %; NaCl 0,5 %; pH 6,8 a 37 °C x 150 min (60 rpm). Finalmente se llevó a incubación (37°C/ 48 horas). Métodos descritos por Cruz-Ramos (2015), Cruz Pacheco *et al.*, (2009), y modificada por los autores.

Diseño de un alimento funcional tipo sorbete con mora de castilla y chilacuan.

Para el diseño del alimento funcional se adicionó el microencapsulado a una mezcla de leche y pulpa de fruta (Mora o chilacuan). El costo y las cantidades utilizadas se indican en la Tabla 1, el proceso para el diseño del alimento funcional se describe en la Figura 1.

Análisis sensorial. El análisis se realizó a 40 encuestados seleccionados al azar en la Ciudad de Pasto. Cada persona evaluó 60 mL de cada tratamiento: T1- Mora; T2 – Chilacuan; T3 Mora + probiótico; T4Chilacuan + probiótico.

Tabla 1. Materias primas, cantidades y precios.

Materia prima	% inclusión	Gramos	Precio Mora	Precio Chilacuan
Fruta	30	180	\$ 565,7	\$ 1.764,0
Leche UHT	69	414	\$ 1.863,0	\$ 1.863,0
Microencapsulado	1	6	\$ 3.000,0	\$ 3.000,0
Total	100	600	\$ 2.428,7	\$ 6.627,0

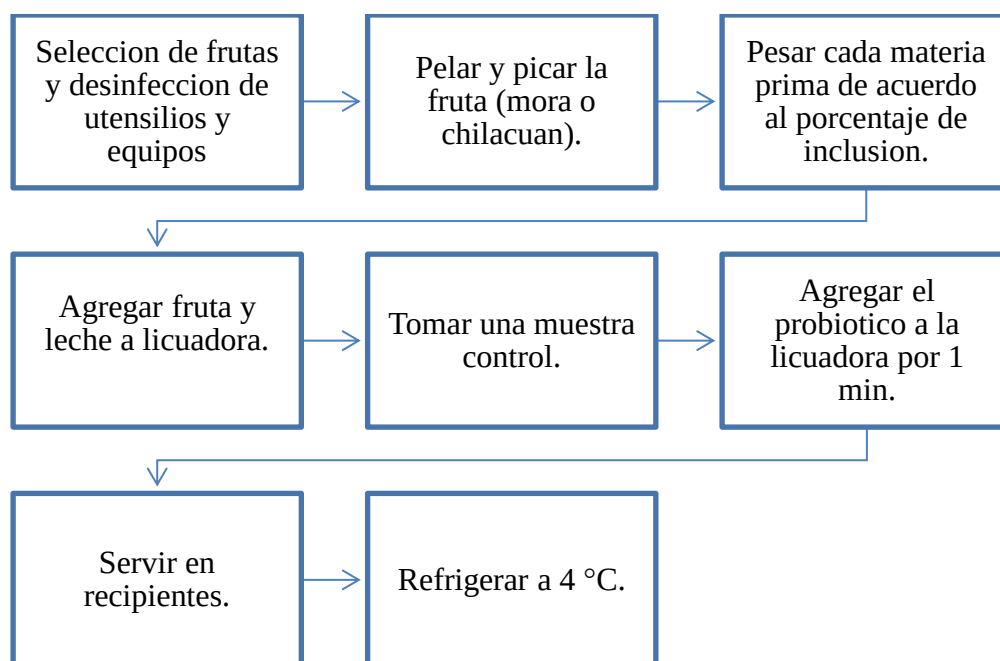


Figura 1. Flujograma para el diseño del alimento funcional.

Resultados

Evaluación del material micro encapsulado – Secado por aspersión

Viabilidad y eficiencia. El proceso de microencapsulación por medio del secado por aspersión con una matriz binaria, inulina y maltodextrina (15 % p/v), indicó una viabilidad del 98,69% y una eficiencia de 93.7 %. Material almacenado por 80 días a temperatura ambiente (12 ± 2 °C) en bolsas metalizadas ziploc.

Tabla 2. Porcentajes de viabilidad y eficiencia del micro encapsulado

Variable	%
Viabilidad	98.69
Eficiencia	93.70

Estructura y morfología. Los diámetros de las capsulas de la muestra analizada mediante microscopia electrónica de barrido se encuentran entre los 2,42 μm y los 9,33 μm . La forma de las formaciones es esférica y se encuentre en aglomerados e individuales, ver Figura 3.

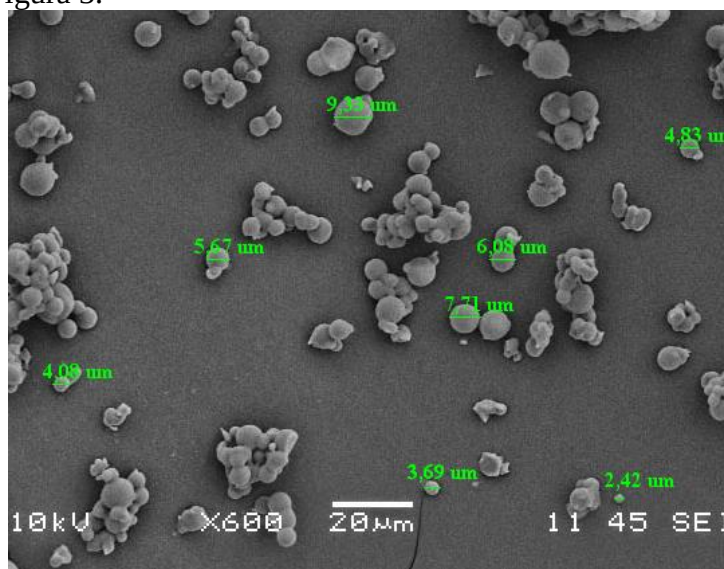


Figura 2. Microfotografía Electrónica de Barrido de Lactobacillus lactis micro encapsulado

Caracterización física. Los datos correspondientes a la caracterización física del micro encapsulado, se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores obtenidos caracterización física.

Variable	%
Actividad de agua	0,35
Solubilidad	97.32
Humedad	3,27
Humectabilidad	98 seg

Respuesta del material micro encapsulado bajo condiciones gastrointestinales

In Vitro. El resultado para este análisis se presenta en Unidades Formadoras de Colonias (UFC) viables, siendo 3.1×10^{10} UFC/mL la carga bacteriana después de someter el micro encapsulado a pruebas gastrointestinales *In vitro*.

Discusión

Preservar cepas bacterianas benéficas mediante herramientas biotecnológicas como el secado por aspersión se refleja en la integridad adecuada de un microorganismo al momento de aplicarlo en las diferentes industrias o ser consumido en alimentos para

humanos o animales, ya que permite expresar las características probióticas al momento de ser utilizado (Gonzales Cuello *et al.*, 2015).

Viabilidad y eficiencia: Rajam y Anandharamakrishnan (2015), microencapsularon *L. plantarum* mediante secado por aspersión, estos autores utilizaron proteína de suero de leche en combinación con fructooligosacáridos (pared) y obtuvieron una viabilidad del 98,63 %. Los investigadores Sinsajoa-Tepud *et al.*, (2019), reportan una viabilidad de 83,3% para *L. plantarum* microencapsulado (secado por aspersión) en una matriz compuesta por inulina-maltodextrina (15% p/v), quienes además, almacenaron el microencapsulado por un periodo de 45 días. La eficiencia de un material microencapsulado se ve afectada por las temperaturas de entrada, la concentración y composición del material pared utilizado (Sierre Ames & Guillen Sullca, 2017).

La eficiencia de *L. casei* evaluada por Zambrano-Mora y Jurado-Gámez (2020), reveló un valor igual a 89,36 %, el método utilizado fue el secado por aspersión con inulina y maltodextrina (material pared). De Araujo Uribe (2016), menciona que el método de secado por aspersión alcanza una eficiencia mayor al comparar con otros métodos de encapsulación, con un rango en porcentaje de eficiencia entre 96 % y 100 %. Según Sierre Ames y Guillen Sullca (2017), la tasa de eficiencia, indica la cantidad de células vivas después del proceso, e incide directamente sobre el organismo que las consume.

Estructura y morfología. Zambrano-Mora y Jurado-Gámez (2020) obtuvieron tamaños de 3,47 μm a 17,81 μm para el microencapsulado de *L. casei*. Wang *et al.*, (2017) reportaron diámetros de 7 μm a 15 μm , en *L. delbruekii* sub. *Bulgaricus*. Muhammad *et al.*, (2017) observaron dimensiones de 6,33 μm en microencapsulado de *L. plantarum*. De esta forma, se sugiere que los tamaños de partícula producto de la microencapsulación son similares a los reportados por diversos autores.

Uno de los factores a tener en cuenta en la microencapsulación de microorganismos es la selección de materiales pared adecuados para que la forma de la capsula sea circular y simple, además, deben garantizar la supervivencia de las bacterias encapsuladas (Rios-Aguirre & Gil-Garzón, 2021). Investigaciones han logrado establecer que la interacción de maltodextrina con inulina o goma arábiga dan como resultado, mayor estabilidad en la microencapsulación (El-Enshasy & Yang, 2021).

Caracterización física

Actividad de agua. La *A_w* en alimentos deshidratados fluctúa entre 0,1 a 0,5 (Makinen *et al.*, 2012). Se recomienda una *A_w* para materiales microencapsulados por secado por aspersión menor a 0,3, para garantizar la estabilidad del producto durante su almacenamiento (Paez, 2013). La importancia de una *A_w* menor a 0,5 radica en que por encima de los 0,60, los alimentos tienen mayor riesgo de contaminarse con bacterias, mohos y levaduras, lo que evidencia dificultades para la utilización del material (Valero-Cases & Frutos, 2015).

Solubilidad. Zambrano-mora & Jurado-Gámez (2020), consideran que la solubilidad es el parámetro que mide la capacidad del microencapsulado para disolverse en el agua y tiene repercusión sobre la viabilidad de la BAL micro encapsulada, clave para la adecuada liberación del probiótico en el tracto intestinal, los mismos autores obtuvieron 96% de solubilidad en la microencapsulación de *L. casei* mediante el secado por aspersión (inulina-maltodextrina 15% p/v).

La solubilidad de un microencapsulado depende en mayor parte del agente protector, para este caso maltodextrina e inulina, en específico la maltodextrina es un producto hidrolítico derivado de del almidón con el uso de encimas o ácidos y normalmente es soluble en agua de sabor neutro, no afecta la viscosidad a altas concentraciones y es de bajo costo, además, tiene la propiedad de proteger el encapsulado

de la oxidación, características que se reflejan en esta investigación con una solubilidad del 97,32 % (Rios-Aguirre & Gil-Garzón, 2021).

Humedad. La humedad es una variable que permite estimar la cantidad de agua en un alimento e indica la estabilidad del producto (Flores Tixicuro, 2020). Paez (2013) menciona que el resultado de humedad en productos derivados del secado por aspersión deben encontrarse entre 3,5 % a 4 %, de igual forma, expresa que la humedad en los alimentos deshidratados son clave para el mantenimiento de la actividad biológica, si el valor de humedad supera el rango citado, será perjudicial para la conservación y estabilidad del sustrato microencapsulado. Mishra & Athmaselvi (2016) obtuvieron valores para humedad entre 6,51 % y 7,72 %, en *L. rhamnosus* microencapsulado, y llegan a concluir que la humedad del microencapsulado se puede ver afectada por la temperatura de entrada y el material encapsulante.

Humectabilidad. La humectabilidad de un alimento en polvo se entiende como la propiedad bajo la cual un sólido (polvo, gránulos) absorbe agua bajo cierta temperatura (Paez, 2013), es la cantidad de tiempo en que un sustrato se sumerge bajo una superficie de agua. Zambrano-Mora & Jurado-Gámez (2020) se refieren a una adecuada humectabilidad como el proceso de liberación de la bacteria, ya que permite mejorar la sobrevivencia y reportan un tiempo de humectabilidad de 2 minutos con 24 segundos para el microencapsulado de *L. casei* a través del secado por aspersión.

Respuesta del material microencapsulado bajo condiciones gastrointestinales *In Vitro*.

Fajardo-Argoti *et al.*, (2021), reportan valores de crecimiento de un microencapsulado de *L. plantarum* de $3,8 \times 10^9$ UFC/150µL, por otra parte, Sinsajoa-Tepud y Narváez-Rodríguez (2019) evaluaron pH (1, 2 y 3), sales biliares (0,3% y 1%) y bilis bovina (0,5%), frente a *L. plantarum* microencapsulado e indicaron crecimientos en el rango de 3×10^7 a $6,4 \times 10^9$ UFC/mL. Los valores referenciados, al igual que los valores obtenidos en la presente investigación, superan el mínimo recomendado para productos probióticos 1×10^7 UFC/mL, después de someterse a pruebas gastrointestinales simuladas.

El concepto básico bajo el cual se rige la microencapsulación de microorganismos es incrementar la estabilidad y conservar las Unidades Formadoras de Colonias al máximo para asegurar una población mínima que ejerzan beneficios sobre el consumidor, de esta forma, los probióticos resisten factores ambientales adversos como acidez, oxígeno, ambientes gástricos e industriales, (El-Enshasy & Yang, 2021).

Diseño de un alimento funcional tipo sorbete con mora de castilla y chilacuan

Evaluación sensorial. La evaluación sensorial de los productos diseñados se realizó bajo una metodología de aceptabilidad, teniendo en cuenta color, olor, sabor y textura. Se trabajó con consumidores de forma aleatoria sin discriminar, edad, género, escolaridad o nivel socioeconómico. Los análisis sensoriales se presentan de forma natural en el ser humano, debido a que la evaluación de un producto se presenta de forma inmediata después de ser consumida y se describen las propiedades organolépticas (Cárdenas-Mazón *et al.*, 2018).

Los resultados de la evaluación sensorial mostraron inclinación por los tratamientos T3 y T4, debido a su nota dulce (observaciones de encuestados) a comparación con los tratamientos T1 y T2 (sin presencia de probiótico), causada posiblemente por inulina. La inulina es ampliamente utilizada en producciones alimentarias, farmacéuticas y biomédicas, una de sus aplicaciones es como sustituto de azúcares (Lara-Fiallos *et al.*, 2017). Los encuestados no apreciaron diferencias de color y textura, por tanto, no afectó la preferencia de los consumidores.

Composición nutricional teórica del alimento funcional. Se calculó el aporte de nutrientes teórico del alimento diseñado teniendo en cuenta la cantidad de cada uno de los elementos agregados y la composición nutricional reportada en bases de información. La información composicional de los alimentos son herramientas que permiten a la población en general conocer que se ofrece en un producto (Cuadrado *et al.*, 2019).

Tabla 4. Aporte Nutricional Teórica del alimento diseñado; mora y chilacuan

Nutrientes	Unidad	Aporte por materia prima utilizada					Aporte teórico	
		Mora ¹	Chilacuan ¹	Leche ¹	Inulina ²	Maltodextrina ³	Mora	Chilacuan
Agua	g	150,66	168,30	364,73	-	-	515,39	533,03
Proteína	g	1,80	1,26	13,66	-	-	15,46	14,92
Lípidos	g	0,18	0,18	14,90	-	-	15,08	15,08
Carbohidratos	g	26,28	9,18	20,70	2,64	-	49,62	32,52
Hexosas	g	-	-	-	0,11	-	0,11	0,11
Dextrosa equi	g	-	-	-	-	0,69	0,69	0,69
Inulina	g	-	-	-	0,15	-	0,15	0,15
Fibra	g	9,54	2,34	-	-	-	9,54	2,34
Cenizas	g	1,08	1,08	-	0,10	-	1,18	1,18
Energía	Kcal	108,00	48,60	273,24	-	-	381,24	321,84
Calcio	mg	75,60	18,00	500,94	-	-	576,54	518,94
Hierro	mg	3,06	0,54	0,41	-	-	3,47	0,95
Potasio	mg	289,80	630,00	621,00	-	-	910,80	1251,00
Fosforo	mg	18,00	19,80	380,88	-	-	398,88	400,68
Magnesio	mg	36,00	-	49,68	-	-	85,68	49,68
Dióxido de azufre	ppm	-	-	-	-	0,60	0,60	0,60

UFC/mL de *L. lactis*: Por gramo, la concentración bacteriana equivale a $1,5 \times 10^9$.

Fuente: ¹(TCAC, 2018); ²(Tecnas, 2021); ³(Tecnas, 2020);

Comparación de costos y presentación del producto

Los costos se calcularon por gramos de inclusión de cada materia prima utilizada, de esta forma, 600 g del alimento funcional cuestan \$ 2.428,7 (0,49 USD) (Mora) y \$ 6.627,0 (1,35 USD) (Chilacuan), teniendo en cuenta que el gramo de probiótico microencapsulado equivale a 500 pesos, con un total de \$ 6.000,0 (1,22 USD) para la elaboración del alimento en las dos presentaciones. Es común encontrar probióticos de venta libre en el mercado, con precios que ronda los \$ 13.200,0 por gramo (2,68 USD) (*Probióticos Cápsulas BB – Genesis Colombia*, n.d.), a comparación con el microencapsulado resultado de la presente investigación, el precio es mayor en más del 60 %, significando ganancias de hasta 7.200,0 (1,46 USD) por gramo vendido del microencapsulado de *L. lactis*.

En la presente investigación, el producto es un probiótico microencapsulado obtenido a través del secado por aspersión, donde, se micro encapsuló *L. lactis* con una concentración bacteriana de $1,5 \times 10^9$ en un material pared compuesto por prebióticos, inulina y maltodextrina. La presentación física del producto es en polvo, que se puede utilizar o aplicar con facilidad en diversas matrices alimentarias.

Conclusiones

Fin fase logarítmica de crecimiento bacteriano a 18 horas con $22,31 \text{ Ln (UFC/mL)}$, el micro encapsulado de *Lactobacillus lactis* en una matriz compuesta por inulina y maltodextrina reporta datos de viabilidad 98.69 %; eficiencia 93.70 %, actividad de agua 0.35%, solubilidad 97.32 %, humedad 3.27%, humectabilidad 98 segundos, tamaño de partícula de $2,42 \mu\text{m}$ y $9,33 \mu\text{m}$ datos que están dentro de parámetros aceptables para

indicar estabilidad en el micro encapsulado. La población bacteriana micro encapsulado bajo condiciones gastrointestinales In Vitro es de 3.1×10^{10} UFC/mL. Además, el costo es menor en un 60 % al comparar el micro encapsulado de *L. lactis* con un producto probiótico comercial. Finalmente, el público encuestado se inclinó por los productos con adición de probiótico.

Referencias bibliográficas

- Achicanoy vivas, J. D., Calpa Villarreal, A. D., Córdoba Chamorro, Z. G., & Andrade Jaramillo, D. G. (2021). Saberes alimentarios del pueblo indígena Quillacinga de San Juan de Pasto. *Boletín Informativo CEI*, 8(2), 195–198. <https://revistas.umariana.edu.co/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/2708>
- Altamirano Sánchez, M. F. (2022). *Microencapsulación de microorganismos mediante secado por aspersion con aplicación industrial* [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/34987>
- Arellano Tobar, J. V. (2019). *Extracción de la enzima papaína presente en el chilacuan (Vasconcellea pubescens) como alternativa de cuajo vegetal* [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI]. <https://repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/877>
- Avances en el cultivo de las berries en el trópico. (2021). In *Avances en el cultivo de las berries en el trópico*. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. <https://doi.org/10.17584/IBERRIES>
- Bansode, S. S., Banarjee, S. K., Gaikwad, D. D., Jadhav, S. L., & Thorat, R. M. (2010). MICROENCAPSULATION: A REVIEW. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 1(2), 38–43. www.globalresearchonline.net
- Bernal Castro, C. A., Díaz-Moreno, C., & Gutiérrez-Cortés, C. (2017). Probióticos y prebióticos en matrices de origen vegetal: Avances en el desarrollo de bebidas de frutas. *Revista Chilena de Nutrición*, 44(4), 383–392. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182017000400383>
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2015). Manual de la Mora. In *PROGRAMA DE APOYO AGRÍCOLA Y AGROINDUSTRIAL VICEPRESIDENCIA DE FORTALECIMIENTO EMPRESARIAL*. Camara de Comercio Bogotá.
- Cárdenas-Mazón, N., Cevallos-Hermida, C., Salazar-Machado, J., Romero-Machado, E., Gallegos-Murillo, P., & Cáceres-Mena, M. (2018). Uso de pruebas afectivas, discriminatorias y descriptivas de evaluación sensorial en el campo gastronómico. *Dominio de Las Ciencias*, 4(3), 253–263. <https://doi.org/10.23857/dom.cien.pocaip.2017.4.3.julio.253-263>
- Corbo, M. R., Bevilacqua, A., Petruzzi, L., Casanova, F. P., & Sinigaglia, M. (2014). Functional Beverages: The Emerging Side of Functional Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(6), 1192–1206. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12109>
- Cuadrado, C., Cabrera, L., Carvajal, H., & Moreiras, O. (2019). *Tablas de composición de alimentos* (19th ed., Vol. 1). Pirámide Madrid. <https://biblioteca.uazuay.edu.ec/buscar/item/83081>
- De Araujo Uribe, N. (2016). *Viabilidad de los Probióticos Bacillus polymyxa, Bacillus megaterium y Lactobacillus delbruekii subsp. bulgaricus microencapsulados bajo la técnica de secado por aspersion*. Universidad Nacional de Colombia.
- El-Enshasy, H. A., & Yang, S.-T. (2021). Probiotics, the Natural Microbiota in Living Organisms. In *Probiotics, the Natural Microbiota in Living Organisms* (1st ed.).

- CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351027540>
- Fajardo-Argoti, C., Jurado-Gámez, H., & Parra-Suescún, J. (2021). Viabilidad de *Lactobacillus plantarum* microencapsulado bajo condiciones gastrointestinales simuladas e inhibición sobre *Escherichia coli* O157:H7. Viability of microencapsulated *Lactobacillus plantarum* under simulated gastrointestinal conditions and inhibit. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24. <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1733>
- Fang Wu, J. W. (2020). *CARACTERIZACIÓN DE BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS (BAL) AISLADAS DE ENSILADOS DE PIÑA COMO MICROORGANISMOS CON POTENCIAL PROBIÓTICO Y DETERMINACIÓN DE SU APLICABILIDAD COMO CULTIVO BIOPROTECTOR EN LECHE AGRIA*. [http://repositorio.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/82704/Trabajo final de graduación completo Jannette Wu con firmas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/82704/Trabajo%20final%20de%20graduación%20completo%20Jannette%20Wu%20con%20firmas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Flores Tixicuro, J. M. (2020). *Optimización estadística de la producción de ácido láctico a partir de lactosuero por lactobacillus casei* [UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11169>
- Gonzales Cuello, R., Perez Mendoza, J., & Morón Alcazar, L. (2015). Efecto de la Microencapsulación sobre la Viabilidad de *Lactobacillus delbrueckii* sometido a Jugos Gástricos Simulados. *Información Tecnológica*, 26(5), 11–16. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000500003>
- González, E., Gómez-Caravaca, A. M., Giménez, B., Cebrián, R., Maqueda, M., Parada, J., Martínez-Férez, A., Segura-Carretero, A., & Robert, P. (2020). Role of maltodextrin and inulin as encapsulating agents on the protection of oleuropein during in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 310, 125976. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.125976>
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (TCAC) 2018. (2018). Tabla De Composición De Alimentos Colombianos. In *Icbf* (pp. 1–147). https://www.icbf.gov.co/bienestar/nutricion/tabla-alimentos%0Ahttps://www.icbf.gov.co/sites/default/files/tcac_web.pdf
- Jurado-Gámez, H., Calpa-Yama, F., & Chaspuengal-Tulcán, A. (2014). DETERMINACIÓN IN VITRO DE LA ACCIÓN PROBIÓTICA DE *Lactobacillus plantarum* SOBRE *Yersinia pseudotuberculosis* AISLADA DE *Cavia porcellus*. *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 61(3), 241–257. <https://doi.org/10.15446/RFMVZ.V61N3.46872>
- Lara-Fiallos, M., Lara-Gordillo, P., Julián-Ricardo, M. C., Pérez-Martínez, A., & Benítez-Cortés, I. (2017). Tecnología Química. *Tecnología Química*, 37(2), 352–366. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852017000200016
- Makinen, K., Berger, B., Bel-Rhliid, R., & Ananta, E. (2012). Science and technology for the mastership of probiotic applications in food products. *Journal of Biotechnology*, 162, 356–365. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2012.07.006>
- Marco, M. L., Sanders, M. E., Gänzle, M., Arrieta, M. C., Cotter, P. D., De Vuyst, L., Hill, C., Holzapfel, W., Lebeer, S., Merenstein, D., Reid, G., Wolfe, B. E., & Hutkins, R. (2021). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on fermented foods. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18, 196–208. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-00390-5>
- Mishra, A., & Athmaselvi, K. A. (2016). Stress tolerance and physicochemical properties of encapsulation processes for *Lactobacillus rhamnosus* in pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit juice. *Food Science and Biotechnology* 2016 25:1, 25(1), 125–

129. <https://doi.org/10.1007/S10068-016-0019-5>
- Montes Ramírez, M. L. (2013). *EFFECTO DE LA MICROENCAPSULACIÓN CON AGENTES PREBIÓTICOS SOBRE LA VIABILIDAD DE MICROORGANISMOS PROBIÓTICOS (Lactobacillus casei ATCC 393 y Lactobacillus rhamnosus ATCC 9469)*. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.
- Muhammad, Z., Ramzan, R., Huo, G.-C., Tian, H., & Bian, X. (2017). Integration of polysaccharide-thermoprotectant formulations for microencapsulation of *Lactobacillus plantarum*, appraisal of survivability and physico-biochemical properties during storage of spray dried powders. *Food Hydrocolloids*, 66, 286–285. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.11.040>
- Nath Mohanty, J., Kumar Das, P., Nanda, S., Nayak, P., & Pradhan, P. (2015). Comparative analysis of crude and pure lactic acid produced by *Lactobacillus fermentum* and its inhibitory effects on spoilage bacteria. *The Pharma Innovation*, 3(11), 38–42. www.thepharmajournal.com
- Nils-Gerit, W. (2022, June 29). *Forecast of the probiotic supplements market value in North America from 2017 to 2027*. <https://www.statista.com/statistics/1198146/forecast-of-the-probiotic-supplements-market-in-north-america/#statisticContainer>
- Paez, R. B. (2013). *Desarrollo de cultivos probióticos deshidratados por secado spray para aplicación en alimentos. Estudios microbiológicos y tecnológicos*. [Universidad Nacional de la Plata]. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/38116/Documento_completo_.pdf?sequence=1
- Pilacuan Hernández, S. D. (2021). *Elaboración de una bebida fermentada con probióticos a partir de lactosuero dulce saborizado con pulpa de mora (Rubus glaucus)* [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI]. <http://repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/1315>
- Probiotic supplements: market value by application Latin America 2027 | Statista*. (n.d.). Retrieved November 10, 2021, from <https://www.statista.com/statistics/1199909/value-probiotic-supplements-market-application-latin-america/>
- Probióticos cápsulas BB – Genesis Colombia*. (n.d.). Retrieved October 23, 2022, from <https://genesiscolombia.com/producto/probioticos-capsulas-bb/>
- Rajam, R., & Anandharamakrishnan, C. (2015). Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* (MTCC 5422) with fructooligosaccharide as wall material by spray drying. *Lwt*, 60(2), 773–780. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.062>
- Rios-Aguirre, S., & Gil-Garzón, M. A. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *Tecnológicas*, 24(51), e1836. <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>
- Rodrigues do Amaral, P. H., Lopes Andrade, P., & Costa de Conto, L. (2019). Microencapsulation and Its Uses in Food Science and Technology: A Review. *Microencapsulation - Processes, Technologies and Industrial Applications*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.81997>
- Rodríguez Barona, S., Giraldo, G. I., & Montes, L. M. (2016). Encapsulación de Alimentos Probióticos mediante Liofilización en Presencia de Prebióticos. *Información Tecnológica*, 27(6), 135–144. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000600014>
- Sierre Ames, P. L., & Guillen Sullca, J. M. (2017). *EVALUACION DE LA VIABILIDAD DEL Lactobacillus spp. ENCAPSULADO EN MALTODEXTRINA COMO PROBIÓTICO EN EL JUGO DE AGUAYMANTO* [Universidad Nacional del

- Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1591>
- Silva Parra, A., Galvis Chamorro, C. L., Gomez Insuasty, A., Criollo Escobar, H., & Lagos, J. C. (2012). Modelos Alternativos Con Chilacuan (*Vasconcellea cundinamarcensis*) En El Humedal Ramsar Laguna De La Cocha, Pasto, Colombia. *Agroforestería Neotropical*, 2, 19–30. <http://revistas.ut.edu.co/index.php/agroforesteria/article/view/206/204>
- Sinsajoa-Tepud, M., Jurado-Gamez, H., & Narváez-Rodríguez, M. (2019). Evaluación de *Lactobacillus plantarum* microencapsulado y su viabilidad bajo condiciones gastrointestinales simuladas e inhibición frente a *Escherichia coli* O157:H7. *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 66(3), 231–244. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v66n3.84260>
- Sinsajoa Tepud, M. D., & Narváez Rodríguez, M. L. (2019). EFECTO DE LA MICROENCAPSULACIÓN SOBRE LA VIABILIDAD PROBIÓTICA DE *Lactobacillus plantarum* ATCC 8014 BAJO CONDICIONES GASTROINTESTINALES SIMULADAS EN *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 43888. Universidad de Nariño.
- Song, A. A. L., In, L. L. A., Lim, S. H. E., & Rahim, R. A. (2017). A review on *Lactococcus lactis*: From food to factory. *Microbial Cell Factories*, 16(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12934-017-0669-x>
- Tecnas. (2020). *Ficha técnica de producto terminado - MALTODEXTRINA*. 2.
- Tecnas. (2021). *Ficha técnica de producto terminado - INULINA*. 2.
- Valero-Cases, E., & Frutos, M. José. (2015). Effect of different types of encapsulation on the survival of *Lactobacillus plantarum* during storage with inulin and in vitro digestion. *Food Science and Technology*, 64, 824–828. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.049>
- Wang, W., Chen, J., Zhou, H., Wang, L., Ding, S., Wang, Y., Song, D., & Li, A. (2017). Effects of microencapsulated *Lactobacillus plantarum* and fructooligosaccharide on growth performance, blood immune parameters, and intestinal morphology in weaned piglets. *Food and Agricultural Immunology*, 29(1), 84–94. <https://doi.org/10.1080/09540105.2017.1360254>
- Yoha, K. S., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2020). Effect of encapsulation methods on the physicochemical properties and the stability of *Lactobacillus plantarum* (NCIM 2083) in synbiotic powders and in-vitro digestion conditions. *Journal of Food Engineering*, 283, 110033. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2020.110033>
- Zambrano-Mora, E. J., & Jurado-Gámez, H. (2020). Efecto de *Lactobacillus casei* microencapsulado sobre la salud intestinal y parámetros bioquímicos y productivos en pollo de engorde TT - Effect of microencapsulated *Lactobacillus casei* on intestinal health and on biochemical and productive parameters in. *Rev. Udca Actual. Divulg. Cient.*, 23(2), e1480–e1480. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262020000200017