



## Optimización de una bebida con exudado de cacao *Theobroma cacao* L. CCN51 y suero láctico usando superficie respuesta

Optimization of a drink with cacao *Theobroma cacao* L. CCN51 exudate and lactic serum using surface response

H. Rivera-Rojas<sup>1, \*</sup>; H. Tafur-Pereda<sup>1</sup>; J. Pisco-Caldas<sup>1</sup>; Fredy Crispín Sánchez<sup>2</sup>;  
Raúl Porturas Olaechea<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Av. Universitaria km 1,5. Tingo María, Perú.

<sup>2</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Pesquera, Departamento de Acuicultura e Industrias Pesqueras, Lima 12, La Molina, Lima, Perú.

ORCID de los autores

H. Rivera-Rojas: <https://orcid.org/0000-0001-7125-9659>

H. Tafur-Pereda: <https://orcid.org/0000-0001-6353-6871>

F. Crispín Sánchez: <https://orcid.org/0000-0002-0490-3739>

R. Porturas Olaechea: <https://orcid.org/0000-0003-1582-9084>

### RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue caracterizar reológicamente una bebida formulada y elaborada con exudado de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN51 y suero láctico. La formulación se optimizó mediante la metodología de superficie respuesta para los atributos color, olor, sabor y aceptabilidad; posteriormente se realizó un análisis de superficie múltiple para determinar los parámetros óptimos globales mediante la función deseabilidad. Los resultados aseguran que la proporción exudado y suero láctico debe ser de 40/60 con 10% de sacarosa. La reología de la bebida demuestra que es un fluido no newtoniano del tipo seudoplástico. En general la temperatura y el tiempo de almacenamiento tienen un efecto significativo en el índice de flujo e índice de consistencia. Los análisis químicos proximal y microbiológicos cumplen con las normas y la bebida es apto para el consumo humano. Los resultados reológicos de las bebidas a base exudado de cacao y suero láctico pueden usarse como parámetro de control de calidad y dimensionamiento de máquinas, equipos, tuberías, conexiones, filtros, bombas de impulsión y también la investigación aporta conocimientos para el aprovechamiento del residuo agroindustrial y de la industria láctica.

**Palabras clave:** Reología; seudoplástico; almacenamiento; fluido; newtoniano.

### ABSTRACT

The aim of this research was to characterize rheologically a drink formulated and elaborated with exudate of cocoa (*Theobroma cacao* L.) CCN51 and lactic serum. The formulation was optimized using the response surface methodology for the attributes color, smell, taste and acceptability; subsequently, a multiple surface analysis was performed to determine the global optimal parameters by means of the desirability function. The results ensure that the proportion exudate and lactic serum should be 40/60 with 10% sucrose. The rheology of the beverage shows that it is a non-Newtonian fluid of the pseudoplastic type. In general, temperature and storage time have a significant effect on the flow index and consistency index. The proximal and microbiological chemical tests meet the standards, and the drink is suitable for human consumption. The rheological results of drinks based on cocoa exudate and lactic whey can be used as a parameter for quality control and sizing of machines, equipment, pipes, connections, filters, drive pumps and research provide knowledge for the use of agro-industrial residue. and the dairy industry.

**Keywords:** rheology; pseudoplastic; storage; fluent; Newtonian.

## 1. Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.), es una de las materias primas fundamentales en la producción de chocolates y confites; productos que por sus características nutritivas y organolépticas están entre los más apreciados por la población mundial (Andrade & Cuenca-Nevarez, 2021). Es un cultivo neotropical, originario de la región amazónica de Suramérica (Moreira-Morillo et al., 2021). De la clase Magnoliopsida, orden Malvales, familia Malvaceae, género *Theobroma* y especie Cacao, siendo el principal fruto del género cultivado, debido al valor e importancia de las semillas (Corton et al., 2022).

La mayor parte del cacao del mundo se produce en África occidental (70%), seguido de Asia y Oceanía (15,6%) y América Latina (14,1%). Los líderes mundiales en la producción de cacao en grano son Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Nigeria, Camerún, Brasil, Ecuador, República Dominicana y Malasia, que suministran el 90% de la producción mundial. La mayoría de los granos de cacao se producen en granjas pequeñas o medianas; solo el 30% de la producción de cacao en bruto proviene de la agricultura de alta gama según (Jean-Marie et al., 2022). En cuanto a la producción internacional Perú exporta del 50 al 75% de su cacao en grano o sea corresponde al 7% de la producción internacional (Vásquez-García et al., 2022). La región San Martín es el más importante productor regional, con 48,4 mil toneladas (35,6% de participación); le sigue Junín con 25,5 mil toneladas (18,8%); Ucayali con 17 mil toneladas (12,5%); Huánuco y Cusco con 13 mil y 10 mil toneladas, respectivamente. Estas cinco regiones representan alrededor del 84% de la producción total del país. Cabe destacar que el Perú es considerado uno de los principales productores y proveedores de cacao fino y de aroma. Asimismo, es el segundo productor de cacao orgánico a nivel mundial. Además, el 60% de la biodiversidad existente de cacao (material genético) se encuentra en nuestro país (MIDAGRI, 2022).

En Ecuador, se obtuvo el clon CCN 51 como resultado de varios programas de mejoramiento, el cual se expandió por las regiones cacaoteras de Ecuador, Colombia, Brasil y Perú. Reconocido por su alto rendimiento y adaptabilidad a diferentes regiones y ambientes, se ha convertido en uno de los clones más populares para programas de mejoramiento y cultivo en todo el mundo. El creador del CCN 51 fue Homero Castro Zurita, quien obtuvo este clon de los cruces (IMC-67 X ICS-95) x "Canelo" (Oriente 1) en su finca *Theobroma* en la región de Naranjal (Provincia de Guayas, Ecuador) en respuesta a un devastador incidencia de la enfermedad de la escoba de bruja en el Ecuador

para 1960 según Castro (1981) mencionado por Jaimez et al. (2022). La finca "Sofía", ubicada en la región del Naranjal, fue la primera finca en ser reportada con plantaciones de CCN 51 en 1965 según Crespo del Campo & Crespo Andia (1997) mencionado por Jaimez et al. (2022). Sus plantaciones comerciales iniciaron en Ecuador en 1985. Según Hernández Calderón & González Hidalgo (2016) mencionado por Jaimez et al. (2022); en 2018, el Instituto Nacional de Estadística y Censos del Ecuador (INEC) reportó 573000 hectáreas de cacao, de las cuales el 70% correspondió a CCN 51. También cabe señalar que el 54% de la producción peruana, que es de 84700 t, proviene de CCN 51 y la popularidad de este clon también va en aumento en otros países de la región incluyendo Colombia, Panamá, Guatemala y Brasil. La rápida propagación de este clon en América Latina se asocia a su notable productividad, con rendimientos estimados de 1300-1800 kg/ha, que en promedio es superior a otros clones económicamente relevantes en la región, según lo informado para Ecuador por Ramlachan et al. (2009); Boza et al., (2014); Sánchez-Mora et al. (2015); Jaimez et al. (2018), en Colombia por Puentes-Páramo et al. (2014) y Brasil por Reges et al. (2021) mencionado por Jaimez et al. (2022).

Las semillas de cacao están rodeadas por una pulpa aromática la cual procede de sus tegumentos. La pulpa mucilaginoso está compuesta por células esponjosas parenquimatosas, que contienen células de savia ricas en azúcares (10-13%), pentosas (2-3%), ácido cítrico (1-2%) y sales (8-10%). Durante el proceso de cosecha de las semillas de cacao, la pulpa es removida por fermentación e hidrolizada por microorganismos. La pulpa hidrolizada es conocida en la industria como "exudado". Durante la fermentación la pulpa provee el sustrato para varios microorganismos que son esenciales para el desarrollo de los precursores del sabor del chocolate, los cuales son expresados completamente después, durante el proceso de tostado. Aunque la pulpa es necesaria para la fermentación, a menudo hay más pulpa de la necesaria. El exceso de pulpa, que tiene un delicioso sabor tropical, ha sido usado para hacer los siguientes productos: Jalea de cacao, alcohol y vinagre, nata y pulpa procesada (Gutiérrez-Macías et al., 2021). Se ha demostrado que por cada kilogramo de cacao seco se produce 0,59 kg de exudado y sus azúcares son una fuente interesante de materia prima para la producción de bioetanol de segunda generación, resultados que contribuyen a reducir el impacto ambiental que generan estos residuos. El mucílago contiene una buena cantidad

de flavonoides (que dan una formación de color característico) (Delgado-Ospina et al., 2021). El suero es un líquido que se obtiene posterior a la coagulación de la caseína en el proceso de cuajado de leche durante la elaboración de quesos y mantequillas, se clasifica en ácido y dulce (Mehra et al., 2021). Las proteínas del suero incluyen principalmente  $\alpha$ -lactoalbúmina (ALA), albúmina sérica bovina (BSA),  $\beta$ -lactoglobulina (BLG) y lactoferrina (LA) (Liu et al., 2021; Zhao et al., 2021). La industria láctea genera enormes cantidades de suero de leche que frecuentemente, es vertido como residuo (Sirmacekic et al., 2022). El suero dulce está basado en la coagulación enzimática (renina) de la caseína a pH 6,5. El ácido resulta del proceso de fermentación o adición de ácidos orgánicos o ácidos minerales para coagular la caseína como ocurre en la elaboración de quesos frescos según McClements (2022). Es uno de los materiales más contaminantes que existen en la industria alimentaria, este residuo industrial contiene más del 25% de las proteínas de la leche, cerca del 8% de la materia grasa y cerca del 95% de la lactosa (Pires et al., 2021). A nivel mundial se producen de 180 a 190 millones de toneladas de suero por año, eliminando la mitad de los sólidos totales presentes en la leche los que incluyen nutrientes como proteína, lactosa, minerales y vitaminas. Se estima que por un kilogramo de queso se producen 9 kg de suero láctico (Quispe et al., 2021). Una de las alternativas para la utilización del suero es la elaboración de bebidas refrescantes, bebidas fermentadas y alcohólicas por sus bajos costos de producción y alto valor nutricional. La proteína de suero se utiliza a menudo en alimentos de fórmula debido a su alto valor nutricional, diversas características funcionales, rentabilidad y amplia disponibilidad (Wu et al., 2021). La reología alimentaria es el estudio de la consistencia y el flujo de los alimentos bajo fuerzas aplicadas específicas, para comprender los principios fisicoquímicos subyacentes de la "estructuración" de los materiales alimenticios y su interacción (Wilbanks, Yazdi, & Lacey, 2022). La reología alimentaria se centra en las propiedades de flujo de los componentes alimentarios individuales, las matrices de alimentos compuestos y la influencia de la fabricación, el procesamiento en el producto alimenticio final en el marco de los desafíos mundiales en la ciencia de los alimentos y la nutrición por Espert, Salvador, Sanz, & Hernández (2022). El enfoque de la reología de los alimentos se ha movido gradualmente hacia las mediciones oscilatorias y de fluencia a la medición de flujo constante convencional. Se han introducido varias áreas nuevas de mediciones reológicas y conceptos que incluyen cizalladura oscilatoria de

gran amplitud (LAOS), reología extensional, reometría de transformación de Fourier, principios de superposición de tiempo-temperatura (TTSP), reología de gel y se prevé un gran impacto de estas mediciones (Wang & Selomulya, 2022). El comportamiento reológico es la propiedad funcional más importante de los coloides naturales, esta propiedad está relacionada con la capacidad de los hidrocoloides para mejorar la viscosidad y la formación estructural del gel a bajas concentraciones; la propiedad espesante de los hidrocoloides tiene una función determinante en la aceptación por parte del consumidor; además, la aceptación por parte del consumidor de diferentes productos alimenticios como jugos de frutas, salsas, jaleas preparadas y postres depende principalmente del comportamiento reológico (Jafari et al., 2023). En la actualidad se están alejando del uso de compuestos sintéticos en favor del descubrimiento de nuevas fuentes de componentes naturales que les permitirán crear productos que sean saludables, respetuosos con el medio ambiente, sostenibles y rentables. La industria alimentaria, ante estas tendencias, ha optado por buscar ingredientes naturales seguros que permitan la producción de alimentos bajos en grasas, sin aditivos artificiales, sin gluten, prebióticos y fortificados. De manera similar, las industrias farmacéutica y médica están intentado aplicar ingredientes naturales para abordar los desafíos relacionados con los biomateriales de manera más eficiente que los ingredientes sintéticos. Se ha investigado y demostrado que el mucílago vegetal es un polisacárido con excelentes características sanitarias y propiedades tecnológicas, útiles tanto para aplicaciones alimentarias como biomédicas. Numerosos estudios han demostrado que su inclusión en diferentes matrices alimentarias mejora la calidad de los productos obtenidos bajo reformulaciones adecuadas. Al mismo tiempo, se ha indicado que el mucílago vegetal es una matriz muy interesante en el campo biomédico, especialmente en aplicaciones de ingeniería de tejidos, ya que ha surgido para favorecer la regeneración de tejidos (Goksen et al., 2023). El objetivo fue optimizar la formulación y elaboración de la bebida elaborada con exudado de cacao y suero láctico usando superficie respuesta múltiple.

## 2. Material y métodos

### Lugar de ejecución

La investigación se realizó en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, situado en la ciudad de

Tingo María, Provincia de Leoncio Prado, Región Huánuco, con una temperatura entre 17 y 32 °C, con 82% de HR. Se trabajó en los Laboratorios de Análisis de Alimentos y de Ingeniería de Alimentos.

### Materia prima

El exudado de cacao se acopio de la Cooperativa Agroindustrial Alto Huallaga y el suero de leche se obtuvo de la Planta Piloto de la Universidad Nacional del Santa – UNAS.

### Materiales y equipos utilizados

Equipos: Reómetro Brookfield DVIII ultra, balanza de sobremesa marca OHAUS Analytical plus (capacidad: 1,5 kg, precisión: 0.01 g), balanza de sobremesa marca SORES® (capacidad 16 kg, precisión 1 g), cocina industrial a gas de 3 quemadores SOLGAS®, licuadora marca OSTER® (potencia 3 HP), termómetro digital Traceable (rango -50 a +300 °C), Congeladora marca PRESVAC, modelo PRV-40, pHmetro digital y refractómetro modelo HSR-500 (ATAGO).

Materiales: botellas de vidrio c/tapa capacidad 300 ml, bandejas de acero inoxidable. 53x32.5x2.5 cm, colador de acero inoxidable ø 26 cm, olla en acero inoxidable 7 L, utensilios de acero inoxidable (cuchara, espátula ranurada, cuchara de degustación), matraces (100 mL) Kimax USA, Schott Duran Germany, probetas (50 mL) Brand Germany, pipeta (5 mL) Pyrex USA, vasos de precipitación (50, 100 mL) Pyrex USA y tubos de ensayo Pyrex USA.

### Metodología experimental

Formulación y elaboración de la bebida: Se prepararon mezclas de exudado de cacao: suero láctico en proporciones de 40:60, 45:55, 50:50, 45:55, 40:60 con 8% y 10% de azúcar. Las mezclas se pasteurizaron a 65 °C por 30 minutos. Inmediatamente, luego las mezclas se envasaron en botellas de 300 mL y se almacenaron a 26 °C hasta su evaluación.

### Métodos analíticos de evaluación

Evaluación sensorial: Se realizó mediante el método descrito por Yanchaguano & Israel (2011) y Severiano-Pérez (2021). Los atributos evaluados fueron color, olor, sabor y aceptabilidad, con el objetivo de definir la aceptabilidad de la bebida se aplicó la formulación de cataciones donde se estableció una escala de 1 a 5 puntos, siendo 1 la puntuación más baja y 5 la más alta.

Evaluación reológica: La bebida fue evaluada reológicamente durante los 30, 60 y 90 días de almacenamiento. La evaluación reológica se realizó

con el Reómetro Brookfield DVIII ultra, determinándose el índice de flujo (n), índice de consistencia (k), durante el tiempo de almacenamiento a las temperaturas de 10 °C, 25 °C y 40 °C.

Evaluación química: Se determinó del mejor tratamiento mediante análisis químico proximal de acuerdo con la AOAC (2016) y los carbohidratos por diferencia MS-INN según Collazos (1993).

Evaluación microbiológica: La bebida cumple con la norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano RM N° 615-2003 SA/DM (MINSa, 2008).

### Análisis estadístico

Los resultados de los análisis se analizaron mediante el ANOVA diseño completo al azar (DCA) con arreglo factorial de 5x2 la prueba de comparación de medias fue mediante Tukey ( $p < 0,05$ ) (Callupe, 2022). También se realizó optimización de múltiples respuestas. Se utilizó el programa software Statgraphics 18®.

## 3. Resultados y discusión

### Determinación de la formulación óptima

En la Tabla 1 se presentan los resultados que fueron sometidos al análisis de varianza mediante un diseño con arreglo factorial de 5x2, los factores estudiados fueron proporción porcentaje de exudado-suero láctico con cinco niveles y porcentaje de sacarosa con dos niveles. El objetivo de este análisis fue determinar los mejores tratamientos. Los resultados demuestran que los factores mencionados no tienen influencia significativa sobre los atributos sensoriales estudiados como color, olor, sabor y aceptabilidad global son estadísticamente iguales con una significancia de ( $p > 0,05$ ).

### Superficie de respuesta por atributo

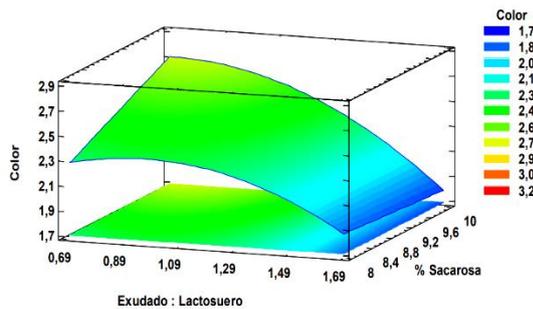
Para determinar la formulación óptima se realizó un análisis de superficie de respuesta por atributos.

Color: El color óptimo corresponde a un valor de  $2,717 \approx 3$  (transparente) a una proporción de exudado-suero láctico 40:60 y 10% de sacarosa (Figura 1). Es preciso indicar que la proporción de la mezcla de exudado y suero láctico tiene un efecto negativo sobre el color, si el porcentaje de exudado se incrementa y el porcentaje de suero láctico disminuye el color tiende a ser claro. También podemos observar que el porcentaje de sacarosa tiene un efecto positivo.

**Tabla 1**

Comparación de los tratamientos mediante un arreglo factorial de 5x2 del análisis sensorial

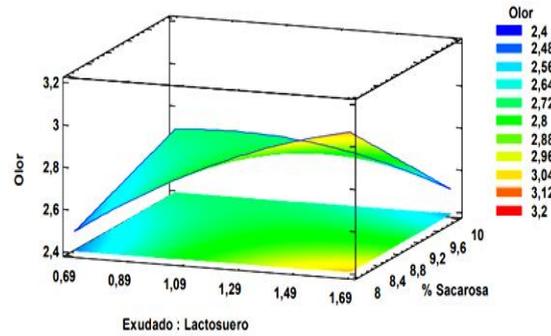
Factores		Variables de respuesta				
Exudado: Suero Láctico	% Sacarosa	Color	Olor	Sabor	Acceptabilidad	
40 : 60	8	2,4 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup>	2,6 <sup>a</sup>	2,8 <sup>a</sup>	
45 : 55	8	2,4 <sup>a</sup>	2,8 <sup>a</sup>	2,4 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup>	
50 : 50	8	2,0 <sup>a</sup>	2,9 <sup>a</sup>	2,8 <sup>a</sup>	2,6 <sup>a</sup>	
55 : 45	8	2,1 <sup>a</sup>	2,8 <sup>a</sup>	2,7 <sup>a</sup>	2,7 <sup>a</sup>	
60 : 40	8	2,2 <sup>a</sup>	3,0 <sup>a</sup>	2,7 <sup>a</sup>	2,6 <sup>a</sup>	
40 : 60	10	2,6 <sup>a</sup>	2,7 <sup>a</sup>	3,5 <sup>a</sup>	3,0 <sup>a</sup>	
45 : 55	10	2,9 <sup>a</sup>	2,9 <sup>a</sup>	3,3 <sup>a</sup>	2,7 <sup>a</sup>	
50 : 50	10	2,9 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup>	2,6 <sup>a</sup>	2,3 <sup>a</sup>	
55 : 45	10	2,8 <sup>a</sup>	2,7 <sup>a</sup>	2,4 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup>	
60 : 40	10	2,0 <sup>a</sup>	2,6 <sup>a</sup>	2,6 <sup>a</sup>	2,6 <sup>a</sup>	



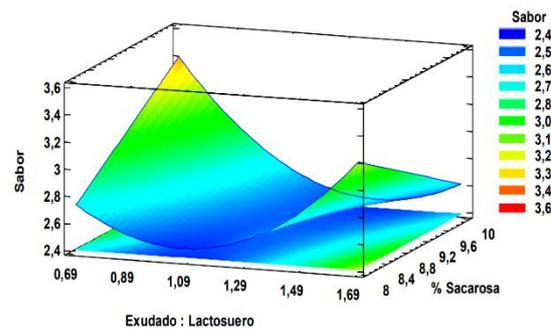
**Figura 1.** Superficie de respuesta y contorno estimada del color.

**Olor:** El atributo olor es óptimo a un valor de 3, esto resulta cuando la relación exudado-suero láctico es 60:40 y 8% de sacarosa, es evidente afirmar que el incremento del porcentaje de suero láctico mejora este atributo. En la Figura 2 se muestra los efectos principales donde se demuestra que la relación exudado y suero láctico tiene un efecto positivo y el porcentaje de sacarosa tiene un efecto negativo en el atributo olor.

**Sabor:** Un atributo muy importante es el sabor, según la evaluación de superficie respuesta el valor óptimo es 3,383≈3 (dulce), la proporción exudado-suero láctico de 40:60 y 10% de sacarosa son las condiciones óptimas. Cuando la concentración de suero láctico se incrementa este tiene efecto negativo en el sabor y la sacarosa mejora notablemente dicho atributo al tener un efecto positivo (Figura 3).

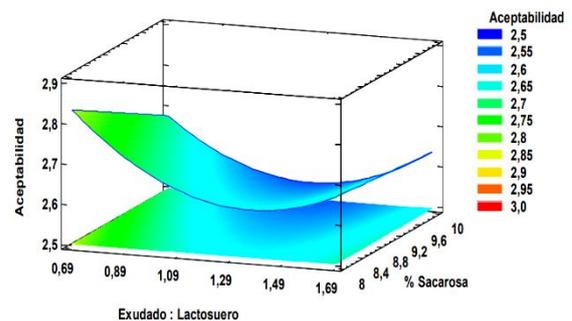


**Figura 2.** Superficie de respuesta y contorno estimada del olor.



**Figura 3.** Superficie de respuesta y contorno estimada del sabor.

**Aceptabilidad:** Los jueces han catalogado las muestras con relación a la preferencia que sienten por uno u otro tratamiento a su nivel de agrado. La aceptabilidad óptima fue de 2,825≈3 (Bueno), se observa que la proporción exudado-suero láctico tiene influencia significativa sobre la aceptabilidad, tanto la proporción exudado-suero láctico y el porcentaje de sacarosa tienen un efecto negativo en este atributo (Figura 4).



**Figura 4.** Superficie de respuesta y contorno estimada aceptabilidad.

**Optimización de múltiple respuesta**

Si la optimización sólo se hace para una característica del producto podrían resultar condiciones impropias para las otras características. Por ello es necesario contar con metodologías que sirvan para

que, en la medida de lo permitido, se optimicen a la vez todas las respuestas de interés. Para realizar esta evaluación, se utilizó el modelo de la función deseabilidad de (0 a 1).

Según Pulido et al. (2012) este método fue propuesto originalmente por Harrington (1965) y después fue mejorado por Derringer & Suich (1980) y Derringer (1994), consiste en definir una función en el espacio de factores que estima la deseabilidad global (DG) del producto en cada punto; de esta forma, convierte el problema de optimización multivariado. Es usual encontrar muchas aplicaciones industriales con varias respuestas cuyas finalidades alcanzar la calidad global de un producto, por lo que es necesario optimizar de manera simultánea las respuestas de interés. En esencia, el problema de optimización de varias respuestas involucra la selección de un conjunto de condiciones o variables independientes tales que den como resultado un producto o servicio adecuado. Es decir, se desea seleccionar los niveles de las variables independientes que optimicen todas las respuestas a la vez (Domínguez, 2006), en la investigación se realizó dicho análisis, obteniendo el punto óptimo de deseabilidad de la bebida como se observa en la Figura 5.

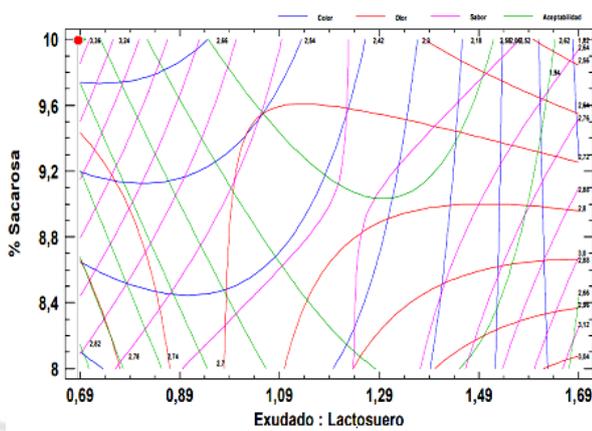


Figura 5. Contorno de la superficie de respuesta múltiple de función deseabilidad.

La proporción 40% de exudado de cacao y 60% de suero láctico con 10% de sacarosa satisfacen mejor la función de deseabilidad con un valor óptimo de 0,657473.

**Caracterización del fluido**

Mediante el viscosímetro Brookfield DVIII-ultra se realizaron diez lecturas del torque y viscosidad aparente a diferentes velocidades angulares (10 a 100 rpm) con esta información se determinó el esfuerzo y velocidad de corte. Los resultados se graficaron en función a la velocidad de corte versus

viscosidad aparente y velocidad de corte versus esfuerzo corte, como se muestran en las Figuras 6 y 7. Los resultados demuestran que la bebida es un fluido no Newtoniano  $n \neq 1$  tipo dilatante siendo el índice de flujo ( $n$ ) mayor a 1 y su viscosidad aparente aumenta al incrementar el esfuerzo o gradiente (Berk, 2018; Rayner, 1995; Singh y Heldman, 2014). La Organización Internacional de Estándares (ISO), por ejemplo, podemos definir la textura de los alimentos como "Todos los atributos reológicos y estructurales (geométricos y superficiales) de un producto alimenticio perceptible por medio de receptores mecánicos, táctiles, visuales y auditivos" (Gibson & Newsham, 2018).

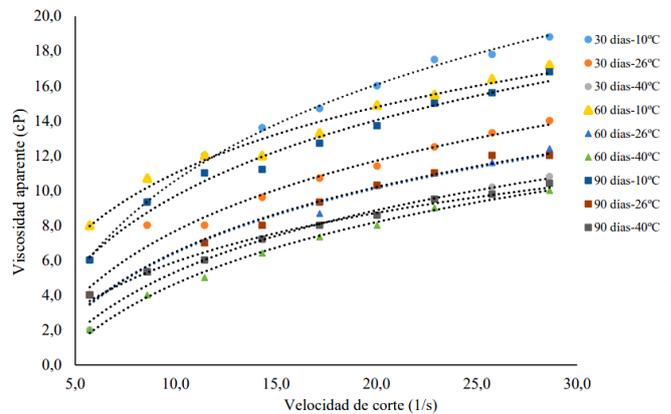


Figura 6. Velocidad de corte a diferentes viscosidades aparentes. Los valores representan el promedio de tres replicas, en todos el CV <5%. (--) Son valores estimado con el modelo de ley de potencia.

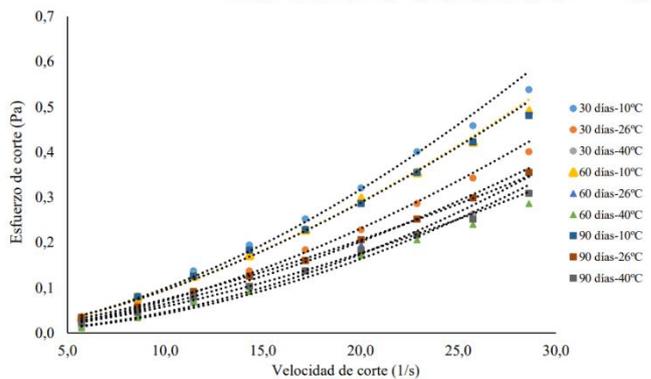
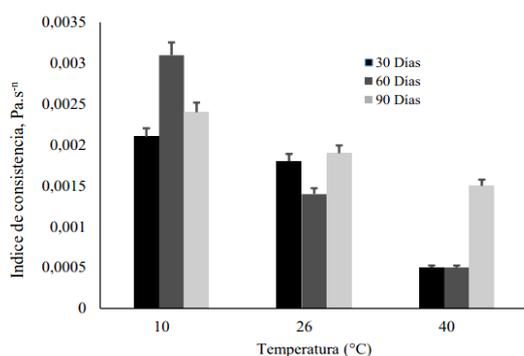


Figura 7. Velocidad de corte a diferentes esfuerzos de corte. Los valores representan el promedio de tres replicas, en todos el CV < 5%. (--) Son valores estimado con el modelo de la potencia.

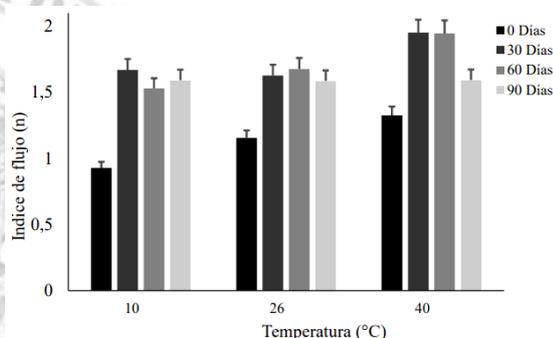
El efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento se evaluó el índice de consistencia, a diferentes temperaturas y el tiempo de almacenamiento. La temperatura ejerce una gran influencia en la viscosidad e índice de consistencia del fluido, en la Figura 8 se puede apreciar la relación

inversamente proporcional entre la temperatura y el índice de consistencia a medida que se aumenta los valores del índice de consistencia son bajos. La viscosidad de un fluido está en función de sus fuerzas intermoleculares que restringen el movimiento molecular, estas fuerzas dependen de los espacios intermoleculares, los cuales determinan el volumen libre, siendo afectado por los cambios de temperatura (Barbosa-Cánovas et al., 1993). Durante el almacenamiento el índice de consistencia tiende a variar a partir de los 30 días en los alimentos líquidos ( $p < 0,05$ ) (Yousefi et al., 2016).



**Figura 8.** Efecto de la temperatura y los días de almacenamiento en el índice de consistencia.

El índice de comportamiento de flujo también es afectado por la temperatura, en la Figura 9 se observa el comportamiento entre la temperatura y el índice de flujo, a los 40 °C este parámetro presenta diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), teniendo como resultado un fluido de comportamiento dilatante. El tiempo de almacenamiento afecta el índice de flujo porque durante el almacenado en el interior de la matriz alimenticia se origina diversas reacciones químicas de diversos macronutrientes como azúcares, polisacáridos, proteínas y lípidos son estas reacciones que originan la variación del índice de flujo.



**Figura 9.** Efecto de la temperatura y días de almacenamiento en el índice de comportamiento de flujo.

### Análisis químico proximal y microbiológico

Se determinó del tratamiento óptimo, humedad 82,43%; materia seca 17,57%; proteína 1,08%; ceniza 0,30%; acidez 0,36% en ácido acético; numeración mesófilos aerobios viables  $1 \times 10^3$  ufc/ml y numeración mohos y levaduras  $1 \times 10^3$  ufc/ml. La bebida cumple con la norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano según MINSA (2008).

### Conclusiones

Se formuló y elaboró la bebida a base de los dos subproductos agroindustrial y pecuario.

El análisis de superficie respuesta determinó la formulación óptima de la bebida en dos etapas, la primera fue evaluar en cada atributo sensorial como el color, olor, sabor y aceptabilidad global. En la segunda se realizó una mezcla óptima global y se analizó mediante superficie respuesta múltiple dando como puntos óptimos a 40% de exudado de cacao, 60 % de suero láctico y 10% de sacarosa.

La bebida es un fluido no newtoniano tipo dilatante, existe evidencias suficientes por el cual se afirma que la temperatura y los días de almacenamiento tienen efecto significativo sobre los parámetros reológicos estudiados. Los resultados del análisis químico proximal y microbiológico cumplen con la normativa vigente, por lo tanto, la bebida es apto para el consumo humano.

Los resultados reológicos determinados en la bebida de exudado de cacao y suero láctico a diferentes temperaturas y tiempos de almacenamiento pueden usarse para futuros trabajos, como parámetro de control de calidad y dimensionamiento de máquinas, equipos, tuberías, conexiones, filtros y bombas impulsoras.

### Referencias bibliográficas

- Andrade, A., & Cuenca-Nevárez, G. (2021). Application of Cocoa Mucilage (Theobroma Cacao) In the Treatment of Wastewater from the Production of Cassava Starch (*Manihot Esculenta*). *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, 25(7), 1220-1235.
- AOAC, A. o. (2016). Official Methods of Analysis. 2(20). US.
- Barbosa-Cánovas, G., Ibarz, A., & Peleg, M. (1993). Propiedades reológicas de alimentos fluidos. *Revisión Alimentaria*, 241, 39-89.
- Berk, Z. 2018. Chapter 2 - Fluid flow. In Z. Berk (Ed.), *Food Process Engineering and Technology* (Third Edition) (pp. 31-78): Academic Press.
- Callupe Loayza, J. A. (2022). Aprovechamiento de la pulpa de café (*Coffea spp*) y cáscara de naranja valencia (*Citrus sinensis*), para la elaboración de una bebida. Tesis Ingeniero Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Chefftel, J. C., Chefftel, H., & Besacon, P. (1989). Métodos de conservación. Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Zaragoza, España: Acribia.
- Chefftel, J. C., Chefftel, H., Besacon, P., & Desnuelle, P. (1980). Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos (Acrinia ed., Vol. 1). España.

- Collazos, C. (1993). La composición de alimentos de mayor consumo en el Perú. Lima: Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Nutrición.
- Corton, R., Jordan, K., Suarez, J., Gesalan, U., Carlet, C., & Valdez, A. (2022). Acceptability of *Theobroma cacao* as an Alternative Tea. *ASEAN Journal of Agriculture and Food Engineering*, 1(1), 23-28.
- Delgado-Ospina, J., Lucas-González, R., Viuda-Martos, M., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J., Martuscelli, M., & Chaves-López, C. (2021). Bioactive compounds and techno-functional properties of high-fiber co-products of the cacao agro-industrial chain. *Heliyon*, 7(4). doi:https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06799
- Domínguez, D. J. (2006). Optimización simultánea para la mejora continua y reducción de costos en procesos. *Ingeniería y Ciencia*, 4, 145-162.
- Espert, M., Salvador, A., Sanz, T., & Hernández, M. (2022). Symposium PO Section: Food Rheology (FR). Rheology (26-28 April), 117.
- FAO. (1986). Food analysis: general techniques, additives, contaminants, and composition. En: Manuals of food quality control 14/7. Food and nutrition paper, 2. Italia.
- Gibson, M., y Newsham, P. 2018. Chapter 7 - Rheology Food Science and the Culinary Arts (pp. 89-103): Academic Press.
- Goksen, G., Demir, D., Dhama, K., Kumar, M., Shao, P., Xie, F., & Lorenzo, J. (2023). Mucilage polysaccharide as a plant secretion: Potential trends in food and biomedical applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 230(1), 123146. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123146
- Gutiérrez-Macias, P., Mirón-Mérida, V., Rodríguez-Nava, C., & Barragán-Huerta, B. (2021). Cocoa: Beyond chocolate, a promising material for potential value-added products. In Valorization of Agri-Food Wastes and By-Products - Academic Press, 267-288.
- Jafari, Z., Shirazinejad, A., Hashemi, S. M., & Fathi, M. (2023). Influence of temperature, ion type, and ionic strength on dynamic viscoelastic, steady-state, and dilute-solution behavior of *Melissa officinalis* seed gum. *Journal of Food Process Engineering*, 46(8), e14363. doi:https://doi.org/10.1111/jfpe.14363
- Jaimez, R., Barragan, L., Fernández-Niño, M., Wessjohann, L., Cedeño-García, G., Sotomayor Cantos, I., & Arteaga, F. (2022). *Theobroma cacao* L. cultivar CCN 51: a comprehensive review on origin, genetics, sensory properties, production dynamics, and physiological aspects. *PeerJ*, 10, 12676. doi:https://doi.org/10.7717/peerj.12676
- Jean-Marie, E., Jiang, W., Bereau, D., & Robinson, J. (2022). *Theobroma cacao* and *Theobroma grandiflorum*: Botany, Composition and Pharmacological Activities of Pods and Seeds. *Foods*, 11(24), 3966. doi:https://doi.org/10.3390/foods11243966
- Kong, F., Tang, J., Rasco, B., & Crapo, C. (2007). Kinetics of salmon quality changes during thermal processing. *Journal of Food Engineering*, 83(4), 510-520.
- Liu, X., Song, Q., Li, X., Chen, Y., Liu, C., Zhu, X., . . . Huang, J. (2021). Effects of different dietary polyphenols on conformational changes and functional properties of protein-polyphenol covalent complexes. *Food Chemistry*, 361(1), 130071. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130071
- Manfugás, J. E. (2020). Evaluación sensorial de los alimentos. Cuba: Editorial Universitaria.
- McClements, D. (2022). Dairy Alternatives—Cheese, Yogurt, Butter, and Ice Cream. Next-Generation Plant-based Foods: Design, Production, and Properties. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-96764-2\_9
- Mehra, R., Kumar, H., Kumar, N., Ranvir, S., Jana, A., Buttar, H., & Guiné, R. (2021). Whey proteins processing and emergent derivatives: An insight perspective from constituents, bioactivities, functionalities to therapeutic applications. *Journal of Functional Foods*, 87, 104760. doi:https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104760
- MIDAGRI. (2022). Observatorio de commodities. https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/13631/1/Commodities%20Cacao\_%20abr-jun%202022.pdf
- MINSA. (2008). Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano. NTS 071- MINSA/DIGESA V.01 con RM N°591. Perú.
- Moreira-Morillo, A., Cedeño-Moreira, A., Canchingnia-Martinez, F., & Garces-Fiallos, F. (2021). Lasiodiplodia theobromae (Pat.) Griffon & Maul [(sin.) Botryodiplodia theobromae Pat] en el cultivo de cacao: síntomas, ciclo biológico y estrategias de manejo. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 653-662. doi:http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.068
- Pires, A., Marmotes, N., Rubio, O., Garcia, A., & Pereira, C. (2021). Dairy by-products: A review on the valorization of whey and second cheese whey. *Foods*, 10(5), 1067. doi:https://doi.org/10.3390/foods10051067
- Pulido, H. G., De La Vara Salazar, R., González, P. G., Martínez, C. T., & Pérez, M. D. C. T. 2012. Análisis y diseño de experimentos: McGraw-Hill.
- Quispe, W., Esenarro, D., Rodríguez, C., Veliz, M., & Cordova, G. (2021). Formulation of a Functional Lactic Drink Enriched with Different Proportions of Quinoa (*Chenopodium quinoa*). *International Journal of Food Engineering*, 7(1). doi:doi: 10.18178/ijfe.7.1.12-16
- Rayner, R. (1995). Fluid Mechanics Principles. In R. Rayner (Ed.), Pump Users Handbook (Fourth Edition) (pp. 1-22). Amsterdam: Elsevier Science.
- Severiano-Pérez, P. (2019). ¿Qué es y cómo se utiliza la evaluación sensorial?. *Inter disciplina*, 7(19), 47-68. Ciudad de México. https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2019.19.70287
- Singh, R. P., & Heldman, D. R. 2014. Chapter 2 - Fluid Flow in Food Processing. In R. P. Singh y D. R. Heldman (Eds.), Introduction to Food Engineering (Fifth Edition) (pp. 65-209). San Diego: Academic Press. Steffe, J. F. 1996. Rheological methods in food process engineering: Freeman press.
- Sirmacekic, E., Atilgan, A., Rolbiecki, R., Jagosz, B., Rolbiecki, S., Gokdogan, O., & Kocięcka, J. (2022). Possibilities of Using Whey Wastes in Agriculture: Case of Turkey. *Energies*, 15(24), 9636. doi:https://doi.org/10.3390/en15249636
- Vásquez-García, J., Santos-Pelaez, J., Malqui-Ramos, R., & Bobadilla, L. (2022). Agromorphological characterization of cacao (*Theobroma cacao* L.) accessions from the germplasm bank of the National Institute of Agrarian Innovation, Peru. *Heliyon*, 8(10), 888. doi:https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10888
- Wang, Y., & Selomulya, C. (2022). Food rheology applications of large amplitude oscillation shear (LAOS). *Trends in Food Science & Technology*, 127, 221-244. doi:https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.05.018
- Wilbanks, D., Yazdi, S., & Lacey, J. (2022). Effects of varying casein and pectin concentrations on the rheology of high-protein cultured milk beverages stored at ambient temperature. *Journal of Dairy Science*, 105(1), 72-82. doi:https://doi.org/10.3168/jds.2021-20597
- Wu, G., Hui, X., Gong, X., Tran, K., Stipkovits, L., Mohan, M., & Brennan, C. (2021). Functionalization of bovine whey proteins by dietary phenolics from molecular-level fabrications and mixture-level combinations. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 107-119.
- Yanchaguano, L., & Israel, H. (2011). Elaboración de una bebida nutritiva a partir de la pulpa de maracuyá (*Pasiflora Incarnata*), y suero láctico, en la planta procesadora de frutas y hortalizas de la Universidad Estatal de Bolívar. Universidad Estatal de Bolívar. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Escuela de Ingeniería Agroindustrial.
- Yousefi, A. R., Eivazlou, R., & Razavi, S. M. A. (2016). Steady shear flow behavior of sage seed gum affected by various salts and sugars: Time-independent properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 91, 1018-1024. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.06.046
- Zhao, Y., Wang, C., Lu, W., Sun, C., Zhu, X., & Fang, Y. (2021). Evolution of physicochemical and antioxidant properties of whey protein isolate during fibrillation process. *Food Chemistry*, 357(30), 129751. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129751