

Formulación De Polvo Para Bebida: Aprovechamiento De Subproducto De La Industria Quesera

Powdered Beverage Formulation: Utilization of a By-product from the Cheese Industry

Sauce-Guevara M.A^{a*}, Guevara-Contreras J.C^b, Guerra-Martínez A.A^{c-d}, Rosas-Gallo A^e, Muñoz Rosales A.F^f.

- a) Departamento de Ciencias Químicas y Biológicas, Universidad de Las Américas Puebla, Puebla, México. mildred.saucega@udlap.mx.
- b) Departamento de ingeniería Bioquímica, Instituto Tecnológico Superior de Atlixco, Puebla, México. juaguebiotec2018@gmail.com
- c) Laboratorio de Investigación Clínica y Ambiental, Departamento de Microbiología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.
- d) Laboratorio de Investigación en Patología Experimental, Hospital Infantil de México Federico Gómez. aguerram2300@alumno.ipn.mx
- e) Departamento de Ingeniería de Alimentos, Universidad Tecnológica de Huejotzingo, Puebla, México. anabel.rosas@uth.edu.mx
- f) Departamento de Gestión de Negocios y Proyectos, Universidad Tecnológica de Huejotzingo, Puebla, México. anabel.rosas@uth.edu.mx

RESUMEN:

La valorización del lactosuero ácido, un subproducto contaminante de la industria quesera, representa un desafío tecnológico debido a su acidez y dificultad de secado. El objetivo de este estudio fue formular una base en polvo para bebida tipo frappé utilizando lactosuero ácido de queso Oaxaca, procesado mediante secado por aspersión ($T^{\circ}_{\text{entrada}} 220^{\circ}\text{C}$, $T^{\circ}_{\text{salida}} 90^{\circ}\text{C}$). Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas y la aceptación sensorial del producto obtenido. El polvo resultante presentó un contenido de proteína de 11.17% y 78.68% de lactosa, con una humedad final del 4.5%. Se implementó un diseño factorial para la formulación de la bebida, logrando una viscosidad en el rango de 133-189 cP, adecuada para la sensación bucal deseada. La evaluación sensorial (prueba discriminativa A-No A, n=24) indicó que la formulación con mayor contenido de suero no presentó diferencias significativas ($p>0.05$) en sabor y textura respecto a una referencia comercial. Estos resultados demuestran la viabilidad técnica de reincorporar el suero ácido en la cadena alimentaria como ingrediente funcional sustentable.

PALABRAS CLAVE: Alimento, bebida, lactosuero, desperdicio, industria quesera.

ABSTRACT:

The valorization of acid whey, a polluting by-product of the cheese industry, poses a technological challenge due to its high acidity and difficult drying behavior. This study aimed to formulate a powdered base for a frappé-style beverage using acid whey from Oaxaca cheese, processed via spray drying ($T^{\circ}_{\text{inlet}} 220^{\circ}\text{C}$, $T^{\circ}_{\text{outlet}} 90^{\circ}\text{C}$). The physicochemical properties and sensory acceptance of the resulting powder were evaluated. The powder exhibited a protein content of 11.17% and 78.68% lactose, with a final moisture content of 4.5%. A factorial design was implemented for the beverage formulation, achieving a viscosity range of 133–189 cP, suitable for the desired mouthfeel. Sensory evaluation (A-Not A discriminative test, n=24) indicated that the formulation with the highest

whey content showed no significant differences ($p>0.05$) in flavor and texture compared to a commercial reference. These results demonstrate the technical feasibility of reincorporating acid whey into the food chain as a sustainable, functional ingredient.

KEYWORDS: Functional food, beverage, whey, waste, cheese industry.

INTRODUCCIÓN

La industria quesera es un sector estratégico en la agroindustria de México, destinando aproximadamente el 23% de la producción nacional de leche a la elaboración de quesos (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], s. f.). No obstante, este proceso genera grandes volúmenes de lactosuero, estimándose una producción anual superior a 2.4 millones de toneladas, de las cuales apenas el 50% es aprovechado (Mollera et al., 2013).

El vertido inadecuado de este subproducto representa un grave problema ambiental debido a su alta carga orgánica (DBO 35-45 kg/L), lo que demanda alternativas urgentes para su valorización bajo un esquema de economía circular (Dragone et al., 2009, Arango Bedoza & Sanchez e Sousa et al., 2009).

El lactosuero retiene cerca del 55% de los nutrientes de la leche, incluyendo proteínas de alto valor biológico (β -lactoglobulina, α -lactoalbúmina), lactosa y minerales (Smithers, 2008). Dependiendo del proceso de coagulación, se clasifica en dulce o ácido. El lactosuero ácido ($\text{pH} < 5.0$), subproducto típico de quesos de pasta hilada como el Oaxaca o frescos, presenta desafíos tecnológicos particulares para su industrialización. A diferencia del suero dulce, su alto contenido de ácido láctico y minerales dificulta su deshidratación, generando polvos higroscópicos que tienden a adherirse a las paredes de los equipos de secado, comprometiendo el rendimiento del proceso (Yousif. Et al., 1998). A pesar de estos retos de procesamiento, el lactosuero ácido posee un perfil sensorial idóneo para el desarrollo de bebidas refrescantes.

El mercado actual busca ingredientes que aporten funcionalidad tecnológica natural, como cuerpo, turbidez y sensación bucal cremosa, sin recurrir a hidrocoloides sintéticos (Jelen, 2011). Las proteínas del suero actúan como agentes texturizantes y emulsificantes, propiedades críticas para el desarrollo de bases para bebidas tipo frappé, donde la viscosidad y la estabilidad son atributos de calidad determinantes (Bylund, 2015). En este contexto, surge la interrogante sobre si es técnicamente viable transformar el lactosuero ácido de queso Oaxaca en un ingrediente en polvo estable sin el uso excesivo de coadyuvantes.

Se plantea la hipótesis de que el control de las variables de secado por aspersión permitirá obtener una base en polvo con propiedades fisicoquímicas y sensoriales adecuadas para su reincorporación en una bebida tipo frappé, superando las barreras de aceptación del consumidor. Por consiguiente, el objetivo de este trabajo fue desarrollar una formulación de base en polvo para bebida, valorizando lactosuero ácido mediante secado por aspersión. El alcance del estudio se centra en evaluar la viabilidad técnica del proceso de secado, caracterizar las propiedades fisicoquímicas del polvo (humedad, proteína, solubilidad) y determinar el efecto de la formulación sobre la viscosidad y la aceptación sensorial de la bebida reconstituida, ofreciendo una alternativa tecnológica para la reducción del impacto ambiental de la industria quesera local.

METODOLOGÍA

Caracterización fisicoquímica del suero

Se recolectaron muestras de lactosuero provenientes de 10 lotes de producción de queso de pasta hilada (tipo Oaxaca) y fresco (tipo Panela) en la empresa Lácteos Avick (Puebla, México). Las muestras fueron

almacenadas en refrigeración (4°C) y analizadas por triplicado. Los parámetros fisicoquímicos se evaluaron conforme a las técnicas descritas en la Tabla 1.

Análisis Proximal y Fisicoquímico

- pH y Acidez: El pH se midió directamente mediante potenciometría (Método 981.12) utilizando un potenciómetro calibrado con soluciones buffer de pH 4.0 y 7.0. La acidez titulable se determinó volumétricamente titulando 10 mL de muestra con NaOH 0.1 N y fenolftaleína como indicador, reportando el resultado como porcentaje de ácido láctico (Método AOAC 947.05).
- Humedad y Sólidos Totales: Se determinaron por el método gravimétrico de secado en estufa. Se pesaron 2 g de muestra en cápsulas a peso constante y se sometieron a secado a $105\pm 2^\circ\text{C}$ hasta peso constante, cuantificando la pérdida de peso como humedad y el residuo como sólidos totales (AOAC 925.105).
- Proteína: Se cuantificó mediante el método Kjeldahl (AOAC 920.05). La muestra fue digerida con ácido sulfúrico concentrado y catalizadores de cobre, seguida de destilación y titulación del amonio liberado. El porcentaje de nitrógeno total se multiplicó por el factor de conversión 6.38 (específico para lácteos) para obtener el contenido proteico.
- Materia Grasa: Se empleó el método butirométrico de Gerber. La muestra se trató con ácido sulfúrico ($d=1.82$) y alcohol isoamílico para separar la grasa, la cual fue cuantificada tras centrifugación a 1100 rpm durante 5 minutos en butirómetros calibrados.
- Cenizas: Se determinaron por incineración de la muestra seca en una mufla a 550°C durante 4 horas hasta obtener cenizas blancas libres de carbón (AOAC 945.05).

Análisis Microbiológico

Para garantizar la inocuidad de la materia prima, se realizó el recuento de Bacterias Mesófilas Aerobias en agar cuenta estándar incubado a $35\pm 2^\circ\text{C}$ por 48 h (NOM-092-SSA1-1994). Asimismo, se cuantificaron Bacterias Ácido-Lácticas (BAL) mediante siembra en agar MRS incubado en condiciones anaerobias a 37°C por 48-72 h.

Tabla 1

Determinación	Técnica	Referencia
Humedad	Termogravimétrica	(Secretaría de Salud, 1995)
aw (actividad de agua)	Punto de rocío en un espejo enfriado	(NORMEX, 2018)
pH	Potenciometría	(NORMEX, 2010)
Acidez	Volumetría	(AOAC 947.05 International, 1990)
Proteína	Método AOAC 920.05	(AOAC 920.05 International, 1990)
Materia grasa	Butirométrica	(AOAC 989.04 International, 1990)
Cenizas	Método AOAC 945.05 / 90	(AOAC 945.05 International, 1990)
Sólidos solubles	Método AOAC 932.12 / 90	(AOAC 932.12 International, 1990)
Sólidos totales	Método AOAC 925.105 / 90	(AOAC 925.105 International, 1990)
Bacterias ácido lácticas (BAL)	Vertido en placa	(Secretaría de Salud, 1994)
Bacterias mesófilas aerobias (BMA)	Vertido en placa	(Zhao, et al., 2003)

Métodos analíticos para la caracterización del suero.

Criterio de Selección de la Materia Prima

Se seleccionó el lactosuero ácido (proveniente de queso Oaxaca) como materia prima exclusiva debido a su representatividad en la zona de estudio, constituyendo el 95% del volumen de efluentes generados por la planta procesadora (Lácteos Avick). Aunque el suero dulce presenta mayores facilidades tecnológicas para el secado, el objetivo de este trabajo fue mitigar el impacto ambiental del residuo mayoritario, asumiendo los retos de procesamiento inherentes a su acidez y composición mineral.

Descripción de Análisis Físicoquímicos

Para la determinación de proteína, se utilizó el método Kjeldahl ($N \times 6.38$), digiriendo 1 g de muestra con ácido sulfúrico concentrado. La materia grasa se cuantificó mediante el método volumétrico de Gerber, utilizando butirómetros calibrados para suero. La acidez titulable se determinó con NaOH 0.1N usando fenolftaleína como indicador, expresando el resultado como % de ácido láctico. El contenido de sólidos totales se obtuvo por gravimetría mediante secado en estufa a 105°C hasta peso constante.

Deshidratación del suero

Para la obtención del polvo, se utilizó exclusivamente lactosuero ácido de queso Oaxaca, el cual representa el 95% de la producción de la planta. El proceso se realizó en tres etapas:

1. Pasteurización del suero: El suero fue pasteurizado a 72°C durante 15 s y enfriado inmediatamente a 15°C (choque térmico) para asegurar su inocuidad microbiológica.

2. Evaporación al vacío: Se realizó una evaporación al vacío (Rotavapor Buchi R-300, presión de vacío 20 inHg) a 60°C hasta alcanzar una concentración de sólidos del 18% (18°Brix). Se procesó un volumen total de 22 L de suero concentrado.
3. Deshidratación: El concentrado se deshidrató en un secador por aspersión a escala piloto (Buchi B-290). Las condiciones de operación fueron: temperatura de entrada del aire 220°C, temperatura de salida 90±2°C y flujo de alimentación de 30 mL/min. Cabe destacar que no se utilizaron coadyuvantes de secado (como maltodextrina) con el fin de obtener un aislado proteico puro, decisión que implica asumir pérdidas por adherencia en cámara debido a la transición vítrea de la lactosa, pero garantiza la integridad composicional del ingrediente.

Diseño experimental y formulación

La viscosidad y la aceptación sensorial son factores determinantes en bebidas tipo frappé. Para optimizar estos parámetros, se implementó un diseño factorial completo 2^3 (tres factores, dos niveles), evaluando las interacciones entre: A) Concentración de lactosuero en polvo, B) Tipo de edulcorante y C) Tipo de saborizante. Se establecieron niveles altos (+1) y bajos (-1) para cada factor, realizando el experimento por duplicado para determinar los efectos significativos sobre la viscosidad.

Los factores y sus niveles reales (% p/p en la formulación seca) fueron: A) Lactosuero en polvo: Bajo (20%) - Alto (80%); B) Edulcorante: Bajo (0.05% EDULCORANTE A) - Alto (0.01% EDULCORANTE B); C) Saborizante: Bajo (0.2% SABOR A) - Alto (1% SABOR B).

La validación estadística del modelo se realizó evaluando el Coeficiente de Determinación (R^2) y el R^2 ajustado. Se consideró un ajuste satisfactorio para valores de $R^2 > 0.85$. Asimismo, se analizó la gráfica de residuos para verificar los supuestos de normalidad y homocedasticidad, asegurando que el modelo predictivo para la viscosidad fuera robusto dentro del espacio de diseño evaluado.

Una bebida tipo frappé en polvo requiere integrar criterios fisicoquímicos y sensoriales bajo un enfoque estadístico robusto. En este estudio se aplicó un diseño factorial completo 2^3 , metodología ampliamente validada en optimización de formulaciones alimentarias, que permite evaluar efectos principales e interacciones entre factores con alta eficiencia experimental.

Se evaluaron tres factores con dos niveles cada uno:

- **A) Concentración de lactosuero en polvo** (bajo y alto % p/p)
- **B) Tipo de edulcorante** (nivel bajo: Edulcorante A; nivel alto: Edulcorante B)
- **C) Tipo de saborizante** (nivel bajo: Sabor A; nivel alto: Sabor B)

El diseño 2^3 generó ocho tratamientos experimentales, ejecutados por duplicado para mejorar la estimación del error experimental y la significancia estadística. La variable respuesta primaria fue la viscosidad aparente (medida reológicamente bajo condiciones controladas de cizalla), complementada con evaluación sensorial hedónica para aceptación global y atributos de textura y sensación en boca.

Relación entre viscosidad y percepción del sabor

La viscosidad es un atributo crítico en bebidas tipo frappé por tres razones principales:

1. **Modulación de la liberación de compuestos aromáticos**
Sistemas más viscosos reducen la movilidad de compuestos volátiles, prolongando su permanencia en cavidad oral y modulando la intensidad
2. **Sensación en boca (mouthfeel) y percepción de cuerpo**
La viscosidad contribuye directamente al “cuerpo” de la bebida. Una mayor viscosidad se asocia con mayor cremosidad y plenitud sensorial, atributos altamente valorados en bebidas tipo frappé
3. **Interacción dulzor-textura**

Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Existe evidencia de que el aumento de viscosidad puede potenciar la percepción del dulzor mediante efectos cognitivos y sensoriales cruzados (cross-modal interactions), incluso cuando la concentración de azúcares permanece constante.

Por tanto, la optimización no busca maximizar la viscosidad indiscriminadamente, sino identificar el rango óptimo que equilibre estabilidad física, facilidad de consumo y aceptación sensorial.

Interpretación esperada del diseño factorial

El análisis estadístico (ANOVA factorial) permite identificar:

- Efecto principal de la concentración de lactosuero sobre la viscosidad.
- Interacción A×B: posible modificación estructural del sistema dependiendo del tipo de edulcorante.
- Interacción A×C: influencia de la matriz proteica sobre la liberación aromática.
- Interacciones triples (A×B×C): sinergias complejas que pueden impactar simultáneamente textura y aceptación.

Este enfoque experimental es consistente con metodologías de optimización en ingeniería de alimentos y permite establecer formulaciones con respaldo estadístico robusto.

Determinación de viscosidad

Las mediciones reológicas se realizaron en un reómetro digital programable (Brookfield modelo RVDV-III) equipado con el software Rheocal y sonda de temperatura. Se utilizaron muestras de 350 mL en vasos de precipitado de 600 mL, empleando el husillo (spindle) número 4. El protocolo de medición consistió en un barrido de cizalla entre 20 y 240 rpm, con intervalos de 10 s y un tiempo de espera de 10 s entre lecturas. Para fines de este estudio y facilitar la comparación con bebidas comerciales similares, los valores de viscosidad aparente se reportan en centipoise (cP).

Análisis sensorial de la formulación en polvo para la bebida. Prueba A no A (ISO 8588:1987)

Con base en los resultados reológicos, se seleccionaron las dos formulaciones experimentales más estables (Formulación A: Nivel Alto de suero; Formulación B: Nivel Bajo). Se aplicó una prueba discriminativa "A - No A" conforme a la norma ISO 8588:1987 para determinar si existían diferencias perceptibles respecto a una referencia comercial (Bebida SX) (Zhao, et al., 2003). El panel estuvo conformado por 24 jueces no entrenados. Se presentaron las tres muestras (Referencia, A y B) codificadas aleatoriamente, registrando las frecuencias de identificación positiva.

Análisis estadístico

Los datos fisicoquímicos y de viscosidad se analizaron mediante Análisis de Varianza (ANOVA) y pruebas de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$) utilizando el software Minitab. Para la evaluación sensorial, los datos de frecuencia se analizaron mediante la prueba de Chi-cuadrada (X^2) para establecer la independencia entre las formulaciones y la percepción de los jueces respecto a la referencia comercial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la Materia Prima

El lactosuero ácido de queso Oaxaca presentó un pH de 6.41 ± 0.12 y una acidez titulable característica. A diferencia del suero dulce (Tabla 2), el suero ácido mostró un menor contenido de lactosa (4.48) y proteína

(1.25), pero una mayor concentración de grasa (0.29). Estos valores difieren ligeramente de los reportados clásicamente, lo cual puede atribuirse a las variaciones estacionales de la leche y al proceso específico de acidificación e hilado del queso Oaxaca (Rocha-Mendoza et al., 2021). A pesar de tener menor carga proteica que el suero dulce, el volumen generado (30,000 L/día) justifica su recuperación para evitar el impacto ambiental de su vertido (DBO alta).

Tabla 2

Tipo de suero / Parámetro	Suero del queso Panela (Dulce)	Suero del queso Oaxaca (Ácido)
Temperatura	20 °C	20 °C
Apariencia	Líquido verdoso turbio	Líquido Amarillento turbio
pH	6.36 ± 0.150	6.41 ± 0.124
% de grasa	0.15 ± 0.016	0.29 ± 0.062
% de proteína	1.3 ± 0.018	1.25 ± 0.029
% de lactosa	5.8 ± 0.087	4.48 ± 0.047
% de sales minerales	0.72 ± 0.09	0.75 ± 0.004
% de sólidos no grasos	7.46 ± 0.06	6.47 ± 0.04
% de sólidos totales	7.57 ± 0.04	6.76 ± 0.05
% de humedad	93.4 ± 0.071	93.24 ± 0.05

Resultados obtenidos para la caracterización fisicoquímica del lactosuero.

Proceso de Deshidratación y Balance de Masas

Se procesaron 22 L de suero concentrado (18° Brix) obteniendo 2 kg de polvo, con un tiempo de residencia de 30 min por lote. El rendimiento del 50% se explica por la ausencia de coadyuvantes de secado; la alta concentración de ácido láctico en el suero Oaxaca reduce la temperatura de transición vítrea (Tg) de la lactosa, provocando adherencia en las paredes del secador (Bhandari et al., 2013).

El polvo obtenido presentó un color amarillo crema y un contenido proteico del 11%, con una humedad final del 4.5%, cumpliendo con los estándares para polvos higroscópicos (<5%). La solubilidad y el sabor "lácteo-salado" fueron característicos de los sueros ácidos desmineralizados parcialmente.



Figura 1. Apariencia del suero deshidratado por aspersión. Se utilizó un secador Spray dryer debido a sus características que garantizan la uniformidad en el tamaño de partícula del producto (malla 40). Muestra representativa.

Tabla 3

Análisis Físicoquímico		Análisis microbiológico	
Proteína	11%	Cuenta estándar (10,000 UFC/g)	
Lactosa	78%	Hongos y levaduras	10 UFC/g
Humedad	4.5%	Coliformes	Negativo
Grasas	1%	<i>E. coli</i>	Negativo
pH (sol. 10% a 20°C)	6	Salmonella (750g)	Negativo
Acidez (sol. 10%)	.18%	<i>Estafilococos coagulasa</i>	Negativo
Cenizas	10%		
Color	Amarillo crema		
Sabor	Ligero, dulce-salado		
Olor	Lácteo		

Resultados obtenidos para la caracterización físicoquímica y microbiológica del lactosuero deshidratado

Efecto de la Formulación en la Viscosidad

El análisis de varianza (ANOVA) del diseño factorial (Tabla 4) reveló que la concentración de lactosuero (Factor C) tuvo el efecto más significativo ($p < 0.05$) sobre la viscosidad, elevándola hasta 189 cP en la interacción ABC (Niveles altos).

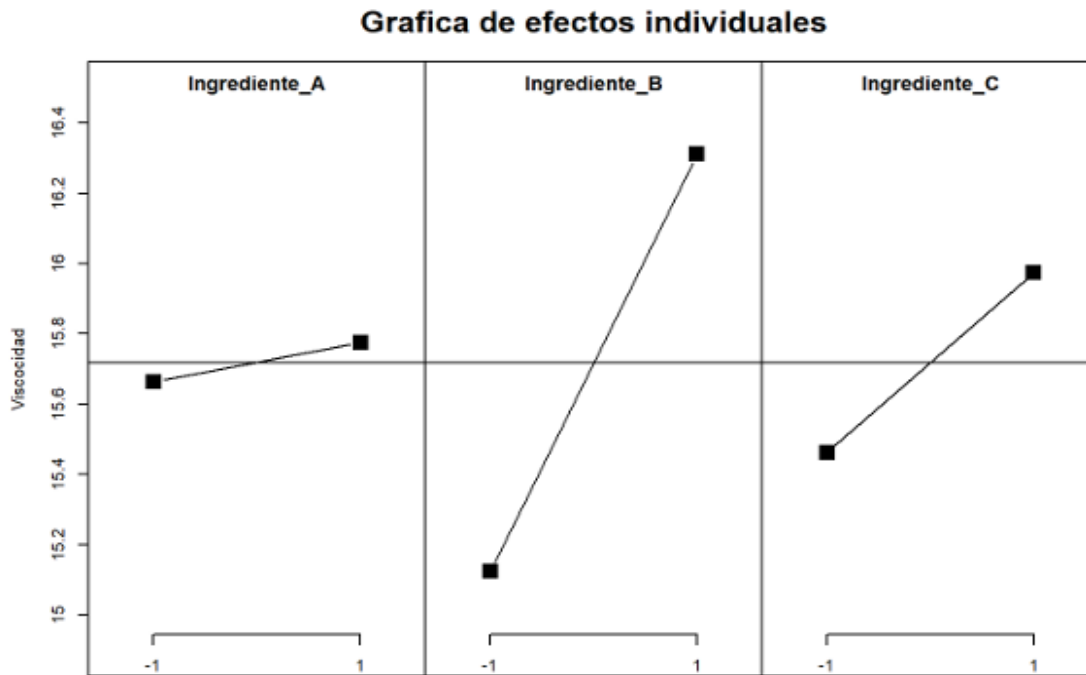
Tabla 4

Ingrediente A	Ingrediente B	Ingrediente C	Viscosidad (Expresado en cp)
-1	-1	-1	133+ 0.03
+1	-1	-1	147+ 0.06
-1	+1	-1	146+ 0.03
+1	+1	-1	143+ 0.04
-1	-1	+1	169+ 0.07
+1	-1	+1	155+ 0.06
-1	+1	+1	174+ 0.03
+1	+1	+1	189 + 0.05

Efecto de la concentración de los ingredientes A, B y C en la viscosidad de la bebida estilo frappé

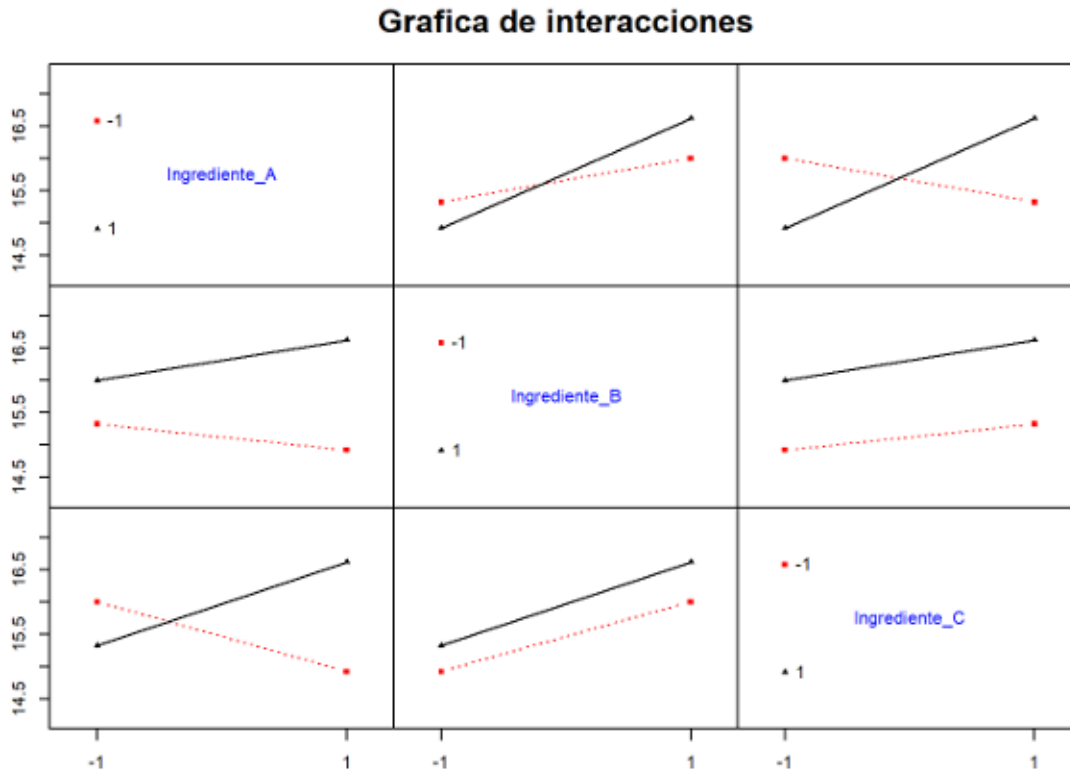
Análisis de Interacciones

Se observó una interacción positiva significativa entre el lactosuero y el edulcorante/saborizante. Mientras que el ingrediente B (Saborizante) generó variabilidad, el ingrediente C (Lactosuero) aportó estabilidad a la matriz. Esto sugiere que las proteínas del suero actúan como hidrocoloides naturales, ligando agua y creando cuerpo en la bebida, una propiedad funcional deseable en productos tipo frappé para evitar la separación de fases tras el licuado (Gráficas 1 y 2).



Gráfica 1. *Efectos individuales.* Se muestran los efectos individuales que muestra cómo los ingredientes A, B y C afectan la viscosidad de la bebida.

En el Gráfico 1 se observa que el ingrediente A tiene un efecto mínimo sobre la viscosidad, ya que la pendiente de la línea que conecta los niveles bajos (-1) y altos (1) es prácticamente plana. Esto indica que los cambios en la concentración de este ingrediente no generan variaciones significativas en la viscosidad. En contraste, el ingrediente B presenta un efecto positivo pronunciado, con un aumento notable en la viscosidad al pasar de un nivel bajo a uno alto. Sin embargo, esta variabilidad sugiere que el ingrediente B podría no proporcionar estabilidad en términos de viscosidad, lo que podría limitar su utilidad en la formulación. Finalmente, el ingrediente C también muestra un efecto positivo sobre esta propiedad, aunque con una pendiente menos pronunciada. Esto sugiere que el ingrediente C ofrece un rango más controlado y estable de viscosidad, lo cual es deseable para garantizar la consistencia en la preparación de la bebida. (Zhao, et al., 2003).



Gráfica 2. *Gráfica de interacciones.* Se muestran las interacciones en donde se evalúa cómo los ingredientes A, B y C interactúan entre sí en relación con la viscosidad de la bebida. Cada celda representa la interacción entre dos ingredientes. Se omiten los efectos individuales en la diagonal.

En el gráfico 2 se analizaron los efectos combinados de los ingredientes A, B y C. Cada celda representa la interacción entre dos ingredientes, mientras que las líneas muestran cómo cambia la viscosidad al variar los niveles de cada ingrediente (de -1 a 1). Las pendientes y paralelismos de las líneas permiten identificar interacciones significativas.

La interacción entre los ingredientes A y B muestra líneas no paralelas, lo que indica que el efecto del ingrediente B sobre la viscosidad depende del nivel del ingrediente A. De manera similar, las interacciones entre A y C, así como entre B y C, también presentan líneas no paralelas, sugiriendo que los efectos de C varían según los niveles de A y B.

Estas interacciones son relevantes para la formulación de la bebida, ya que la viscosidad final no solo depende de los efectos individuales de los ingredientes, sino también de cómo se potencian o contrarrestan entre sí. Particularmente, el ingrediente C muestra un comportamiento más estable en sus interacciones, lo que lo posiciona como un componente clave para lograr una viscosidad controlada y consistente en la bebida tipo frappé.

Formulación Final

Con base en la viscosidad, se evaluaron dos formulaciones finales (Tabla 5) mediante mezcla en seco (dry blending):

- Formulación A (Alto Suero): 98.3% Suero en Polvo, sin agentes de carga.

Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos

- Formulación B (Bajo Suero): 20% Suero en Polvo, utilizando maltodextrina (79.76%) añadida externamente como agente de carga (filler) para completar el volumen.

Tabla 5

Ingrediente	Formulación A	Formulación B
Lactosuero en polvo	98.3 %	20 %
Saborizante	1 %	0.02 %
Colorante	0.2 %	0.2 %
Edulcorante	0.5 %	0.02 %
Maltodextrina (Vehículo)	0 %	79.76 %

Formulaciones en polvo para bebida.

Evaluación Sensorial

La prueba discriminativa A-No A (Tabla 6) permitió establecer la similitud de las formulaciones experimentales con la referencia comercial. El análisis de Chi-cuadrada (X^2) reveló comportamientos opuestos entre las muestras:

- Formulación A (Alto Suero): Obtuvo un valor de $X^2 = 2.42$ con un valor $p = 0.119$. Al ser $p > 0.05$, no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, lo que indica que no hay diferencias significativas perceptibles entre la bebida de suero puro y la referencia comercial.
- Formulación B (Bajo Suero): Presentó un valor de $X^2 = 5.68$ con un valor $p = 0.017$. Dado que $p < 0.05$, se concluye que esta formulación es significativamente diferente a la referencia comercial, siendo rechazada por su perfil sensorial inferior atribuido al exceso de agentes de carga (maltodextrina).

Estos resultados demuestran que la sustitución extensiva de sólidos lácteos por agentes de carga (maltodextrina en Formulación B) altera significativamente la percepción del producto. Por el contrario, el uso mayoritario de lactosuero ácido (Formulación A) permitió replicar con éxito el perfil integral de la bebida comercial sin necesidad de enmascaradores complejos, validando la viabilidad de usar este subproducto como base estructural de la bebida.

Tabla 6

Respuestas dadas	Formulación en polvo para la bebida		
	SX (532)	Formulación A (604)	Formulación B (721)
A	19	14	11
No- A	5	10	13

Resultados de la evaluación sensorial

CONCLUSIONES

La presente investigación demostró la viabilidad técnica de valorizar el lactosuero ácido de queso Oaxaca, un subproducto regional de difícil manejo, mediante su transformación en una base en polvo para bebidas. Se logró estabilizar una matriz compleja, caracterizada por su alta acidez y contenido mineral, obteniendo un ingrediente tecnológicamente funcional capaz de aportar cuerpo y estructura a bebidas tipo frappé.

Desde la perspectiva sensorial, se comprobó que la incorporación de este suero como ingrediente mayoritario (sin dilución excesiva con agentes de carga) permite replicar el perfil de sabor y textura de bebidas comerciales. La ausencia de diferencias significativas ($p > 0.05$) entre la formulación experimental y la referencia de mercado valida el potencial del lactosuero ácido para ser reintroducido en la cadena de valor alimentaria, no solo como un relleno barato, sino como un componente estructural competente.

Sin embargo, se reconoce como principal limitación del estudio el bajo rendimiento de secado (~50%) obtenido a escala piloto. La ausencia de coadyuvantes de secado en la alimentación del atomizador, si bien permitió obtener un aislado puro, expuso la susceptibilidad del suero ácido al fenómeno de pegajosidad (stickiness) debido a la depresión de la temperatura de transición vítrea (T_g). Por lo tanto, futuras investigaciones deberán enfocarse en la optimización del proceso mediante el uso de portadores de bajo índice glucémico o la modificación del pH previo al secado, buscando un equilibrio entre la eficiencia industrial y la pureza nutricional. Este trabajo sienta las bases para pasar de un modelo lineal de desecho a un esquema de economía circular en la industria quesera local.

AGRADECIMIENTOS

M.A.S.G y A.A.G.M agradecen a CONHACYT por la beca de manutención brindada. A.A.G.M agradece al laboratorio de Investigación Clínica y Ambiental, Departamento de Microbiología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional y al Laboratorio de Investigación en Patología Experimental, Hospital Infantil de México Federico Gómez.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

J.C.G.C, por la investigación, metodología, M.A.S.G, A.A.G.M, por el análisis de datos, análisis formal, y edición, A.R.G, A.F.M.R por la revisión y conceptualización del escrito.

FINANCIACIÓN

Los autores/as declaran que no ha existido financiación para realizar este estudio.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores expresan que no existen conflictos de interés al redactar el manuscrito.

REFERENCIAS

- Arango Bedoya, O., & Sánchez e Sousa, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo UASB. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(2), 24–31.
- AOAC International. (1990). *Official methods of analysis* (15th ed., Method 920.05: Fat in meat). AOAC International.
- AOAC International. (1990). *Official methods of analysis* (15th ed., Method 925.105: Soluble solids in fruit juices). AOAC International.
- AOAC International. (1990). *Official methods of analysis* (15th ed., Method 932.12: Total fat in milk). AOAC International.
- AOAC International. (1990). *Official methods of analysis* (15th ed., Method 945.05: Protein in meat and meat products). AOAC International.
- AOAC International. (1990). *Official methods of analysis* (15th ed., Method 947.05: Moisture in meat). AOAC International.
- AOAC International. (1990). *Official methods of analysis* (15th ed., Method 989.04: Determination of ascorbic acid in foods). AOAC International.
- Bhandari, B. R., Bansal, N., Zhang, M., & Schuck, P. (Eds.). (2013). *Handbook of food powders: Processes and properties*. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857098672>
- Bylund, G. (2015). *Dairy processing handbook* (3rd ed.). Tetra Pak.
- Dragone, G., Mussatto, S. I., Oliveira, J. M., & Teixeira, J. A. (2009). Characterisation of volatile compounds in an alcoholic beverage produced by whey fermentation. *Food Chemistry*, 112(4), 929–935. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.005>
- Jelen, P. (2011). Whey processing. In J. W. Fuquay, P. F. Fox, & P. L. H. McSweeney (Eds.), *Encyclopedia of dairy sciences* (2nd ed., pp. 731–738). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00512-1>
- Mollea, C., Marmo, L., & Bosco, F. (2013). Valorisation of cheese whey, a by-product from the dairy industry, in food industry. In *Food industry*. InTech. <https://www.intechopen.com/books/food-industry/valorisation-of-cheese-whey-a-by-product-from-the-dairy-industry>
- NORMEX. (2010). NMX-F-102-NORMEX-2010, alimentos y bebidas. Determinación de proteínas en alimentos. Método de Kjeldahl.
- NORMEX. (2018). NMX-F-621-NORMEX-2018, alimentos y bebidas. Determinación de la cantidad de azúcares totales por el método de HPLC.
- Rocha-Mendoza, D., Kosmerl, E., Krentz, A., Zhang, L., Badillo-Zeferino, G., Miyagusuku-Cruzado, G., et al. (2021). Invited review: Acid whey trends and health benefits. *Journal of Dairy Science*, 104(2), 1262–1275. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19038>

Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos

- Secretaría de Salud. (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994, bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Salud. (1995). Norma Oficial Mexicana NOM-116-SSA1-1994, bienes y servicios. Determinación de humedad en alimentos por tratamiento térmico. Método por arena o gasa. Diario Oficial de la Federación. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4728942&fecha=15/08/1994
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (s. f.). Estadística de producción pecuaria: leche de bovino. http://infosiap.siap.gob.mx/anpecuario_siapx_gobmx/ResumenNacional.do
- Smithers, G. W. (2008). Whey and whey proteins—From “gutter-to-gold”. *International Dairy Journal*, 18(8), 695–704. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.03.008>
- Yousif, A. K., Abou-Eisheh, M. A., Humaid, M. A., & Tabbaa, M. J. (1998). Concentration of acidic whey and its functionality in French type bread. *International Journal of Dairy Technology*, 51(3), 72–76.
- Zhao, B., Basir, O. A., & Mittal, G. S. (2003). Correlation analysis between beverage apparent viscosity and ultrasound velocity. *International Journal of Food Properties*, 6(3), 443–448. <https://doi.org/10.1081/JFP-120020115>