



FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS

EXTRACCIÓN Y MICROENCAPSULACIÓN DEL PIGMENTO DE FRUTOS DE
“TANKAR” (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon) Y SU APLICACIÓN EN YOGUR
PROBIÓTICO

Línea de investigación:
Competitividad industrial, diversificación productiva y prospectiva

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

Autora

Sanchez Jibaja, Albiea Zenaida

Asesor

Arteaga Llacza, Pedro Pablo
ORCID: 0000-0001-9462-7370

Jurado

Geldres Benites, Zonia Gudelia
Jara Bautista, Lucio
Torres Sanchez, Doris Concesa

Lima - Perú

2025



EXTRACCIÓN Y MICROENCAPSULACIÓN DEL PIGMENTO DE FRUTOS DE "TANKAR" (Berberis flexuosa Ruiz & Pavon) Y SU APLICACIÓN EN YOGUR PROBIÓTICO

INFORME DE ORIGINALIDAD

11%	9%	3%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional Federico Villarreal Trabajo del estudiante	2%
2	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	reciena.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1%
5	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
6	Quispe Castro, Blas. "Efecto del proceso de adquisiciones menores o iguales a 8 UITs en la ejecución presupuestal de la Municipalidad Distrital de Capaso, periodos 2020-2022", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1%
7	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS

EXTRACCIÓN Y MICROENCAPSULACIÓN DEL PIGMENTO DE FRUTOS DE
“TANKAR” (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon) Y SU APLICACIÓN EN YOGUR
PROBIÓTICO

Línea de Investigación:
Competitividad industrial, diversificación productiva y prospectiva
Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Agroindustrial

Autora:
Sanchez Jibaja, Albiea Zenaida

Asesor:
Arteaga Llacza, Pedro Pablo
ORCID: 0000-0001-9462-7370

Jurado:
Geldres Benites, Zonia Gudelia
Jara Bautista, Lucio
Torres Sanchez, Doris Concesa

Lima – Perú
2025

Dedicatoria

La presente tesis dedico a mi padre Ubaldo Sanchez por haberme transmitido la fuerza de voluntad, a mi madre Lidia Jibaja por enseñarme la perseverancia, a mis hermanos por el soporte, a mis hermanitas por su motivación y a toda mi familia por siempre estar presente.

Agradecimientos

A mis padres, hermanos, hermanas y toda la familia por el esfuerzo y su valioso apoyo durante todo el proceso de la elaboración de tesis.

A los docentes de mi alma máter y de manera especial a mi asesor de tesis, Pedro Pablo Arteaga Llacza, por la motivación y orientación no solo en la etapa universitaria, sino en la elaboración de la tesis.

A la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac por permitirme el uso de sus laboratorios, de igual forma a los docentes y alumnos por su gran apoyo.

ÍNDICE

RESUMEN	i
ABSTRAC	ii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción y formulación del problema	1
1.1.1.Problema general.....	2
1.1.2.Problemas específicos	2
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Objetivos.....	7
1.3.1.Objetivo general	7
1.3.2.Objetivos específicos	7
1.4. Justificación.....	7
1.5. Hipótesis	8
1.5.1.Hipótesis general	8
1.5.2.Hipótesis específicas	8
II. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Variedad de bayas andinas en el Perú y su importancia económica	10
2.2. Clasificación taxonómica de (<i>Berberis flexuosa</i> Ruiz & Pavon).....	13
2.2.1.Descripción botánica de (<i>Berberis flexuosa</i> Ruiz & Pavon).....	13
2.2.2.Contenido proximal de (<i>Berberis flexuosa</i> Ruiz & Pavon)	15
2.3. Extracción de antocianinas	15
2.4. Yogur probiótico	15
2.4.1.Contenido proximal de yogur probiótico	17
2.5. Extracción de pigmentos de frutos asistidos por ultrasonido	18

2.6. Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) y (DCC)	19
2.6.1. Diseño de experimentos con DCC	19
2.7. Ajuste de modelos del diseño central compuesto	20
2.7.1. Modelo de Primer Orden (Lineal):	20
2.7.2. Modelo de Segundo Orden (Cuadrático):	21
III. MÉTODO	22
3.1. Tipo de investigación	22
3.1.1. Nivel de investigación	22
3.1.2. Diseño de investigación.	22
3.2. Ámbito temporal y espacial	22
3.3. Variables	22
3.3.1. Operacionalización de variables	23
3.4. Población y muestra	24
3.4.1. Población de estudio	24
3.4.2. Muestra poblacional	24
3.4.3. Muestreo	25
3.5. Instrumentos	25
3.5.1. Cuestionario escala hedónica	26
3.5.2. Validación del instrumento según ISO 8586:2012	26
3.5.3. Confiabilidad mediante la Consistencia Inter-Rater y el Coeficiente Kappa ...	27
3.5.4. Determinación de antocianinas monoméricas por diferencia de pH	28
3.5.5. Determinación de capacidad antioxidante	28
3.5.6. Determinación del contenido de humedad (H)	28
3.5.7. Determinación del contenido de ceniza porcentual en 100 g de muestra (CC). 29	
3.5.8. Determinación del contenido grasa (CG)	30

3.5.9.Determinación del contenido de proteína.....	30
3.5.10.Determinación del contenido de fibra (CF).....	31
3.5.11.Determinación de la solubilidad del micro encapsulado de “tankar”	32
3.5.12.Determinación de la higroscopicidad del micro encapsulado de “tankar”	32
3.6. Procedimientos	32
3.6.1.Extracción del pigmento	33
3.6.2.Descripción del proceso	36
3.6.3.Extracción asistida por ultrasonido	36
3.6.4.Microencapsulación por gelificación iónica del extracto de “tankar”	37
3.6.5.Aplicación de las microcápsulas del pigmento de “tankar” en yogur.....	39
3.7. Análisis de datos.....	40
3.8. Consideraciones éticas.....	41
3.8.1.Conservación de Recursos Ambientales	41
3.8.2.Conocimiento de la Comunidad Local y Consentimiento Informado	41
3.8.3.Pago equitativo y ventajas grupales	41
IV. RESULTADOS.....	42
4.1. Caracterización taxonómica de la planta “tankar”	42
4.2. Análisis proximal del fruto seco de “tankar” (<i>Berberis flexuosa</i> Ruiz & Pavon) .	42
4.3. Determinación de los parámetros óptimos en la extracción del pigmento	43
4.4. Resultados de parámetros óptimos de la extracción del pigmento.....	44
4.4.1.Análisis de las variables con respecto al rendimiento.....	45
4.4.2.Ajuste del modelo matemático para la variable rendimiento.....	47
4.5. Resultados de Microencapsulación por gelificación iónica de “tankar”	53
4.5.1.Ajuste del modelo matemático para la variable solubilidad	56
4.5.2.Ecuación general de la solubilidad.....	58

4.5.3.Maximización de la solubilidad de las microcápsulas del de “tankar”	58
4.5.4.Ajuste del modelo matemático para la variable higroscopicidad.....	62
4.5.5.Ecuación general de la higroscopicidad	63
4.5.6.La higroscopicidad de las microcápsulas del pigmento de “tankar”	64
4.6. Resultados de la aplicación de las microcápsulas de “tankar” en yogur	64
4.7. Contrastación de hipótesis	66
4.7.1.Hipótesis general	66
4.7.2.Hipótesis específicas	66
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	69
5.1. Referido a: Caracterización taxonómica de la planta “tankar”	69
5.2. Referido a: Los parámetros óptimos de extracción del pigmento de “tankar”	69
5.3. Referido a: Solubilidad e higroscopicidad del pigmento de “tankar”	71
5.4. Referido a: Aceptabilidad del yogur con microencapsulados de “tankar”	72
VI. CONCLUSIONES	74
VII. RECOMENDACIONES	75
VIII.REFERENCIAS.....	76
IX. ANEXOS	83
Anexo A. Posicionamiento taxonómico de la planta “tankar”.....	84
Anexo B. Matriz de consistencia.....	85
Anexo C. Ficha para aceptación sensorial escala hedónica.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Especies endémicas de Berberis con potencial agro comercial en el Perú.....	12
Tabla 2 Operacionalización de variables	23
Tabla 3 Materiales equipos y reactivos.....	25
Tabla 4 Variables y niveles mínimo y máximo	34
Tabla 5 Diseño central compuesto con variables codificados	34
Tabla 6 Diseño central compuesto para las tres variables independientes	35
Tabla 7 Variables y niveles mínimo y máximo	38
Tabla 8 Diseño D-optimal para las tres variables independientes	39
Tabla 9 Diseño experimental completamente al azar DCA.....	39
Tabla 10 Contenido proximal del fruto seco de Tankar (<i>Berberis flexuosa</i> Ruiz & Pavon)	42
Tabla 11 Resultados del rendimiento en la extracción de antocianinas.....	44
Tabla 12 ANOVA del modelo cuadrático del rendimiento de la extracción.....	47
Tabla 13 Coeficientes en términos de factores codificados.....	48
Tabla 14 Límites superior y inferior para la maximización del rendimiento de extracción	51
Tabla 15 Resultados de Microencapsulación por gelificación iónica.....	54
Tabla 16 ANOVA del modelo cuadrático de la solubilidad.....	56
Tabla 17 Coeficientes en términos de factores codificados.....	57
Tabla 18 Límites superior y inferior para la maximización de la solubilidad de microcápsulado de “tankar”	58
Tabla 19 ANOVA del modelo cuadrático de la higroscopicidad	62

Tabla 20 Coeficientes en términos de factores codificados.....	63
Tabla 21 Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III).....	64
Tabla 22 Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.67362.....	65
Tabla 23 Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III).....	67
Tabla 24 Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III).....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Frutos de “tankar” <i>Berberis flexuosa</i> Ruiz & Pavon.....	14
Figura 2 Zona donde se encuentra la población de estudio.....	24
Figura 3 Diseño experimental de la investigación.....	32
Figura 4 Gráfica de diseño central compuesto.....	34
Figura 5 Diagrama de flujo del proceso de extracción del pigmento de “tankar”	35
Figura 6 Diagrama de flujo de microencapsulación por gelificación iónica	37
Figura 7 Diagrama de flujo para elaboración de yogur probiótico.....	40
Figura 8 Proximal realizado al fruto seco de “tankar”.....	43
Figura 9 Rendimiento de antocianinas del fruto seco de “tankar”.....	44
Figura 10 Gráfica del ajuste del rendimiento sobre la recta	45
Figura 11 Variable concentración de solvente con respecto al rendimiento de la extracción	45
Figura 12 Variable tiempo con respecto al rendimiento de la extracción.....	46
Figura 13 Variable temperatura con respecto al rendimiento de la extracción.....	46
Figura 14 Superficie respuesta y contornos del rendimiento con respecto al tiempo y temperatura de extracción.....	49
Figura 15 Superficie respuesta y contornos del rendimiento con respecto al tiempo y concentración del solvente.....	50
Figura 16 Superficie respuesta y contornos del rendimiento de pigmento con respecto al temperatura y concentración del solvente.....	51
Figura 17 Regiones optimizadas con respecto al tiempo y temperatura de extracción ..	52
Figura 18 Regiones optimizadas con respecto al tiempo y concentración del solvente en la extracción	52

Figura 19 Regiones optimizadas con respecto a la temperatura y concentración del solvente en la extracción.....	53
Figura 20 Porcentaje de solubilidad de las microcápsulas de pigmento de “tankar”	54
Figura 21 Influencia del factor maltodextrina el porcentaje de solubilidad del pigmento microencapsulado.	55
Figura 22 Influencia del factor Alginato de sodio en el porcentaje de solubilidad del pigmento microencapsulado.	55
Figura 23 Influencia del factor cloruro de sodio en el porcentaje de solubilidad del pigmento microencapsulado	56
Figura 24 Regiones optimizadas con respecto a maltodextrina y alginato de sodio.....	59
Figura 25 Regiones optimizadas con respecto a maltodextrina y cloruro de calcio	59
Figura 26 Regiones optimizadas con respecto a alginato de sodio y cloruro de calcio..	60
Figura 27 Porcentaje de higroscopicidad las microcápsulas de pigmento de “tankar” ..	60
Figura 28 Influencia del factor maltodextrina en la higroscopicidad del pigmento microencapsulado.	61
Figura 29 Influencia del factor alginato de sodio en la higroscopicidad del pigmento microencapsulado	61
Figura 30 Influencia del factor cloruro de calcio en la higroscopicidad del pigmento microencapsulado	62
Figura 31 Gráfica del resultado de la aceptabilidad sensorial	64
Figura 32 Gráfica de la prueba de tukey.....	65

RESUMEN

Objetivo: Determinar los parámetros óptimos de extracción y microencapsulación del pigmento de frutos de “tankar” (*Berberis flexuosa Ruiz & Pavon*) y su aplicación en yogur probiótico. **Método:** MSR diseño compuesto central (DCC) para optimizar la extracción de antocianinas, el diseño D-optimal para la obtención de microcápsulas y análisis sensorial mediante diseño completamente al azar (DCA) para evaluar la aceptación del yogur probiótico pigmentado. **Resultados:** Las condiciones óptimas para la extracción del pigmento fueron 80 min. de extracción, una temperatura de 50 °C y concentración de solvente del 80 %. Bajo estas condiciones, se logró obtener hasta 204.14 mg cianidina 3-glucósido/L, principal compuesto identificado en el extracto. Para la microencapsulación, se encontró que la mejor solubilidad (96.4 %) se logró utilizando 30.11 % de maltodextrina, 3.0 % de alginato de sodio y 1.09 % de cloruro de calcio; mientras que la menor absorción de humedad, con una higroscopicidad de 4.64 %, se obtuvo con 30.75 % de maltodextrina, 4.0 % de alginato de sodio y 1.4 % de cloruro de calcio. La aplicación del pigmento microencapsulado en yogur probiótico mostró buena aceptación sensorial, siendo la dosis preferida por los panelistas de 1 g de pigmento microencapsulado por cada 50 mL de yogur. **Conclusión:** La investigación demuestra que es posible extraer y microencapsular eficientemente pigmentos de “tankar”, mejorando sus propiedades funcionales y tecnológicas, y aplicarlo satisfactoriamente en productos lácteos como pigmento natural, con alto potencial de aceptación por el consumidor.

Palabras clave: Berberis flexuosa, antocianinas, extracción, microencapsulación, pigmento natural, yogur probiótico, aceptación sensorial.

ABSTRAC

Objective: To determine the optimal parameters for the extraction and microencapsulation of the colorant from “tankar” fruits (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon) and its application in probiotic yogurt. **Method:** Response surface with central composite design (CCD) to optimize the extraction of anthocyanins, the D-optimal design for the production of microcapsules, and sensory analysis using completely randomized design (CRD) to evaluate the acceptance of the pigmented probiotic yogurt. **Results:** the optimal conditions for anthocyanin extraction were 80 minutes of extraction, a temperature of 50°C, and a solvent concentration of 80%. Under these conditions, it was possible to obtain up to 204.14 mg cyanidin 3-glucoside/L, the main compound identified in the extract. For microencapsulation, it was found that the best solubility (96.4 %) was achieved using 30.11 % maltodextrin, 3.0 % sodium alginate, and 1.09 % calcium chloride; while the lowest moisture absorption, with a hygroscopicity of 4.64 %, was obtained with 30.75 % maltodextrin, 4.0 % sodium alginate, and 1.4% calcium chloride. The application of the microencapsulated dye in probiotic yogurt showed good sensory acceptance, with the preferred dosage by the panelists being 1 g of microencapsulated dye per-50 mL of yogurt. **Conclusion:** The research demonstrates that it is possible to efficiently extract and microencapsulate pigments from Tankar, improving their functional and technological properties, and to successfully apply them in dairy products as a natural colorant, with high consumer acceptance potential.

Keywords: *Berberis flexuosa*, anthocyanins, extraction, microencapsulation, natural colorant, probiotic yogurt, sensory acceptance

I. INTRODUCCIÓN

El sector alimentario ha sido especialmente relevante para el descubrimiento de pigmentos naturales en los últimos años, ya que los consumidores desean productos más saludables y libres de aditivos sintéticos (Tzanova et al., 2024). Gracias a sus cualidades organolépticas y a su abundancia en compuestos bioactivos, los frutos de “tankar” (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon) se convierten en una posible fuente de pigmentos naturales en este contexto. Nativo de varias partes de Sudamérica, este arbusto genera frutos intensamente coloreados que han sido empleados durante mucho tiempo en la alimentación indígena. (Castro, 2024)

El objetivo de este trabajo es examinar la extracción de pigmento de los frutos de “tankar” y evaluar su uso en la fabricación de yogur probiótico. Además de sus ventajas para la salud digestiva, se sabe que los yogures probióticos ayudan a mejorar la flora intestinal. Incorporar el pigmento natural extraído de “tankar” no solo tiene como objetivo proporcionar al producto un atractivo visual, sino también mejorarlo con las cualidades antioxidantes asociadas a sus componentes bioactivos.

Mediante este estudio, se espera fomentar el uso de recursos locales, apoyar la agricultura local y preservar el legado biológico, al mismo tiempo que se ayuda al sector alimentario a crear sustitutos más sostenibles. En esta perspectiva, el trabajo actual sienta las bases para futuras investigaciones sobre este tema al explorar métodos de extracción de pigmentos y examinar cómo esto podría afectar el sabor y la calidad del yogur probiótico resultante.

1.1. Descripción y formulación del problema

La creciente conciencia sobre las consecuencias negativas de los pigmentos sintéticos en la salud y el medio ambiente ha hecho que la extracción de pigmentos naturales de fuentes vegetales sea relevante recientemente. (Martins et al., 2016)

Particularmente el fruto de “tankar” (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon), que es bien conocido por su fuerte color y cualidades organolépticas, ofrece una posible fuente útil para el sector alimentario. Sin embargo, las técnicas de extracción efectivas y consistentes que este recurso proporciona presentan grandes dificultades. (Castro, 2024)

El problema es la escasez de investigaciones exhaustivas sobre las técnicas correctas para extraer y estabilizar los pigmentos obtenidos de los frutos de “tankar”. Aunque se reconoce su potencial, es necesaria una investigación exhaustiva sobre su viabilidad y utilidad como ingrediente en productos alimenticio especialmente en el yogur probiótico, que se ha vuelto muy popular debido a sus ventajas para la salud. Además, es significativo el juego de estos pigmentos naturales con las características sensoriales y microbiológicas del yogur.

Su inclusión en el mercado se ve obstaculizada por la falta de conocimiento sobre la formulación, así como por la aceptación del cliente hacia los yogures coloreados con componentes naturales. Este estudio tiene como objetivo explorar nuevas formas de crear productos alimenticios mejores y más sostenibles mediante la búsqueda del mejor método para extraer el pigmento del “tankar” y probar cómo se puede utilizar en el yogur probiótico, lo que ayudará a abordar estos problemas. Además de mejorar el suministro de alimentos, la selección de un proceso adecuado y la evaluación de su impacto en la calidad del yogur podrían ayudar a valorar los recursos naturales locales y apoyar patrones de consumo más sostenibles.

1.1.1. Problema general

¿Será posible optimizar los parámetros de extracción y microencapsulación del pigmento de frutos de “tankar” (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon) y aplicar en yogur probiótico?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Qué posición taxonómica tendrá la planta “tankar”?
- ¿Cuáles serán los parámetros óptimos de tiempo, temperatura, porcentaje del solvente en la extracción del pigmento de frutos de “tankar” (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon)?

- ¿Cuáles serán los parámetros óptimos de solubilidad e higroscopicidad de microencapsulado del pigmento de “tankar” (*Berberis flexuosa Ruiz & Pavon*)?
- ¿Será posible determinar la aceptabilidad del yogur probiótico con microencapsulados del pigmento extraídos de “tankar” (*Berberis flexuosa Ruiz & Pavon*)?

1.2. Antecedentes

Llamuca (2018) investigó la extracción de colorantes naturales del sector alimentario a partir de la piel de uva, la mora andina y la flor de hibisco. Primero se examinó la composición de cada materia prima. Usando etanol al 90% y ácido cítrico al 0.03%, se utilizó una técnica de extracción con solvente para extraer los colorantes con cantidades de 50 gramos de materias primas tanto frescas como secas. El material seco se elaboró mediante un procedimiento de secado a 45°C. Los colorantes luego se concentraron durante aproximadamente de 1 a 2 horas a 50 ± 5 °C utilizando un Rotavapor. Se realizaron diferentes pruebas físicas, químicas y microbiológicas en los colorantes concentrados; se evaluó su uso en yogur natural. Con materias primas secas, especialmente flores de hibisco, la extracción fue más efectiva, produciendo un pigmento de antocianina soluble en agua con un pH ácido, pero no en lípidos. Las pruebas microbiológicas verificaron la seguridad de los colorantes, por lo que los hicieron aptos para su uso en alimentos. Según las pruebas de aplicación en yogur, el color final fue recibido favorablemente incluso mejor que el sabor y el aroma del producto.

Vergara (2013) señala que el tinte rojo de remolacha es ubicuo; otra fuente fresca de betalainas en los alimentos podría ser la tuna morada (*Opuntia ficus-indica*). Generalmente producidos por medios químicos, los betalainas son delicados. Este trabajo buscó utilizar la microencapsulación para proteger las betalainas del nopal tanto del jugo como del fruto. Primero, se obtuvo el jugo utilizando ciertos filtros. Después, utilizando Capsul y K4484, el jugo filtrado y la pulpa de atún se secaron al aire. La excelente encapsulación, la cantidad de betacianinas y betaxantinas recuperadas, y el resultado final fueron influenciados por la

temperatura y la cantidad de atún (jugo pulverizado o filtrado). Bajo circunstancias ideales, cada partícula producida mostró una excelente encapsulación. Los autores investigaron el daño que sufrieron las betacianinas y betaxantinas durante el almacenamiento y encontraron una tendencia clara. Finalmente, estas partículas fueron molidas en un polvo para una bebida, y se verificó la estabilidad de esta combinación. La comida rápida podría incluir estas partículas como colorantes naturales y antioxidantes.

Hernández y Recinos (2022) estudiaron cuatro variedades de pitahaya (*Hylocereus* spp.) desarrollaron un método para obtener betalainas, colorantes naturales: orejona, cebrá, lisa y rosa. Para ser empleados en el sector alimentario, buscaron métodos para reconocer y cuantificar estos colores. Inicialmente exprimieron la pulpa con un paño y luego la trataron durante media hora a baja temperatura menos de 30°C utilizando un dispositivo de sonido. Esto ayuda a eliminar el color. Lo combinaron durante una hora y luego lo colaron una vez más. Los líquidos que adquirieron se secaron para formar un polvo fino después de ser congelados a temperaturas extremadamente bajas. Utilizaron un equipo específico que mide la luz a 536 nm para determinar la concentración de betalainas especialmente betacianina. Cada gramo de pulpa tenía, según los datos, orejona (3.32 mg/g), cebrá (2.92 mg/g), lisa (3.88 mg/g) y rosa (6.02 mg/g). Con más betacianinas estaba la pitaya rosa. Aparte de las betacianinas, también investigaron las betaxantinas. Su método para separar y purificar los componentes del tinte fue HPLC. Otra prueba, la espectroscopia FTIR, verificó los habituales enlaces dobles de nitrógeno que se observan en las betalainas.

Shagñay et al. (2024) señalan que los sustitutos naturales especialmente los producidos a partir de plantas son de creciente interés. Las mayores fuentes de antocianinas los pigmentos que proporcionan el maíz morado (*Zea Mays* L.), son investigadas en este trabajo. Revisar bases de datos como Web of Science, Scopus, Scielo, Science Direct y Google Scholars ayudó a llegar a esto. La investigación encontró cuatro técnicas de extracción; la extracción sólido-

líquido resultó ser la más exitosa. Usando etanol al 20% como disolvente, la investigación muestra que los mejores parámetros para este procedimiento son: una relación de 1:100 (g ml⁻¹ de etanol L 20%), un pH de 2, una temperatura de 70°C y una duración de extracción de 30 minutos, produciendo un pigmento rojo. Una buena extracción depende del manejo del pH, el tamaño de las partículas, la duración y la temperatura.

Del Carpio (2021) investigó el disolvente ideal para eliminar antocianinas de los frutos de *B. humbertiana* y *B. boliviana*. Además, se examinó cómo la adición de extracto seco de estas dos especies cambiaba el pH, el color y la potencia antioxidante del yogur. Se utilizaron disolventes seguros, incluyendo etanol y agua, ambos con ácido cítrico, para extraer los antocianos. Se alimentaron yogures comerciales con extractos secos de ambas especies de berberis, producidos con etanol al 96% y acidificados con ácido cítrico (pH 3.5), en cantidades de 80 y 100 mg por 50 g de yogur. Los hallazgos revelaron que los yogures mantuvieron su acidez, desarrollaron un tono similar al de los yogures convencionales (con una diferencia total de color de menos de 10) y mostraron una mayor capacidad antioxidante.

Humanante (2022) investigó la posibilidad de colorear naturalmente el yogur tipo III utilizando antocianinas extraídas de flores de hibisco. Con el fin de alcanzar este objetivo, se llevó a cabo una exhaustiva búsqueda de información en sitios como Google Scholar, Scielo, DSpace ESPOCH, UTA, UTC y bases de datos mantenidas por universidades en Nicaragua, Honduras y Perú. El ochenta por ciento de los datos recopilados eran recientes, es decir, desde 2015 en adelante, aunque también se abordaron datos anteriores. Las tablas de Excel y Word permiten organizar los datos cronológicamente para facilitar el análisis. Utilizando la técnica de Soxhlet, se extrajeron los antocianos y se demostró que eran más exitosos que la maceración y la centrifugación. Las pruebas de sabor encontraron que los consumidores del yogur tuvieron una aceptación satisfactoria; más de la mitad de ellos expresaron preferencia. El yogur debe mantenerse refrigerado y con un pH entre 4.0 y 4.6 si se quiere conservar su color. La creación

final mantuvo su sabor y apariencia natural. Finalmente, con la aceptación popular, los antocianos pueden ser un sustituto aceptable para colorear el yogur. Una técnica de extracción eficaz mencionada es el método Soxhlet. Se aconseja seguir investigando para sustituir este u otro pigmento natural por colores sintéticos.

Gonzalez (2021) estudió a partir de los antocianos encontrados en estas uvas, que proporcionan atractivos tonos púrpuras y rojos, investigó la posibilidad de producir un tinte natural para el sector lácteo. El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de Química Industrial de la Universidad Mayor de San Andrés. La investigación muestra que el alcohol etílico es el disolvente más efectivo para producir la máxima concentración de antocianinas mediante un procedimiento de Soxhlet utilizando varios líquidos, extrayendo así el pigmento natural. Asegurar la calidad, el rendimiento, la seguridad y la efectividad del producto terminado depende de definir una técnica de extracción consistente. Se utilizó espectrofotometría UV-Visible para medir el contenido de antocianinas de los extractos de uva silvestre, revelando así la cianidina-3-glucósido. Diez personas en un panel evaluaron el tinte en muestras de yogur natural utilizando diferentes concentraciones de extracto de uva silvestre (*Cissus verticillata*) para encontrar el nivel ideal que preservara el color de manera más exitosa. Las muestras de yogur con tinte de uva silvestre se compararon visualmente con yogures comerciales de fresa, uno con tinte natural de cochinilla y el otro con tinte sintético, para evaluar su tonalidad. Debe quedar claro que esta investigación se centró únicamente en el color y no en la creación de un nuevo yogur. Se midieron el pH, °Brix y la acidez del yogur natural con colorante de uva silvestre, así como los yogures de referencia con colores naturales y sintéticos después de 30 días de almacenamiento a 5°C. No se pudo descubrir ni una bacteria de *E. coli*, moho ni levadura en las muestras examinadas.

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo general*

Evaluar los parámetros óptimos de extracción y microencapsulación del pigmento de frutos de “tankar” (*Berberis flexuosa Ruiz & Pavon*) y su aplicación en yogur probiótico

1.3.2. *Objetivos específicos*

- Caracterizar taxonómicamente la planta “tankar”
- Determinar los parámetros óptimos de tiempo, temperatura, porcentaje del solvente en la extracción del pigmento de frutos de “tankar” (*Berberis flexuosa Ruiz & Pavon*)
- Determinar los parámetros de solubilidad e higroscopicidad de microencapsulado del pigmento de “tankar” (*Berberis flexuosa Ruiz & Pavon*).
- Determinar la aceptabilidad del yogur probiótico con microencapsulados del pigmento extraído de “tankar” (*Berberis flexuosa Ruiz & Pavon*)

1.4. Justificación

En el entorno contemporáneo de la alimentación saludable y el uso de componentes naturales en el sector alimentario, el presente estudio es necesario para numerosos propósitos pertinentes. Primero, la búsqueda de sustitutos naturales que puedan satisfacer la necesidad de productos mejores y más sostenibles ha resultado de una mayor preocupación por el uso de colorantes sintéticos y aditivos artificiales (Carpio, 2021). No solo por su origen natural, sino también por su valor funcional y nutricional, la extracción de pigmentos de fuentes vegetales como los frutos de “tankar” ofrece una alternativa viable.

También existen ventajas de realizar este estudio. En primer lugar, se fomentará la creación de yogures probióticos mejorados con pigmentos naturales, lo que mejorará su atractivo visual y palatabilidad sin poner en peligro la salud del consumidor. Además, en línea con las tendencias modernas que apoyan el uso de productos funcionales, los pigmentos naturales extraídos de “tankar” pueden proporcionar cualidades antioxidantes y otros

beneficios para la salud.

Este estudio ayudará a diferentes poblaciones. En primer lugar, porque los clientes podrán encontrar productos lácteos más atractivos y de mejor calidad. En segundo lugar, los fabricantes de yogur que podrán adaptarse a la creciente demanda del mercado de alternativas naturales y saludables e innovar en sus ofertas de productos. La comunidad científica también estará interesada en ello, ya que incluirá información sobre las posibilidades de los frutos “tankar”, apoyando así el área de investigación de productos naturales y su implementación en el sector alimentario.

Desde las empresas alimentarias que intentan diversificar sus líneas de productos hasta los consumidores conscientes de la salud que buscan mejores opciones, los usuarios de esta investigación abarcan un amplio espectro. De manera similar, los hallazgos podrían motivar nuevas iniciativas o investigaciones sobre el uso de pigmentos naturales y sus consecuencias en la salud humana por parte de organizaciones académicas y de investigación.

Finalmente, los estudios sobre la extracción de pigmento de los frutos de “tankar” y su uso en yogur probiótico son fundamentales tanto para fomentar alternativas naturales en el negocio alimentario como para ofrecer productos que apoyen la salud y el bienestar del cliente. Este programa muestra una tendencia hacia un futuro mejor y más sostenible en la alimentación.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

Es posible determinar los parámetros óptimos para la extracción y microencapsulación del pigmento de los frutos de "tankar" (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon), y su aplicación en yogur probiótico.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Mediante el Sistema de Clasificación APG IV (2016) es factible observar la posición

taxonómica del “tankar”.

- Existen condiciones óptimas de tiempo, temperatura y porcentaje de solvente que permiten maximizar la eficiencia de extracción del pigmento de los frutos de “tankar” (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon).
- Mediante la adecuada selección de materiales y condiciones del proceso de microencapsulación, se pueden obtener microencapsulados del pigmento de “tankar” con alta solubilidad y baja higroscopicidad.
- El yogur probiótico adicionado con microencapsulados del pigmento que fue extraído de “tankar” (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon) es sensorialmente aceptado por los consumidores.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Variedad de bayas andinas en el Perú y su importancia económica

La investigación sobre el valor económico de las bayas andinas en Perú expone un panorama variado y en expansión en el que diferentes estudios abordan tanto el potencial de estas frutas como su influencia en el crecimiento social y económico de la nación. En primer lugar, Ramírez (2013) subraya el valor nutricional y cultural de las bayas andinas, así como la necesidad de planes de comunicación para aumentar su consumo y generar demanda. Esta estrategia enfatiza la necesidad del legado cultural y la biodiversidad en la evaluación de bienes como las bayas, que son vitales para los productores locales y su entorno.

Chávez (2014) explora la cocona como una fruta sustituta con cualidades nutritivas y una industrialización sencilla, complementando así este punto de vista. Su investigación enfatiza la posibilidad de exportación y la creciente demanda mundial, destacando así las posibilidades de las bayas andinas para apoyar el crecimiento económico regional.

El descubrimiento de mercados en los Estados Unidos y la Unión Europea enfatiza la necesidad de diversidad en la producción agrícola peruana, en Castillo (2017) ofrece una perspectiva más amplia al examinar redes de conocimiento en estudios sobre bienes indígenas como la maca y el Camu Camu. Esta investigación subraya cómo la diversidad biológica del Perú puede ser un motor de crecimiento social y económico, por lo tanto, fomentando el biocomercio como un enfoque sostenible para el uso de los recursos naturales. El autor argumenta que la consolidación del biocomercio requiere mejorar la investigación y coordinar a los productores, lo cual es esencial para aumentar la presencia de las bayas andinas en el mercado mundial. Méndez (2018) enfatiza el comercio justo en el sector agrícola, destacando cómo este enfoque puede cambiar la producción de cultivos, especialmente los frutos del bosque. Los estudios revelan que los agricultores pueden ganar mucho dinero gracias al desarrollo en marketing y métodos agrícolas, lo que apoya la relevancia económica de las bayas

en la zona. Proporcionan un estudio sobre las exportaciones de arándanos, destacando la expansión exponencial de Perú en este cultivo desde su llegada en 2010.

Su investigación muestra que el desarrollo de esta industria depende de la asistencia y promoción del gobierno, por lo que las bayas andinas pueden ayudar a posicionarse en los mercados mundiales e impulsar el desarrollo económico nacional. Analizando los elementos que influyen en las exportaciones de arándanos, Fuentes y Huarcaya (2019) proponen la necesidad de un estudio para aumentar la producción y la competitividad. Asegurar el éxito de las bayas andinas en el comercio mundial depende fundamentalmente de este énfasis en la invención y la adaptación de variantes a las circunstancias locales. Por último, Vargas (2020) señala el potencial de la región de Amazonas para cultivar bayas y cree que la producción de arándanos allí ofrece una gran posibilidad económica. Su estudio de los patrones de consumo y la identificación de mercados clave respaldan la teoría de que las bayas andinas no solo son vitales desde un nivel nutricional, sino también la base para un crecimiento económico sostenido en Perú. Estos estudios, tomados en conjunto, demuestran la importancia de las bayas andinas en la economía peruana, su posible valor de exportación y su función en el apoyo a las poblaciones cercanas.

Tabla 1

Especies endémicas de Berberis con potencial agro comercial en el Perú

Nombre científico	Nombre común	Presencia en Regiones	Altitud (msnm)
<i>Berberis armata</i> Citerne	Desconocido	Cusco	Desconocido
<i>Berberis barbeyana</i> C.K. Schneid	Desconocido	Amazonas	3200-550
<i>Berberis beauverdiana</i> C.K. Schneid	Estrella	Amazonas, Cajamarca Y Piura	2050-2700
<i>Berberis buceronis</i> J.F. Macbr	Estrella, palo amarillo	Cajamarca, La Libertad	2000-2650
<i>Berberis citernei</i> Ahrendt	Desconocido	Sin Datos	Desconocida
<i>Berberis cliffortioides</i> Diels	Desconocido	Cusco, Junín Y Pasco	3330-4200
<i>Berberis dryandriphylla</i> Diels	Desconocido	Cusco	2000-2700
<i>Berberis flexuosa</i> Ruiz & Pav	Carguacasha, huacampe, Ayrampo, Tankar	Ancash, Huánuco, Junín Lima, Pasco	2500-3500
<i>Berberis hochreutineriana</i> J.F. Macbr.	Desconocido	Huánuco	3100-3200
<i>Berberis humbertiana</i> J.F. Macbr	Desconocido	Apurímac, Ayacucho Cusco	3000-4200
<i>Berberis monosperma</i> Ruiz & Pav	Desconocido	Ancash, Cajamarca, Junín, Lima Puno	3000-3300
<i>Berberis podophylla</i> C.K. Schneid	Estrella	Áncash	2000-2500
<i>Berberis tomentosa</i> Ruiz & Pav	Desconocido	Amazonas, Huánuco, Junín, pasco,	2800-3300
<i>Berberis weberbaueri</i> C.K. Schneid	Desconocido	Cajamarca, Lambayeque, La Libertad	2450-3000

Nota. El Perú alberga varias especies del género Berberidaceae que no se hallan en ningún otro lugar. Esta familia incluye 14 especies exclusivas de Perú, principalmente localizadas en la región andina según (Ulloa et al., 2006).

2.2. Clasificación taxonómica de (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon)

Pertenciente al orden Ranunculales y a la familia Berberidaceae, esta especie nativa de varios países de América del Sur, incluyendo Perú y Bolivia, es bien conocida por sus brillantes frutos escarlata de sabor agridulce. Aparte de la medicina tradicional, los frutos comestibles se utilizan en la cocina local.

Reino: Plantae

División: Angiosperm

Clase: Magnoliopsida

Orden: Ranunculales

Familia: Berberidaceae

Género: *Berberis*

Especie: *Berberis flexuosa*

2.2.1. Descripción botánica de (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon)

Según Ulloa et al. (2006) es un arbusto perenne, generalmente espinoso, que puede alcanzar una altura de hasta 3 metros. Su crecimiento tiende a ser erecto y ramificado, formando densos matorrales en su hábitat natural.

2.2.1.1 Hojas. Las hojas son alternas, simples y tienen una forma elíptica u ovada, con bordes espinosos que les dan un aspecto característico. Sus dimensiones pueden variar, pero suelen medir entre 2 a 6 centímetros de longitud. Tienen una textura coriácea y son de un color verde brillante, haciéndolas atractivas visualmente.

2.2.1.2 Flores. Las flores de *Berberis flexuosa* son pequeñas, de unos 8 a 12 mm de diámetro, y se agrupan en racimos. Presentan una coloración que puede variar entre el amarillo y el naranja, y tienen forma tubular. La época de floración varía según la región, pero generalmente ocurre en la primavera.

2.2.1.3 Frutos. Los frutos son bayas globosas de aproximadamente 1 a 2 cm de

diámetro. Tienen una apariencia brillante, de color rojo intenso y son comestibles. Contienen semillas en su interior y son muy apreciados por su sabor agrídulce, siendo utilizados en la elaboración de mermeladas y otros productos culinarios.

2.2.1.4 Raíces y Corteza. El sistema radical de *Berberis flexuosa* es fibroso y denso, lo que le permite adaptarse a suelos rocosos y bien drenados. La corteza es de un color marrón claro, y al ser rasguñada, puede liberar un color amarillento, indicando la presencia de alcaloides, que son compuestos bioactivos.

2.2.1.5 Hábitat. Esta especie se encuentra en regiones montañosas y valles húmedos, preferentemente en suelos ácidos y bien drenados. Es común en altitudes que varían entre 2,000 y 3,600 metros sobre el nivel del mar, en climas templados a fríos.

2.2.1.6 Usos. *Berberis flexuosa* tiene un importante valor cultural y económico. Sus frutos son utilizados en la gastronomía andina, y sus propiedades medicinales son aprovechadas en la medicina tradicional para tratar diversas dolencias.

Figura 1

Frutos de “tankar” (Berberis flexuosa Ruiz & Pavon)



2.2.2. Contenido proximal de (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon)

La exhaustiva investigación de Castro (2024) se centró en el contenido nutricional de *Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon, una especie de planta cuyo fruto podría tener valor nutricional y posible uso en la industria alimentaria. Los hallazgos revelaron un perfil nutricional inusual. Más específicamente, se encontró que estas bayas tenían un 1.11% de proteína, un elemento necesario para el crecimiento y mantenimiento del cuerpo. Con un 2.68%, el contenido de cenizas que refleja los minerales en la baya indica una posible fuente de micronutrientes vitales. Crucial para la salud digestiva, la fibra constituyó el 3.08% de la composición. La investigación también reveló que, mientras que los carbohidratos, la principal fuente de energía, constituían el 12.63% de las bayas, el nivel de grasa era del 1.35%.

Este estudio ofrece una base necesaria para comprender el valor nutricional de las bayas de *Berberis flexuosa* y podría ser utilizado para evaluar su posible inclusión en dietas o la creación de nuevos productos alimenticios. Además, esta información podría proporcionar una base para estudios adicionales destinados a la identificación de otros compuestos bioactivos presentes en estas bayas y sus efectos en la salud.

2.3. Extracción de antocianinas

Giusti y Wrolstad (2001) afirman que, dependiendo de su entorno de pH, las antocianinas pigmentos que colorean muchas frutas, flores y verduras pueden alterar su estructura molecular. Su absorción de luz se ve precisamente afectada por esta alteración estructural. Diferentes grados de acidez proporcionan diferentes patrones de absorción, ya que los cambios en el pH provocan cambios en la molécula de antocianina. Este cambio altera la forma en que la molécula de antocianina interactúa con la luz.

2.4. Yogur probiótico

La literatura sobre el yogur probiótico con la adición de colorantes naturales ha evolucionado significativamente a lo largo de las décadas, reflejando un creciente interés en la

funcionalidad y estética de este alimento popular. En un estudio fundamental, Brown (2010) destacó la versatilidad del yogur, no solo como un alimento saludable, sino también como una base para la incorporación de ingredientes adicionales que pueden mejorar su perfil nutricional y sensorial. La inclusión de cultivos probióticos, además de los estándares requeridos, representa un avance significativo, ya que están asociados con múltiples beneficios para la salud, sentando un precedente para futuras investigaciones sobre el impacto de estos ingredientes en las propiedades del yogur.

Sarwar et al. (2019) exploraron las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del yogur simbiótico, incorporando levadura probiótica e inulina. Sus hallazgos revelaron que la adición de inulina mejoró significativamente las características sensoriales del yogur, aunque la inclusión de la levadura *S. boulardii* afectó negativamente la textura. Este estudio sugiere que la formulación del yogur puede ser optimizada mediante la manipulación cuidadosa de los ingredientes, lo cual podría ser crucial para el desarrollo de productos más atractivos para los consumidores.

Iriondo et al. (2020) continuaron esta línea de investigación, analizando la calidad nutricional y la estabilidad del yogur que contenía fructanos tipo inulina y subproductos de bodega. Su trabajo subraya cómo la adición de colorantes naturales, como el extracto de piel de uva, no solo mejora la aceptación visual del producto, sino que también puede influir en la percepción del sabor. Este hallazgo destaca la importancia del color en las preferencias del consumidor, sugiriendo que las innovaciones en color podrían ser una estrategia de marketing efectiva.

Luzardo et al. (2021) revisaron las aplicaciones tecnológicas de los colorantes naturales en los sistemas alimentarios, destacando su capacidad para estabilizar el color durante el procesamiento. La investigación identificó varios colorantes naturales que pueden ser utilizados en yogures, abriendo nuevas posibilidades para la creación de productos atractivos

y saludables. La estabilidad de estos colorantes es esencial para el éxito comercial, ya que los consumidores buscan productos que mantengan su calidad a lo largo del tiempo.

Wijesekara et al. (2022) realizaron un estudio sobre los parámetros de calidad de los fenoles naturales en el yogur probiótico, enfatizando la importancia de los extractos de plantas en la producción de yogur coloreado. Este trabajo no solo contribuye a la comprensión de cómo los colorantes afectan la calidad sensorial y microbiológica, sino que también sugiere que las variaciones en las concentraciones de colorantes pueden dar lugar a productos diferenciados en el mercado.

Finalmente, Stoica et al. (2024) investigaron el uso de polvo de orujo de zanahoria negra como ingrediente natural en el yogur. Su estudio revela que la incorporación de ingredientes ricos en antocianinas no solo mejora el color del yogur, sino que también potencia su actividad bioactiva. Este enfoque innovador destaca el potencial de los colorantes naturales no solo para embellecer el producto, sino también para enriquecer su perfil nutricional. Juntos, estos estudios destacan la intersección de la salud, la estética y la innovación en la producción de yogur, enfatizando la importancia de los colorantes naturales y los probióticos en la formulación de productos lácteos que satisfacen las demandas contemporáneas de los consumidores.

2.4.1. Contenido proximal de yogur probiótico

Según Wijesekara et al. (2022) el yogur probiótico también contiene cultivos vivos de bacterias beneficiosas, como *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, que contribuyen a sus propiedades probióticas.

- Agua: 86%
- Proteínas: 4%
- Grasas: 3%
- Carbohidratos: 5%

- Minerales: 1%

2.5. Extracción de pigmentos de frutos asistidos por ultrasonido

Dado el movimiento hacia el uso de mejores aditivos alimentarios, la literatura académica se ha vuelto cada vez más interesante en la extracción de colorantes naturales de frutas ayudada por ondas ultrasónicas. En este sentido, la investigación de Marín y Mejía (2012) muestran que las preocupaciones sobre la seguridad alimentaria y la salud han aumentado la demanda de colorantes naturales, lo que obliga a las empresas a reemplazar los colorantes sintéticos. Este artículo investiga el uso de ácido en soluciones de extracción, enfatizando así la importancia de los colorantes naturales como aditivos alimentarios a pesar de su menor intensidad y estabilidad en comparación con los sintéticos. En un desarrollo importante, Zapata (2014) enfatiza el uso de ondas ultrasónicas para extraer colorantes naturales, lo que implica que este método puede aumentar la eficiencia del proceso. El trabajo de Mera (2015), que crea técnicas de extracción de antocianinas y compuestos fenólicos de jaborcabe utilizando tanto fluidos ultrasónicos como presurizados, equilibra este enfoque. Aunque la extracción con fluidos a presión se considera más efectiva, el potencial de las ondas ultrasónicas enfatiza que ambos métodos pueden ser útiles para adquirir moléculas bioactivas.

Enfatizando la necesidad de un estudio microbiológico para garantizar la seguridad de los alimentos, Tierra (2018) amplía la conversación al analizar la solubilidad de los colores extraídos de diversas fuentes vegetales. Esta investigación enfatiza que, aunque los colorantes naturales son más costosos, su uso es importante para garantizar la salud del consumidor.

Utilizando la cromatografía en capa fina para separar las muchas formas de antocianinas, Rosales (2019) estudia a fondo las antocianinas en el repollo rojo. La investigación llega a la conclusión de que, aunque con rendimientos inferiores a los previstos, la extracción de estos compuestos es factible, lo que plantea problemas sobre las mejores

técnicas de extracción.

Menor (2019) enfatiza la necesidad de la extracción asistida por ultrasonido en el sector alimentario al abordar el cambio de colorantes sintéticos a naturales. El trabajo de Pichardo (2019), que revela la capacidad de los pigmentos obtenidos para mostrar diferentes tonalidades dependiendo del pH, sugiriendo así posibles usos en el sector alimentario y complementando este enfoque al identificar las condiciones óptimas para la extracción de compuestos fenólicos y antocianinas.

Por fin, Lauria y Silva (2024) ofrecen un punto de vista moderno sobre la obtención de colorantes naturales, enfatizando la sostenibilidad y la valorización de los residuos alimentarios. Su estudio sobre técnicas de extracción ecológicas—que incluyen el uso de ondas ultrasónicas—sugiere que esta tecnología no solo es efectiva, sino que también fomenta el uso responsable de los recursos, complementando así la creciente demanda de mejores sustitutos en el mercado.

2.6. Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) y (DCC)

Diseñada para describir y maximizar procesos, la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) es un conjunto de enfoques matemáticos y estadísticos. RSM enfatiza la construcción de una superficie que muestra la interacción entre una o más variables de respuesta (salida) y un conjunto de variables predictoras (entrada) en lugar de solo buscar un único valor ideal. Esto ayuda a encontrar condiciones operativas óptimas y facilita un mejor conocimiento de la operación. Especialmente para modelar superficies de respuesta cuadráticas, el Diseño Compuesto Central (CCD) es un método de diseño experimental ampliamente utilizado en RMS. (Myers et al., 2016)

2.6.1. Diseño de experimentos con DCC

2.6.1.1 Puntos Factoriales. Generalmente, un diseño factorial de dos niveles, los puntos factoriales investigan las combinaciones de valores "bajos" y "altos" de las variables

predictoras. Por lo general, su codificación es -1 y +1.

2.6.1.2. Puntos Axiales (Estrella). A lo largo de cada eje, los puntos axiales también conocidos como puntos estrella se encuentran a una distancia α del centro del diseño. Para los cálculos de términos cuadráticos y la curvatura de la superficie de respuesta, son absolutamente vitales. El carácter rotacional u ortogonal del diseño depende de la elección de α .

2.6.1.3. Punto Central. El punto central se repite varias veces para estimar el error puro y mejorar la precisión de la estimación del modelo.

La estructura general de un DCC con k factores se compone de:

$$Y_{ijk\dots n} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \dots + \epsilon_{ijk\dots n} \dots\dots\dots$$

La fórmula general para el número total de experimentos (N) en un DCC es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

2.7. Ajuste de modelos del diseño central compuesto

Estimar los coeficientes de una ecuación que vincula las variables de respuesta (salidas) con las variables de diseño (entradas) es la esencia del ajuste del modelo en un Diseño Compuesto Central (DCC). La secuencia que deseas ajustar determina la forma general de la ecuación del modelo. (Montgomery et al., 1996)

2.7.1. Modelo de Primer Orden (Lineal):

Este modelo es útil cuando la respuesta es aproximadamente lineal en la región experimental.

Ecuación:

$$\hat{y} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k$$

Donde:

\hat{y} = es la respuesta predicha.

b_0 = es el intercepto (término constante).

b_i = es el coeficiente para la variable de diseño x_i . Representa el efecto lineal de la variable x_i sobre la respuesta.

x_i = es la variable de diseño i-ésima (codificada).

k = es el número de variables de diseño

2.7.2. *Modelo de Segundo Orden (Cuadrático):*

Este modelo es más flexible que el de primer orden y puede capturar curvatura en la superficie de respuesta. Es el modelo más común para DCC.

Ecuación:

$$\hat{y} = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ii} x_i^2 + \sum \sum b_{ij} x_i x_j \text{ (para } i < j \text{)}$$

Donde:

\hat{y} , b_0 , x_i , y k = tienen el mismo significado que en el modelo de primer orden.

b_{ii} = es el coeficiente cuadrático para la variable de diseño

x_i^2 = Representa el efecto cuadrático de la variable x_i sobre la respuesta.

b_{ij} = es el coeficiente de interacción entre las variables de diseño

x_i y x_j = Representa cómo el efecto de x_i sobre la respuesta depende del valor de x_j , y viceversa.

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

El estudio actual es de tipo aplicado, ya que no solo busca proporcionar información, sino también aplicaciones útiles que mejoren el valor nutricional y económico del yogur mediante la extracción de un pigmento natural y su inclusión en un producto alimenticio. Busca abordar ciertos problemas, en particular la demanda de pigmentos naturales en el sector alimentario. (Bedoya, 2020)

3.1.1. Nivel de investigación

El grado del estudio elegido sigue un patrón metodológico cuantitativo. Esto sugiere que, con el fin de identificar vínculos, probar hipótesis y proporcionar conclusiones objetivas, el estudio se concentrará en la recopilación y el análisis de datos numéricos. (Carmona y Reyes, 2020)

3.1.2. Diseño de investigación.

Se llevará a cabo utilizando un enfoque experimental que nos permitirá sacar conclusiones sobre la practicidad y eficiencia del uso del color extraído en un producto de consumo genuino, fomentando así la innovación en la industria alimentaria.

3.2. Ámbito temporal y espacial

La investigación se realizó en los laboratorios de química general y el laboratorio de procesos agroindustriales de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, y en los laboratorios de procesos agroindustriales y bioquímica de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

3.3. Variables

Variable Independiente

Extracción del pigmento de “tankar” (*Berberis flexuosa Ruiz & Pavon*)

Variable dependiente

Rendimiento y características fisicoquímicas del pigmento de “tankar” *Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon.

Variable Independiente

Microencapsulación del pigmento de “tankar” *Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon.

Variable dependiente

Solubilidad e higroscopicidad

Variable Independiente

Aplicación del microencapsulado en el yogur probiótico

Variable dependiente

Aceptación sensorial

3.3.1. Operacionalización de variables**Tabla 2**

Operacionalización de variables

Tipo de Variable	Variable	Dimensiones	Indicador
Independiente	Extracción del pigmento de “tankar”	Factores de extracción del pigmento de “tankar”	Temperatura de extracción Tiempo de extracción Concentración de solvente
Dependiente	Rendimiento	% del rendimiento	Peso del pigmento seco
Independiente	Microencapsulación del pigmento de “tankar”	Componentes microencapsulantes	Proporción de los microencapsulantes
Dependiente	Solubilidad Higroscopicidad	Comportamiento de los microencapsulantes	% de solubilidad % de higroscopicidad

Independiente	Aplicación del microencapsulado en el yogur probiótico	Formulación con microencapsulados	Peso del pigmento en cada tratamiento
Dependiente	Aceptación sensorial	Grado de pigmentación	Aceptabilidad del color

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población de estudio

La población comprende los frutos de “tankar” de la zona Atero del distrito de Pochuanca, provincia Aymaraes y departamento de Apurímac, ubicado a una altitud de 3700 m.s.n.m. con un área aproximada de 49 502.16 m² la cual está enmarcada en la Figura 2. Se consideró la población total de plantas de “tankar” tomando en cuenta aquellas que presentaban una mayor cantidad de frutos maduros.

Figura 2

Zona donde se encuentra la población de estudio



Nota. Imagen extraída del Google Earth 2025

3.4.2. Muestra poblacional

La muestra poblacional estará conformada por los frutos de “tankar” homogéneamente seleccionados.

3.4.3. Muestreo

Se llegaron a identificar 100 plantas con frutos maduros adecuados para la extracción del pigmento, se consideró el método utilizado por Ahmed (2024) el cual utiliza la fórmula para población infinita.

$$n = N * Z^2 * p * q / (e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q)$$

n: Tamaño de la muestra a calcular.

N: Tamaño de la población total.

Z: Valor de la distribución normal estándar (puntuación Z), que corresponde al nivel de confianza deseado (1.96 para un 95% de confianza).

p: Proporción esperada de la característica a estudiar (si no se conoce, se usa 0.5).

q: 1 - p (probabilidad complementaria).

e: Margen de error deseado (expresado como decimal, por ejemplo, 0.05 para un 5%).

Del cálculo aplicado arrojó un valor de 79 plantas de las cuales se recolectarán los frutos que se encuentran en condiciones de maduración óptima, obteniendo 10 kg.

3.5. Instrumentos

Tabla 3

Materiales equipos y reactivos

Materiales	Equipos	Reactivos
- Capsulas	- Desecador	- Agua destilada
- Crisol	- Mufla	- Etanol
- Pinzas	- Estufa	- Ácido cítrico
- Guantes	- Reverbero	- Buffer
- Cronometro	- Balanza analítica	
- Balón de aforo de 1000ml,	- Secador en bandeja tipo armario	
- 500ml,100ml,50ml	- Soxhlet	
- Probeta	- Balanza analítica	
- Embudo	- Rotavapor	
- Vasos de precipitación 50 ml, 100ml	- pH-metro	
- Papel de aluminio	- Refractómetro	
	- Sonicator Elma	

- Pipetas	- Espectrofotometría
- Envases color ámbar	UV-VIS
- Papel filtro Whatman N°1	- Espectrofotometría Infrarrojo
- Tamiz	- Congelador de 4 a 6 °C
	- Agitador magnético
	- Rotapavor R-215

3.5.1. Cuestionario escala hedónica

Para evaluar las cualidades sensoriales del yogur probiótico con el pigmento tomado de “tankar”, se desarrolló un cuestionario de escala hedónica de 7 puntos. Este cuestionario preguntó sobre la aceptación general del producto de yogur en vista del pigmento “tankar”.

1. Muy desagradable
2. Desagradable
3. Ligeramente desagradable
4. Neutral
5. Ligeramente agradable
6. Agradable
7. Muy agradable

3.5.2. Validación del instrumento según ISO 8586:2012

3.5.2.1 Identificación de Atributos.

La calidad sensorial en términos de aceptación general del producto de yogur probiótico con pigmento de “tankar” añadido fue identificable.

3.5.2.2 Selección de Jueces.

Los jueces fueron elegidos utilizando ciertos criterios que garantizaban su capacidad requerida para detectar y caracterizar las cualidades sensoriales relevantes.

Se selecciono 30 panelistas para asegurar la representatividad y variabilidad.

3.5.2.3 Entrenamiento y Calibración.

Los panelistas recibieron una capacitación extensa que incluyó la familiarización con productos de yogur probiótico, técnicas de detección de atributos y el uso de escalas de evaluación.

Los jueces evalúan muestras de referencia durante las sesiones de calibración para garantizar que todos estén alineados en sus criterios y perspectivas de evaluación.

3.5.2.4 Pruebas de Discriminación

Utilizando técnicas que definen el umbral de detección para diversas cualidades, se realizaron pruebas para evaluar la capacidad de los jueces para detectar variaciones en las muestras de yogur probiótico.

Cada juez es enseñado a detectar variaciones minúsculas en las cualidades sensoriales.

3.5.3. *Confiabilidad mediante la Consistencia Inter-Rater y el Coeficiente Kappa*

3.5.3.1 Cálculo del Acuerdo Observado (Po):

Esto representa la proporción de coincidencias entre los jueces. Se calcula dividiendo el conteo total de evaluaciones por el conteo de coincidencias.

$$P_0 = \frac{\text{numero de coincidencias}}{\text{total de evaluaciones}}$$

3.5.3.2 Cálculo del Acuerdo Esperado (Pe):

Esto se determina por la forma en que cada juez asignó puntos. Cuenta con qué frecuencia cada juez asignó cada puntuación potencial, luego calcula el porcentaje. Luego calcula un acuerdo anticipado utilizando esas proporciones.

$$P_e = \sum (P_i \cdot q_i)$$

Donde:

P_i= Es la proporción de juicios para una puntuación dada

q_i= Es la proporción de juicios disponibles para esa misma puntuación

3.5.3.3 Cálculo del Kappa κ :

Finalmente, el coeficiente Kappa se calculó con la siguiente fórmula:

$$\kappa = \frac{P0 - Pe}{1 - Pe}$$

3.5.3.4 Interpretación de Valores de Kappa:

$\kappa < 0$: Sin acuerdo

$0 \leq \kappa < 0.20$: Acuerdo débil

$0.21 \leq \kappa < 0.40$: Acuerdo moderado

$0.41 \leq \kappa < 0.60$: Acuerdo razonable

$0.61 \leq \kappa < 0.80$: Acuerdo bueno

$0.81 \leq \kappa < 1.00$: Acuerdo casi perfecto

Con un valor kappa de 0.803 en la investigación actual, los evaluadores mostraron un gran grado de acuerdo y los jueces seguramente coincidieron en sus evaluaciones de las muestras. En consecuencia, el análisis sensorial es consistente y los evaluadores ven las cualidades sensoriales bajo evaluación de manera similar.

3.5.4. *Determinación de antocianinas monoméricas por diferencia de pH*

Se determinó mediante el método de pH diferencial propuesto por (Giusti y Wrolstad, 2001; Barragán Condori et al., 2018) el cual utilizaron para determinar la cantidad total de antocianinas disponibles. Para llevar a cabo este procedimiento, se utilizaron dos soluciones distintas: una estaba compuesta de cloruro de potasio con un pH de 1.0, mientras que la otra estaba compuesta de acetato de sodio con un pH de 4.5.

3.5.5. *Determinación de capacidad antioxidante*

Para evaluar la capacidad antioxidante de los extractos obtenidos, se empleó el reconocido método DPPH• (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), siguiendo el protocolo propuesto de Kim et al (2002).

3.5.6. *Determinación del contenido de humedad (H)*

El procedimiento se llevó a cabo de acuerdo con los criterios de la NTP No.

205.002:1979. Los materiales fueron primero triturados hasta obtener un polvo fino de manera que casi todos (99%) pudieran pasar por un tamiz de 0.841 mm (ITINTEC). Cinco gramos de este polvo fueron luego meticulosamente recolectados y pesados con precisión (hasta 0.1 mg). Cocinaron durante una hora a 130 grados en un recipiente específico. Se volvieron a pesar después de enfriarse para usar la Ecuación 1 y encontrar su contenido de agua.

$$H = \frac{M + Ma}{M} \cdot 100 \dots \dots \dots Ec. 1$$

Donde:

M= Masa de la muestra

Ma= Masa de la muestra seca

3.5.7. *Determinación del contenido de ceniza porcentual en 100 g de muestra (CC).*

Los crisoles estaban listos después de 15 minutos de calentarlos en un horno eléctrico a 600 °C. Luego se dejaron enfriar y se pesaron según las directrices de la NTP No. 205.004:1979. Luego, el crisol contenía una muestra de 5 gramos que había sido finamente molida anteriormente con una precisión excepcional—alrededor de 0.1 mg. Las cenizas se habían formado completamente ya que el peso de la muestra se mantuvo igual cuando se coció en el horno entre 575 °C y 590 °C. El material fue pesado una vez más después de enfriarse en el deshidratador. Se calculó el contenido de cenizas utilizando la siguiente fórmula:

$$CC = 100 \cdot \frac{M2 - M1}{M} \cdot \frac{100}{(100 - H)} \dots \dots \dots Ec. 2$$

Donde:

M1=Masa del crisol vacío

M2= Masa del crisol con cenizas

M= Masa de la muestra

H=Humedad

3.5.8. *Determinación del contenido grasa (CG)*

Seguimos la NTP No. 205.006:1980 para determinar el contenido de grasa. Primero pesamos diez gramos de fruta seca y triturada. Ya molido, esta muestra se colocó en papel Whatman No. 2 y se pasó por una máquina Soxhlet. Operando el equipo durante dieciséis horas, utilizamos éter etílico como disolvente. A continuación, recogemos el extracto y lo secamos durante treinta minutos a 100°C en un horno. Luego determinamos la masa del extracto enfriándolo en un deshidratador. Por último, empleamos una fórmula específica para mostrar el contenido de grasa como un porcentaje.

$$CG = \frac{100(M1 - M)}{M2} \cdot \frac{100}{(100 - H)} \dots \dots \dots Ec. 3$$

Donde:

M1= Masa del recipiente con materia grasa

M2= Masa de la muestra

M= Masa del recipiente

H=Humedad

3.5.9. *Determinación del contenido de proteína*

Se utilizó el método Kjeldahl y la técnica fue verificada según los criterios AOAC-976.05 (1990). Comenzamos pesando 0.3 g del material y colocándolo en un tubo Kjeldahl. Luego, para la digestión, añadimos 1 gramo de catalizador y 2.5 mililitros de ácido sulfúrico (H₂SO₄), variando el tiempo según el contenido de grasa de la muestra. Entre 360 y 410 grados Celsius se calentaron los tubos Kjeldahl. Durante la digestión, una trampa ayudó a eliminar los gases; este proceso persistió hasta que la muestra se volvió de color azul verdoso. La destilación consistió en añadir 50 ml de ácido bórico al 4% y 0.1 N de HCl a un matraz Erlenmeyer de 250 ml después de enfriar. El tubo de digestión que contiene la muestra se colocó en el dispositivo de destilación; luego, se añadieron cinco mililitros de agua destilada y hasta cuarenta mililitros

de NaOH al 36%. Para neutralizar el exceso de ácido bórico, finalmente titulamos con ácido clorhídrico (HCl) 0.1N. Después de eso, se calculó la concentración de nitrógeno utilizando una cierta ecuación.

$$\%CP = \frac{\text{Gasto HCL} * \text{NHCL} * \text{PmeqN2} . fv}{\text{TM(ml o g)}} . 100 \dots \dots \dots \text{Ec. 4}$$

Donde:

Pmeq= Peso en miliequivalente

TM=Tamaño de la muestra inicial

$$\% \text{ Proteína} = \%CP \times F \dots \dots \dots 5$$

F= Factor de conversión a proteínas.

3.5.10. Determinación del contenido de fibra (CF)

Basado en la NTP No. 205.003:1980, el residuo de la extracción de grasa se colocó en un vaso de precipitados de 600 cm³ y luego se le añadieron 200 cm³ de ácido sulfúrico caliente durante treinta minutos contados desde el momento en que comenzó a hervir. Usando papel de filtro, la muestra se filtró en caliente en el crisol; el residuo se lavó con agua destilada caliente hasta que el líquido de lavado fue neutro y luego se lavó con dos lotes de 100 cm³ de alcohol etílico al 99%. Después de secar en un horno a 130 °C, la muestra se dejó enfriar en un deshidratador y se pesó. Finalmente, la muestra fue calcinada en un horno de mufla hasta convertirse en ceniza blanca, enfriada en el deshidratador y luego se determinó la masa de la ceniza de fibra. Esta metodología ayuda a determinar el contenido de fibra cruda:

$$CF = 100 . \frac{Fb + C}{M} \dots \dots \dots \text{Ec. 6}$$

Donde:

CF=% de fibra

Fb= Masa de la fibra bruta

C= Masa de la ceniza de la fibra

M=Masa de la muestra

3.5.11. Determinación de la solubilidad del micro encapsulado del pigmento de “tankar”

Se realizó según el enfoque de Cano et al. (2005), que consiste en llenar un vaso de precipitados con una muestra de un gramo mezclada con cien mililitros de agua destilada. Se dedicaron cinco minutos a agitar el líquido utilizando un agitador magnético. La solución se pipeteó y se centrifugó durante 15 minutos a 3000 rpm. Después de eso, se colocaron 25 mL del líquido claro resultante en un vaso de precipitados de 50 mL y se secó a 105°C hasta que el peso se mantuvo constante. Finalmente, la variación de peso ayudó a determinar el % de solubilidad.

3.5.12. Determinación de la higroscopicidad del micro encapsulado del pigmento de “tankar”

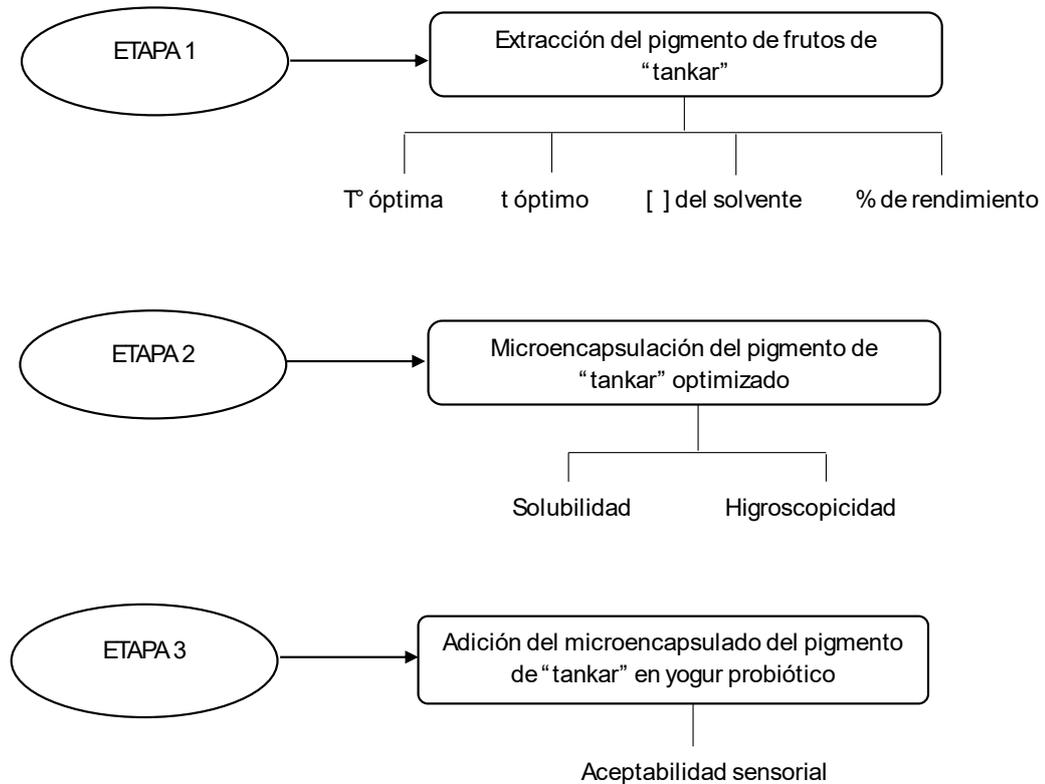
La técnica utilizada sigue a Caparino et al., (2012), pesando una muestra de 1 gramo, colocándola en un recipiente de vidrio hermético lleno de NaCl saturado (75% de humedad relativa), y manteniéndola en una cámara de incubación a 25 °C. El pesaje diario de las muestras durante una semana ayudó a alcanzar el equilibrio. La higroscopicidad expresada como un porcentaje es un gramo de humedad absorbida por cada cien gramos de sólidos secos (g/100 g).

3.6. Procedimiento

Diseñada en tres secciones principales, esta investigación bien planificada y ejecutada La Figura 2 muestra cómo estas etapas se vinculan y se construyen unas sobre otras en un orden lógico, proporcionando una imagen gráfica detallada de cada una.

Figura 3

Diseño experimental de la investigación

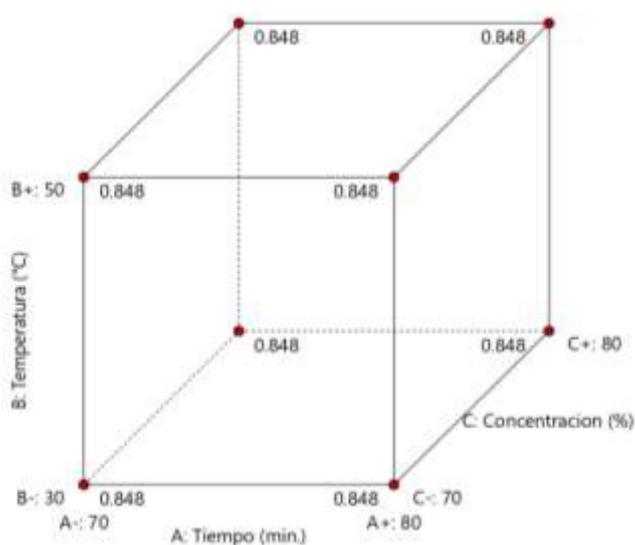


3.6.1. Extracción del pigmento

El pigmento se extrajo utilizando el enfoque modificado de Loganathan et al. (2024), que consistía en extraer con etanol al 96% acidificado con ácido fosfórico al 1%. Los frutos de “tankar” fueron extraídas de su estado crudo mediante ondas ultrasónicas. Aplicamos un sonicador ELMA de 100 W de potencia y 37 kHz de frecuencia. Previamente secadas en un horno durante 12 horas a 60°C, los frutos fueron molidas para continuar con el pesaje de 5 gramos de la muestra y combinarla con etanol acidificado; la cuantificación se realizó considerando los períodos y temperaturas sugeridos por el diseño estadístico. Para la extracción se ajustó las variables X_1 = Tiempo, X_2 = Temperatura X_3 =Concentración de etanol, utilizando la metodología de superficie respuesta mediante un diseño central compuesto.

Tabla 4*Variables y niveles mínimo y máximo*

Variables independientes	Restricciones de los niveles	
	Mínimo	Máximo
X ₁ =Tiempo de extracción (min.)	70	80
X ₂ =Temperatura de extracción(°C)	30	50
X ₃ = Concentración del solvente (%)	70	80

Figura 4*Gráfica de diseño central compuesto***Tabla 5***Diseño central compuesto con variables codificadas*

Tratamientos	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Respuesta
	Tiempo (Minutos)	Temperatura (°C)	Concentración del solvente %	Rendimiento mg de cianidina 3-glucósido/L
0	0	1.68179	0	
0	-1.68179	0	0	
0	1.68179	0	0	
1	1	1	1	
-1	-1	1	-1	
-1	1	-1	-1	
-1	-1	-1	-1	

1.68179	0	0	1.68179
1	1	-1	1
-1.68179	0	0	-1.68179
-1	1	1	-1
1	-1	1	1
1	-1	-1	1
0	0	-1.68179	0

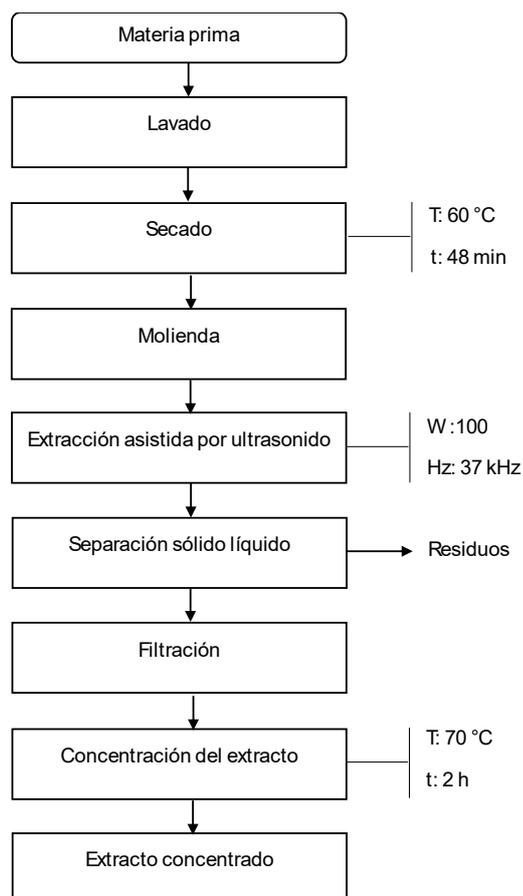
Tabla 6

Diseño central compuesto para las tres variables independientes

Tratamientos	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Respuesta
	Tiempo (Minutos)	Temperatura (°C)	Concentración del solvente %	Rendimiento mg de cianidina 3-glucósido/L
1	70	30	70	
2	80	30	70	
3	70	50	70	
4	80	50	70	
5	70	30	80	
6	80	30	80	
7	70	50	80	
8	80	50	80	
9	66.591	40	75	
10	83.409	40	75	
11	75	23.1821	75	
12	75	56.8179	75	
13	75	40	66.591	
14	75	40	83.409	

Figura 5

Diagrama de flujo del proceso de extracción del pigmento de "tankar"



3.6.2. Descripción del proceso

3.6.2.1 Lavado

los frutos se lavaron cuidadosamente con una solución de hipoclorito de sodio, eliminando así cualquier rastro de suciedad, polvo y otros contaminantes que pudieran estar presentes en su superficie.

3.6.2.2 Secado

El secado se realizó con el uso de una estufa a una temperatura de 60 °C por 48 horas.

3.6.2.3 Molienda

La molienda se llevó a cabo a mano, utilizando un mortero y un pilón.

3.6.3. Extracción asistida por ultrasonido

Se realizó ajustando la calibración de acuerdo con el diseño estadístico reportado por el software Desing Expert 13.

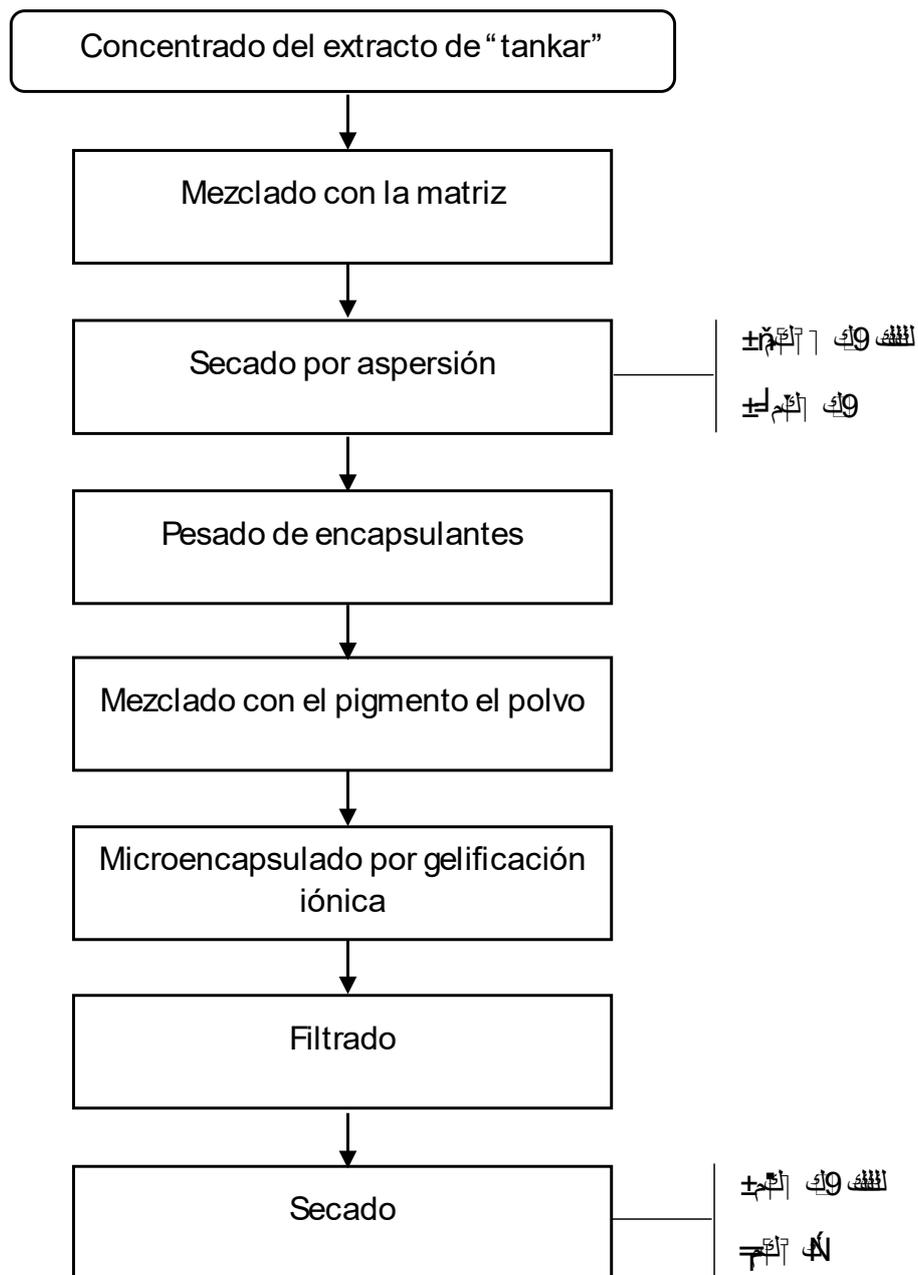
3.6.3.1 Concentración

Se realizó con el uso de un rotavapor Rotavapor® R-215 – marca Buchi a una temperatura de 70 °C por 2 horas

3.6.4. Microencapsulación por gelificación iónica del extracto de pigmento de “tankar”

Figura 6

Diagrama de flujo de microencapsulación por gelificación iónica



Nota. Ti indica la temperatura de ingreso y Ts indica la temperatura de salida.

3.6.4.1 Descripción del proceso

- Se mezcló el extracto del pigmento de “tankar” mejorado con maltodextrina, se estabilizó. Luego se secó por aspersion a una temperatura de entrada de 120 °C y una temperatura de salida de 80 °C. Esto produjo un extracto del pigmento en forma de polvo, que luego fue pesado para su posterior mezcla
- Los agentes encapsulantes, alginato de sodio y cloruro de calcio, luego fueron pesados.
- El cloruro de calcio fue guardado en un recipiente después de ser combinado con agua destilada.
- Después de colocar alginato de sodio pesado en un vaso de precipitados de 50 ml., se añadió agua destilada. El líquido se homogenizó y luego se añadió extracto de pigmento en polvo.
- Después de llenar una jeringa de 50 ml de capacidad con esta combinación, se microencapsuló utilizando la técnica de gelificación iónica, dejándola caer en la solución de cloruro de calcio reservada donde se desarrollaron las esferas de extracto del pigmento. Luego se filtró y se secó durante 12 horas a 30 °C.
- Para la microencapsulación se ajustó las variables X_1 = Maltodextrina, X_2 = Alginato de sodio X_3 =Cloruro de calcio, utilizando la metodología de superficie respuesta mediante un diseño D- optimal.

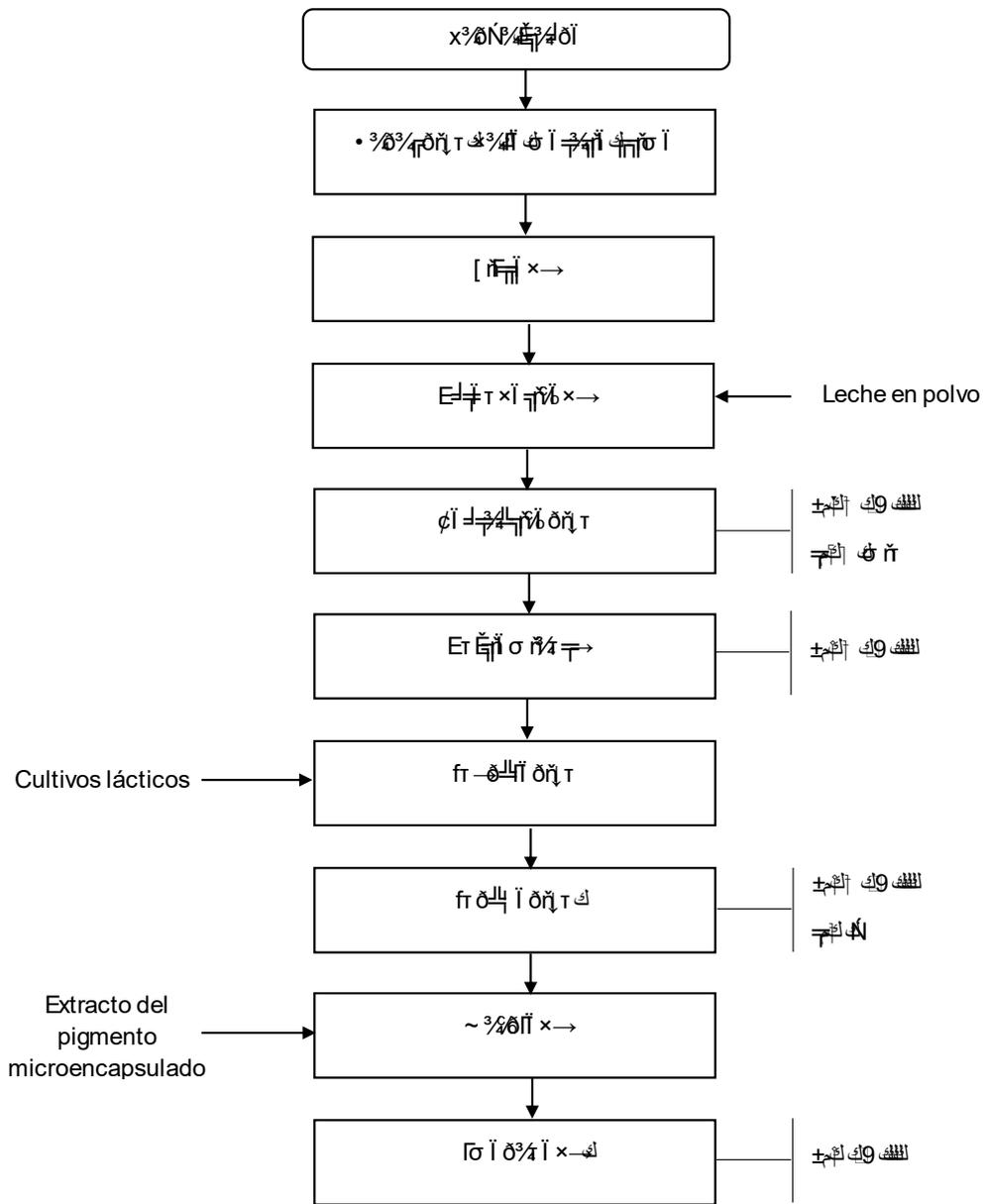
Tabla 7

Variables y niveles mínimo y máximo

Variables independientes	Restricciones de los niveles	
	Mínimo	Máximo
X_1 =Maltodextrina (%)	25	35
X_2 =Alginato de sodio (%)	3	4
X_3 = Cloruro de calcio (%)	1	1.40

Figura 7

Diagrama de flujo para elaboración de yogur probiótico



3.7. Análisis de datos

Utilizando un Diseño Compuesto Rotatorio (DCR) con el programa Design Expert 13, se encontraron los parámetros de extracción ideales del pigmento “tankar”, produciendo catorce tratamientos. El tiempo, la temperatura y la concentración del disolvente fueron las variables examinadas. La variable de respuesta clave fue mg de pigmento/g de fruta seca, el rendimiento de extracción del pigmento.

En el rendimiento de extracción, el análisis de varianza (ANOVA) resultó significativo ($p < 0.05$). Con un ajuste decente ($R^2 = [\text{Valor de } R^2]$), el modelo cuadrático producido por el DCR fue significativo ($p = 0.05$). Los mejores ajustes de extracción se encontraron mediante el análisis de superficie de respuesta.

3.8. Consideraciones éticas

Abordando rigurosamente los estándares éticos básicos para asegurar la integridad y la responsabilidad en cada nivel del proceso, la investigación actual que comprende la extracción del pigmento de los frutos de “tankar” (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon), se llevó a cabo en yogur probiótico. Los principales problemas éticos se enumeran a continuación.

3.8.1. Conservación de Recursos Ambientales

La agricultura sostenible de los frutos de “tankar” redujo el efecto ambiental en los entornos donde la planta prospera. Priorizar la recolección selectiva de frutos maduros y dejar una cantidad adecuada para la regeneración natural de la especie ayudó a minimizar el uso excesivo del recurso.

3.8.2. Conocimiento de la Comunidad Local y Consentimiento Informado

Para proceder con la recolección de los frutos de “tankar”, se obtuvo su permiso informado, de los pobladores, antes de que comenzara el proyecto. En cuanto al objetivo del estudio, las técnicas de recolección de datos y los posibles peligros y beneficios, se les proporcionó información clara y comprensible. Sus derechos y tradiciones fueron honrados para garantizar una participación justa.

3.8.3. Pago equitativo y ventajas grupales

Se informó, consultó, contrató y capacitó a los pobladores que ayudarían a la recolección. Una de las ventajas de la investigación es como generar posibilidades de empleo o ayudar en los esfuerzos de desarrollo comunitario.

IV. RESULTADOS

4.1. Caracterización taxonómica de la planta “tankar”

La muestra fue estudiada y clasificada mediante el Sistema de Clasificación APG IV (2016) la cual tiene la siguiente posición taxonómica, cuya constancia se puede encontrar en el Anexo 1.

ORDEN: Ranunculales

FAMILIA: BERBERIDACEAE

GÉNERO: Berberis

ESPECIE: Berberis flexuosa Ruiz & Pavon

Nota: Caracterización realizada por el Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

4.2. Análisis proximal del fruto seco de “tankar” (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon)

Tabla 10

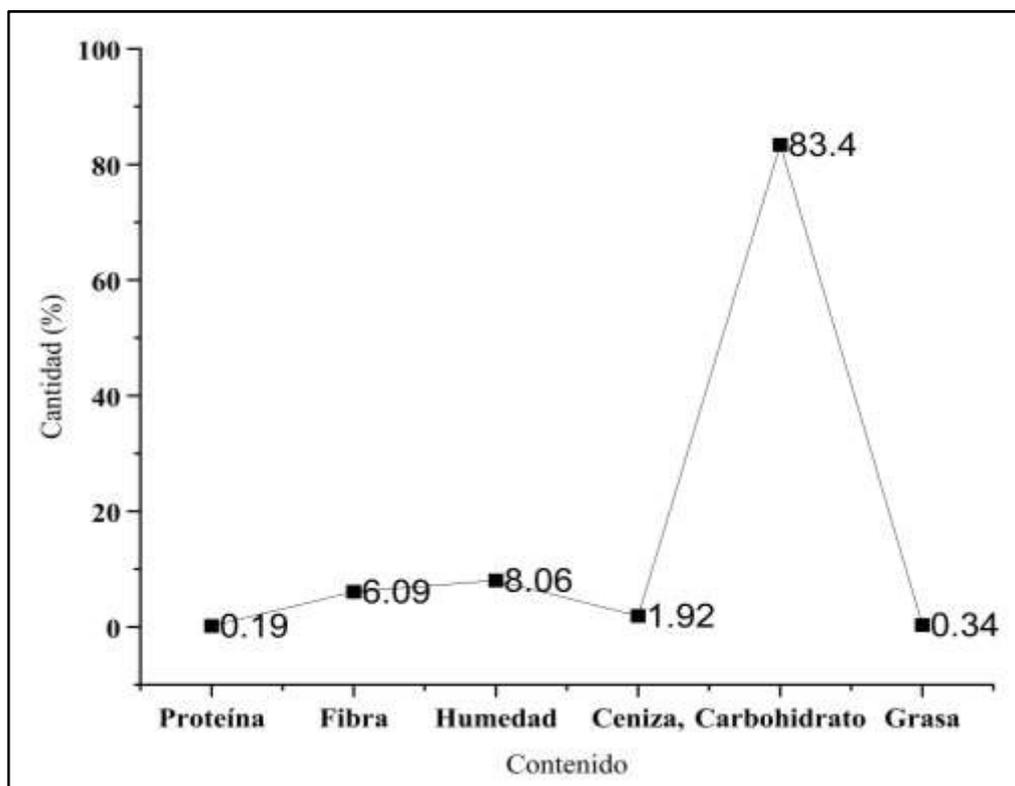
Contenido proximal del fruto seco de “tankar” (Berberis flexuosa Ruiz & Pavon)

Contenido	Unidad	Valor
Proteína	%	0.19 ± 0. 22
Fibra	%	6.09 ± 0. 45
Humedad	%	8.06 ± 0. 25
Ceniza,	%	1.92 ± 0. 53
Carbohidrato	%	83.4 ± 0. 67
Grasa	%	0.34 ± 0. 43
Capacidad Antioxidante	mg/100 g muestra	76.15 ± 0. 92

Expresado como un porcentaje del peso total, esta Tabla 10 muestra la composición química fundamental la del fruto seco de “tankar” que es aproximada. El fruto seco de “tankar” es una fuente saludable de fibra nutricional y energía, ya que tiene un contenido mínimo de proteínas y grasas, pero consiste principalmente en carbohidratos y fibra.

Figura 8

Proximal realizado al fruto seco de “tankar”



La Figura 8 muestra el componente predominante de la fruta seca de “tankar” son los carbohidratos (83.4%), seguido de la fibra (6.09%), y un bajo nivel de proteínas (0.19%) y lípidos (0.34%), según el estudio próximo sobre ella. Su bajo contenido de humedad (8.06%), que es típico de las frutas secas, y su modesto contenido de cenizas (1.92%), que indican minerales, también lo definen.

4.3. Determinación de los parámetros óptimos en la extracción del pigmento

El estudio evaluó cómo afectan tres variables del proceso de extracción tiempo, temperatura y concentración del solvente al rendimiento de antocianinas (expresadas como mg de cianidina 3-glucósido/L) extraídas de frutos secos de “tankar” (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon).

4.4. Resultados de parámetros óptimos de la extracción del pigmento

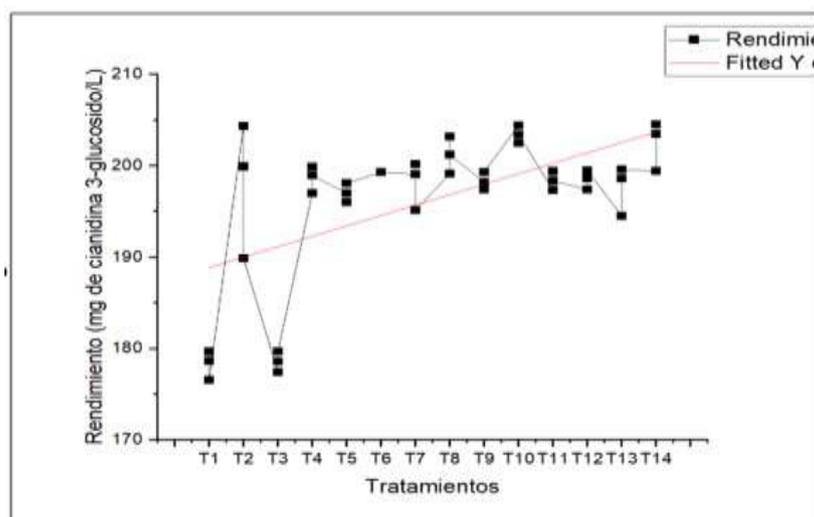
Tabla 11

Resultados del rendimiento en la extracción de antocianinas

Tratamientos	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Respuesta
	Tiempo (Minutos)	Temperatura (°C)	Concentración del solvente %	Rendimiento mg de cianidina 3-glucósido/L
1	70	30	70	178.26 ± 0.25
2	80	30	70	198.04 ± 0.021
3	70	50	70	178.56 ± 0.33
4	80	50	70	197.63 ± 0.56
5	70	30	80	197.02 ± 0.123
6	80	30	80	199.26 ± 0.45
7	70	50	80	198.12 ± 1.02
8	80	50	80	201.16 ± 0.76
9	66.591	40	75	196.3 ± 1.035
10	83.409	40	75	203.43 ± 0.67
11	75	23.1821	75	198.34 ± 0.34
12	75	56.8179	75	198.49 ± 0.67
13	75	40	66.591	197.56 ± 0.89
14	75	40	83.409	202.45 ± 0.32

Figura 9

Rendimiento de antocianinas del fruto seco de "tankar"

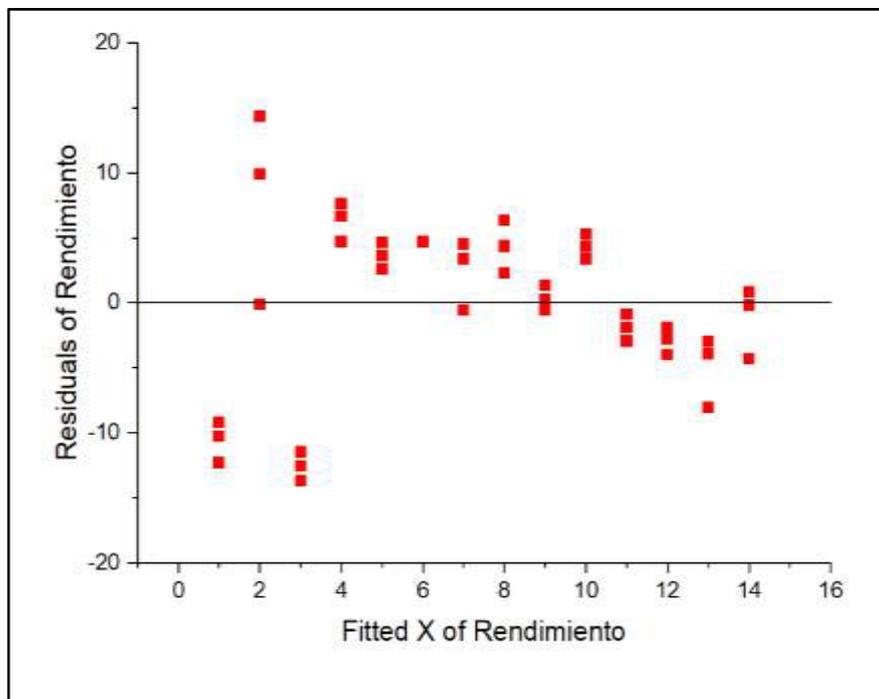


En la Figura 9 los resultados muestran que el rendimiento de antocianinas varió entre aproximadamente 178 mg de cianidina 3-glucósido/L y 203 mg de cianidina 3-glucósido/L.

dependiendo de las condiciones utilizadas.

Figura 10

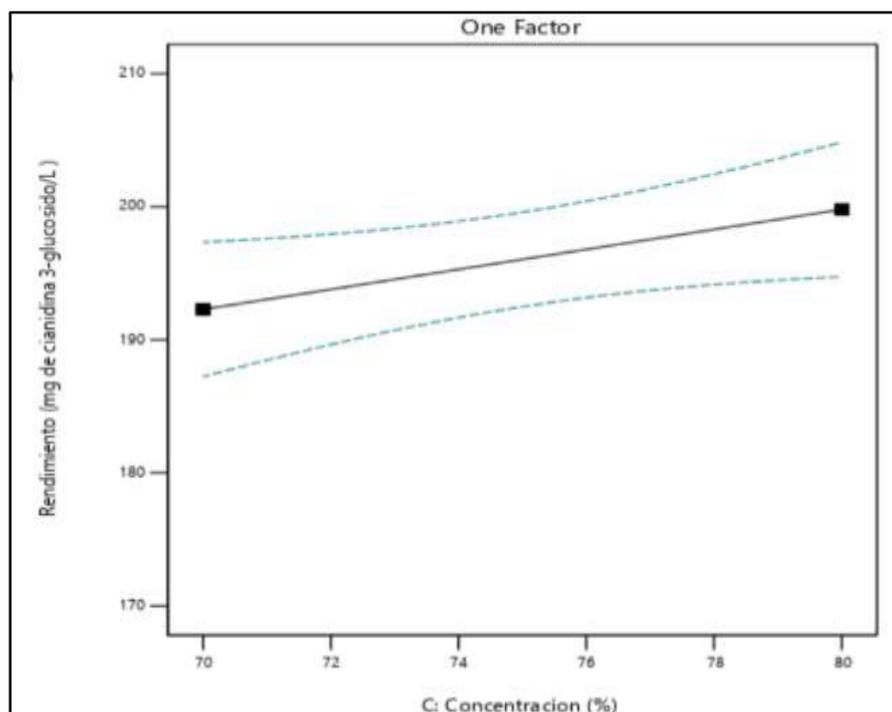
Gráfica del ajuste del rendimiento sobre la recta



4.4.1. Análisis de las variables con respecto al rendimiento

Figura 11

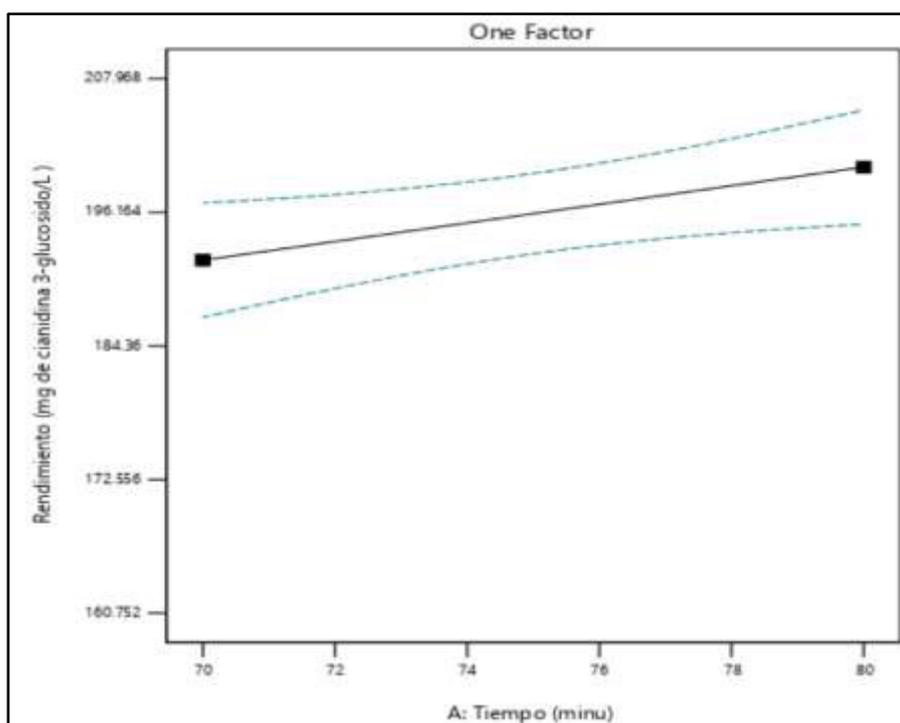
Variable concentración de solvente con respecto al rendimiento de la extracción



La Figura 11 muestra que el rendimiento aumenta junto con la concentración del disolvente; una concentración del 80% de disolvente produce un mejor rendimiento, obteniendo 202.45 mg de Cianidina 3-glucósido/L. Por el contrario, está claro que la cantidad de antocianinas varía con el tiempo; esto puede atribuirse al efecto de las variables temperatura y duración de la extracción.

Figura 12

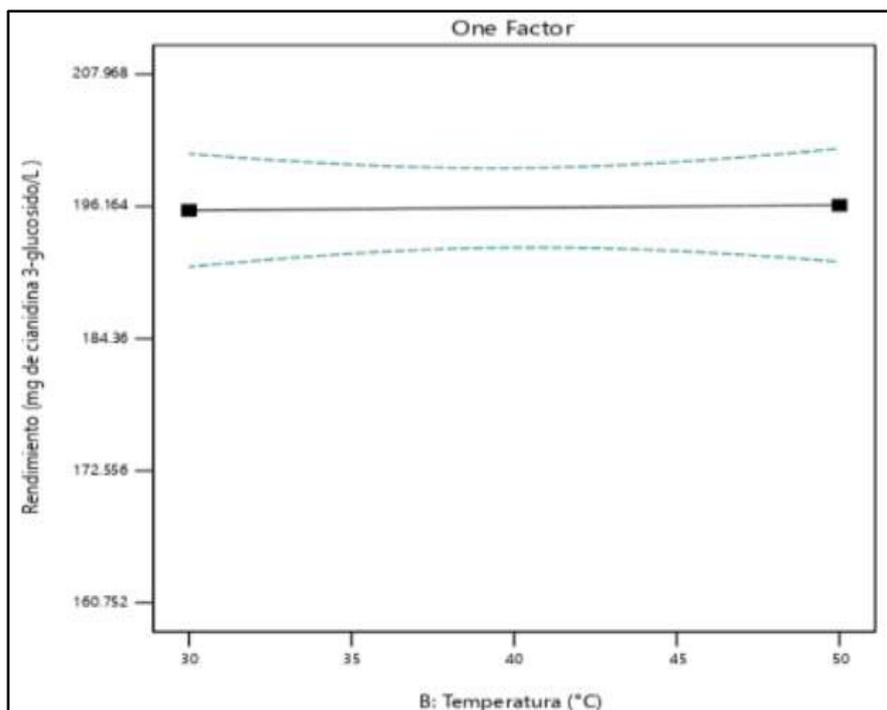
Variable tiempo con respecto al rendimiento de la extracción



La Figura 12 muestra que el rendimiento aumenta a medida que se incrementa el tiempo de extracción; se obtiene un mejor rendimiento en un periodo de extracción de 83 minutos, produciendo así 203.43 mg de Cianidina 3-glucósido/L. Por el contrario, está claro que la cantidad de antocianinas varía con el tiempo; esto puede atribuirse al efecto de las variables concentración de etanol y temperatura.

Figura 13

Variable temperatura con respecto al rendimiento de la extracción



Como muestra la Figura 13, el rendimiento del pigmento no se ve mucho influenciado por la temperatura. Con el tiempo, se podrían observar cambios en la cantidad de antocianinas. Los factores tiempo y concentración de etanol ayudan a explicar estos cambios.

4.4.2. Ajuste del modelo matemático para la variable rendimiento

Tabla 12

ANOVA del modelo cuadrático del rendimiento de la extracción

Modelo	Suma de cuadrados	de Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P_valor	R ²
Cuadrático	688.21	7	98.32	6.47	0.0184	0.8830

La Tabla 12 muestra que el modelo cuadrático utilizado para explicar la producción de antocianinas en el “tankar” se ajusta bastante bien a los datos experimentales ($R^2 = 0.883$). Además, la significancia estadística ($p = 0.0184$) confirma la relevancia del modelo. En consecuencia, las condiciones investigadas tiempo, temperatura y concentración del disolvente tienen una gran influencia; por lo tanto, el modelo matemático puede predecir el rendimiento considerando estos elementos.

Tabla 13*Coefficientes en términos de factores codificados*

Factor	Coefficient Estimate	Df	Standard Error	95%CI Low	95% CI High	VIF
Intercepto	297.06	1	35.94	209.12	384.99	
A-Tiempo	4.11	1	1.06	1.53	6.69	1.0000
B-Temperatura	0.2301	1	1.06	-2.35	2.81	1.0000
C-Concentración	3.76	1	1.06	1.17	6.34	1.0000
AC	-4.20	1	1.38	-7.57	-0.8228	1.0000
A ²	-34.36	1	12.30	-64.46	-4.26	106.24
B ²	-34.87	1	12.30	-64.97	-4.78	106.24
C ²	-34.31	1	12.30	-64.41	-4.22	106.24

La Tabla 13 muestra la intersección (297.06): Aunque puede no tener significado físico, es parte del modelo matemático y el valor base del rendimiento de antocianinas cuando todas las variables son cero.

A-Time: 4.11; influencia positiva y notable. Dentro del rango de confianza, el rendimiento aumenta en 4.11 mg/L por cada unidad que aumenta el tiempo.
 B-Temperatura: Impacto positivo, pero no significativo (CI incluye cero). Cuando uno varía dentro del rango investigado, la temperatura tiene poco impacto.

C-Concentración: 3.76: Impacto significativamente positivo. Además, el aumento del rendimiento de antocianinas se debe al cambio en la concentración del disolvente.
 Impacto negativo AC (interacción tiempo-concentración, -4.20) El impacto combinado reduce el rendimiento en comparación con los efectos separados cuando ambas variables aumentan juntas.

A², B², C² (términos cuadráticos, todos negativos y significativos) muestran que cada componente tiene un punto ideal; elevar demasiado uno de los elementos resulta en un comienzo de declive en el rendimiento (curva de campana/parábola invertida). Es decir, el rendimiento sufre fuera del rango ideal.

Varianza en el factor de inflación, o VIF Todos salvo los términos cuadráticos, que tienen un valor muy alto debido a su carácter matemático, normalmente un $VIF > 10$ es alarmante para las variables principales (aquí la advertencia sería reevaluar el modelo si hay colinealidad).

4.4.2.1 Resumen principal:

El rendimiento de los antocianos depende favorablemente del tiempo y la concentración del disolvente.

En esta área de investigación, la temperatura no tiene influencia apreciable. La interacción negativa entre el tiempo y la concentración implica que aumentar ambos simultáneamente en exceso disminuye el buen impacto de ambos.

Los términos cuadráticos negativos conducen a puntos ideales; un aumento excesivo de cualquier variable disminuye el rendimiento.

El modelo ayuda a identificar las circunstancias ideales de extracción.

4.4.2.2 Ecuación general del rendimiento

$$\text{Rendimiento} = +297.06 + 4.11 * A + 0.2301 * B + 3.76 * C - 4.20 * AC - 34.36 * A^2 - 34.87 * B^2 - 34.31 * C^2$$

Donde:

A: Tiempo

B: Temperatura

C: Concentración del solvente

Figura 14

Superficie respuesta y contornos del rendimiento con respecto al tiempo y temperatura de extracción

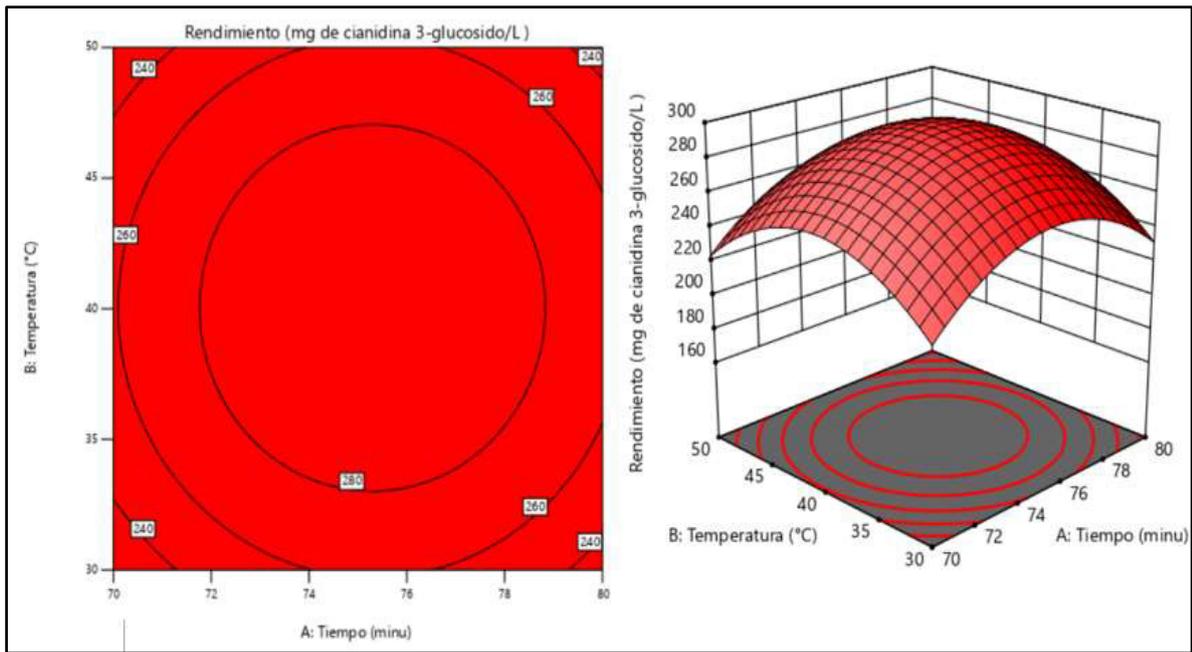


Figura 15

Superficie respuesta y contornos del rendimiento con respecto al tiempo y concentración del solvente

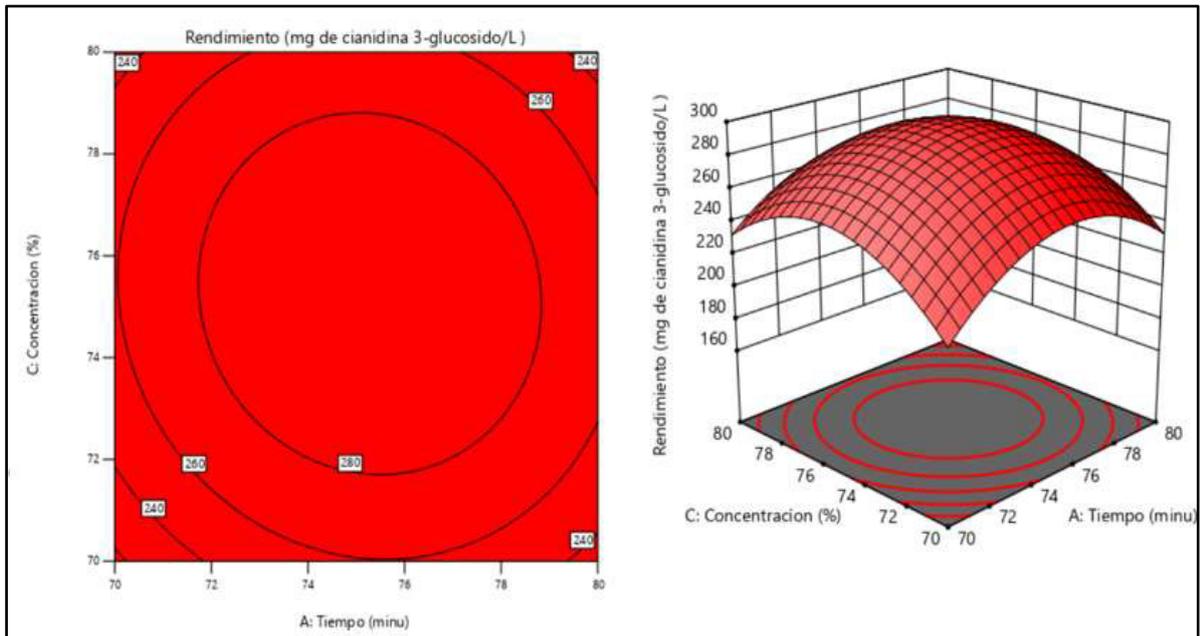
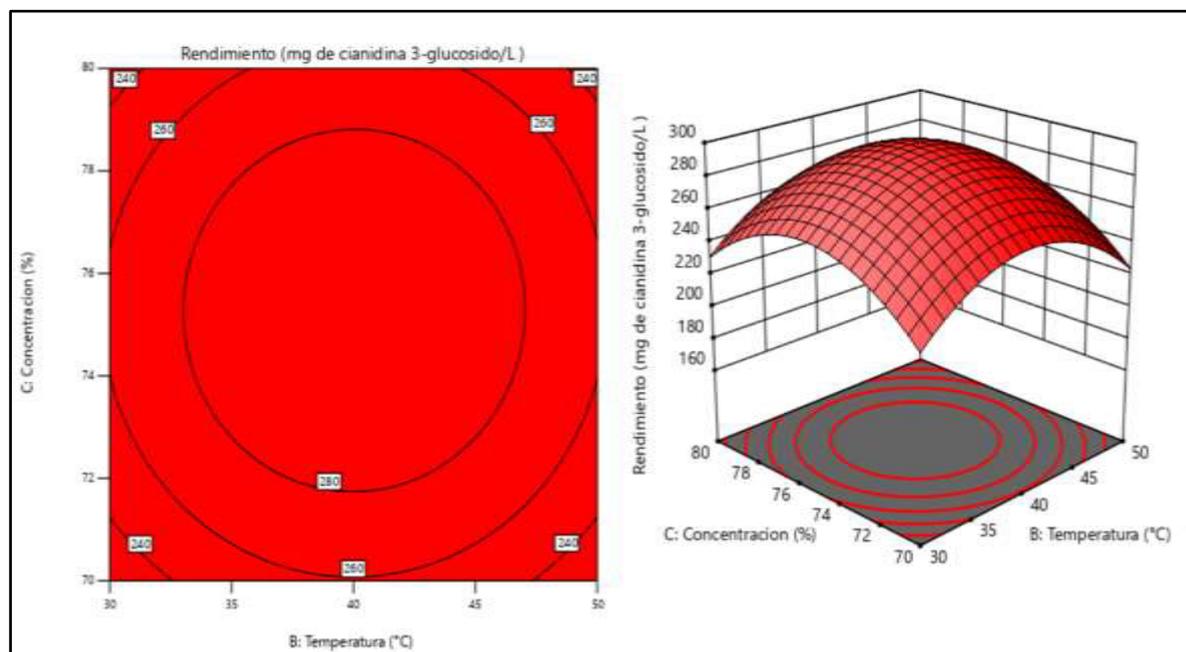


Figura 16

Superficie respuesta y contornos del rendimiento de pigmento con respecto al temperatura y concentración del solvente.

**Tabla 14**

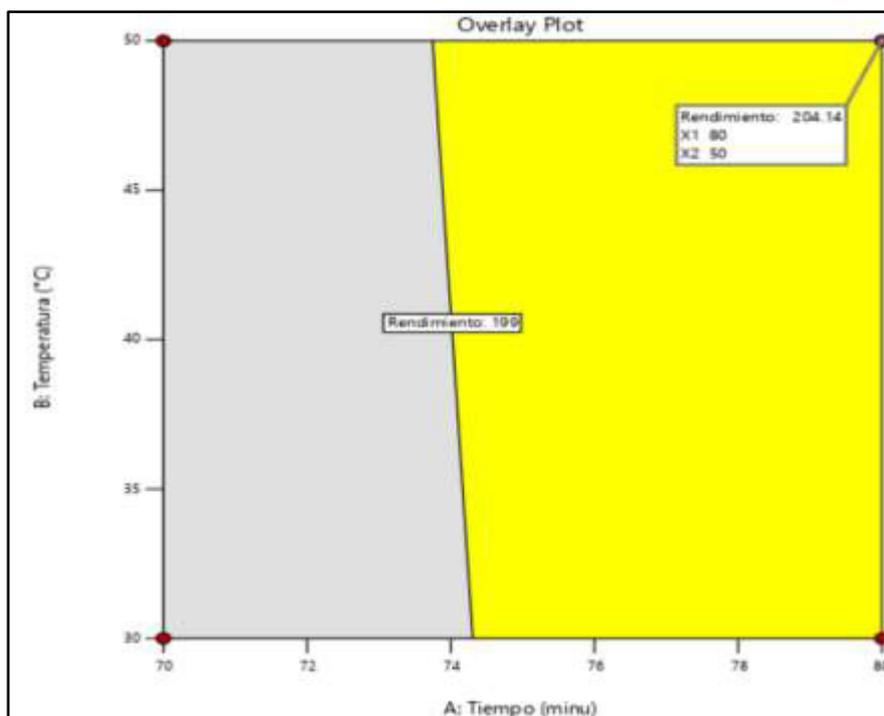
Límites superior e inferior para la maximización del rendimiento de extracción

Variable	Objetivo	Límite Inferior	Límite Superior
Rendimiento Extracción	Maximizar	199 mg de cianidina 3-glucósido/L	210 mg de cianidina 3-glucósido/L

La Tabla 14 enumera los valores objetivos destinados a maximizar el método de extracción de antocianinas, expresados como mg de cianidina 3-glucósido/L. Estos valores se conocen como el límite inferior y el límite superior para el rendimiento que se pretende adquirir utilizando la combinación óptima de circunstancias experimentales (tiempo, temperatura, concentración del disolvente).

Figura 17

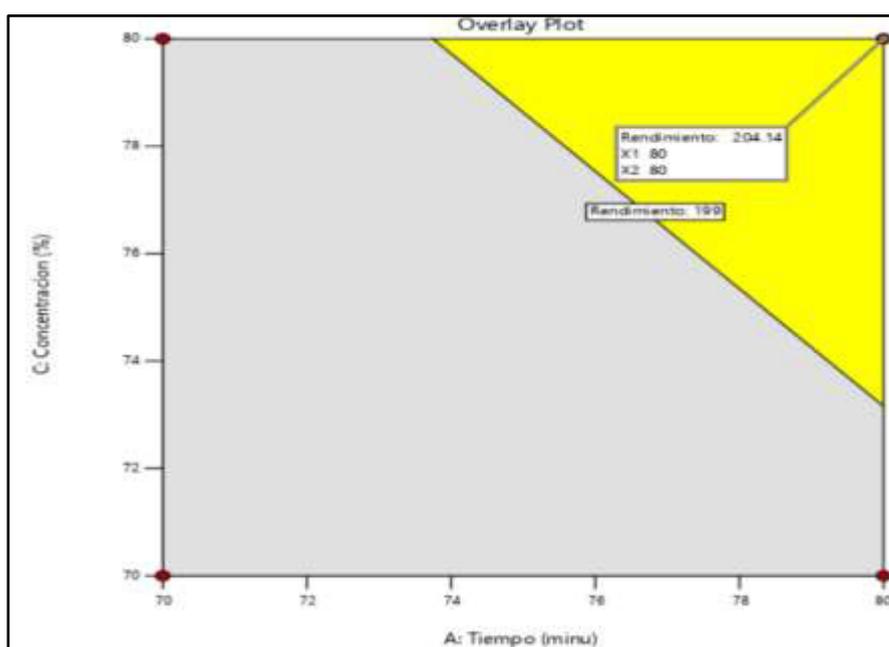
Regiones optimizadas con respecto al tiempo y temperatura de extracción



La figura 17 muestra la región optimizada para maximizar la extracción de antocianinas. A una temperatura de 50 ° C y un tiempo de 80 minutos, la extracción se maximiza a 204,14 mg cianidina 3-glucósido/L.

Figura 18

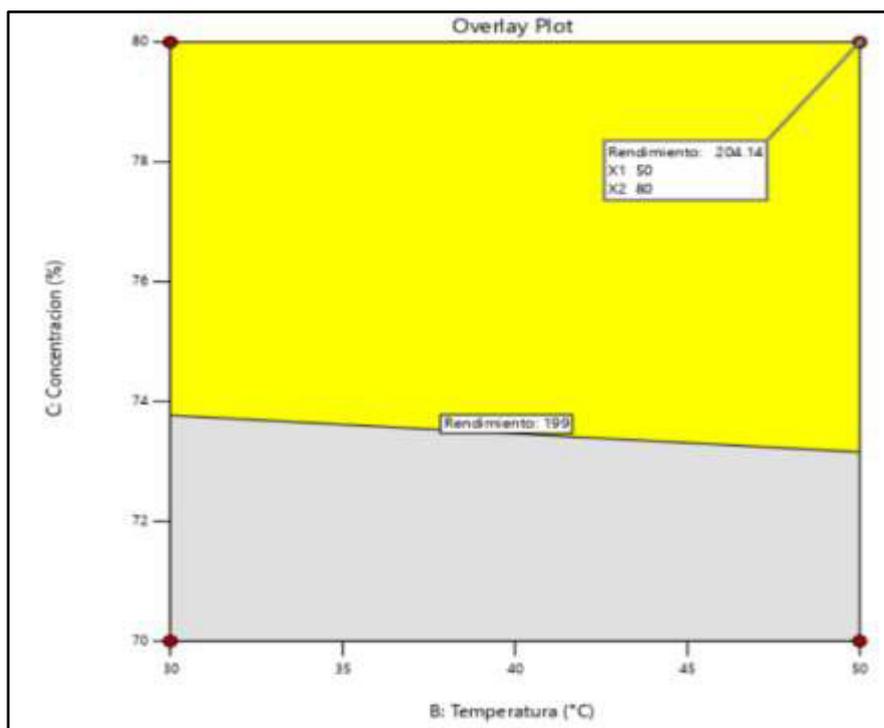
Regiones optimizadas con respecto al tiempo y concentración del solvente en la extracción



La Figura 18 muestra la región optimizada para maximizar la extracción de antocianinas. A un tiempo de 80 minutos y una concentración del solvente de 80%, la extracción se maximiza a 204,14 mg cianidina 3-glucósido/L.

Figura 19

Regiones optimizadas con respecto a la temperatura y concentración del solvente en la extracción



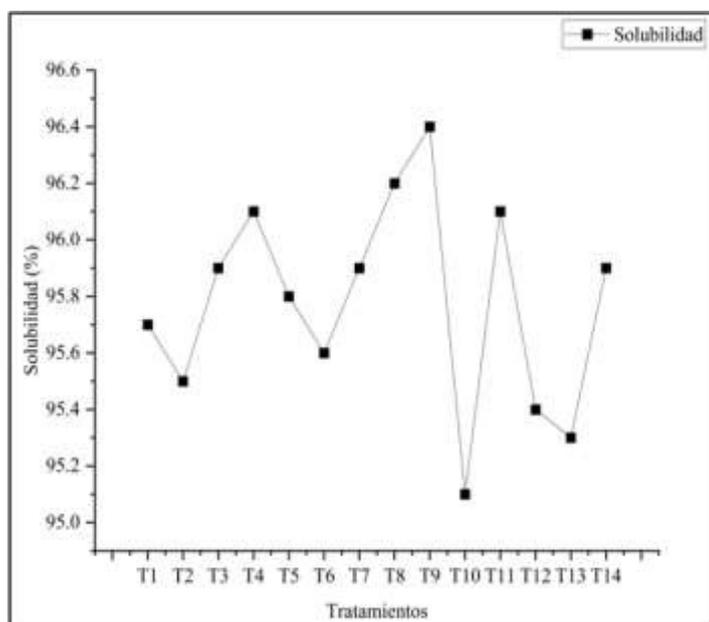
La Figura 19 muestra la región optimizada para maximizar la extracción de antocianinas. A una temperatura de 50°C y una concentración del solvente de 80%, la extracción se maximiza a 204,14 mg cianidina 3-glucósido/L

4.5. Resultados de Microencapsulación por gelificación iónica del extracto del pigmento de “tankar”

Los valores de los muchos tratamientos seguidos de manera sistemática se muestran en la tabla de resultados de este estudio. La Tabla 15 muestra los resultados observados para cada tratamiento, particularmente el % de solubilidad y el porcentaje de higroscopicidad; las cantidades de los diferentes componentes (maltodextrina, alginato de sodio y cloruro de calcio) se indican en las columnas.

Tabla 15*Resultados de Microencapsulación por gelificación iónica*

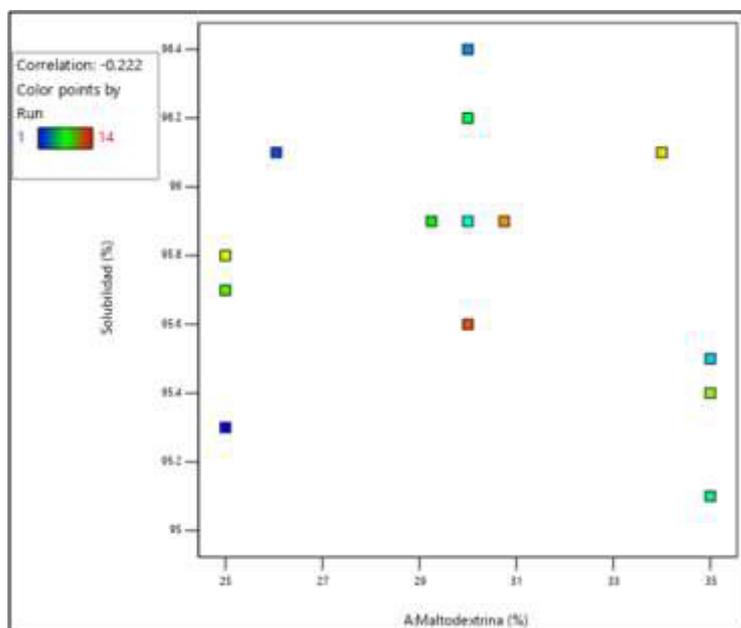
Tratamientos	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Respuesta 1	Respuesta 2
	Maltodextrina (%)	Alginato de sodio (%)	Cloruro de calcio %	%solubilidad	%Higroscopicidad
1	25	3.15	1	95.7	5.74
2	35	3.665	1	95.5	5.34
3	29.25	4	1	95.9	5.94
4	34	3	1.04	96.1	5.54
5	25	4	1.16937	95.8	5.44
6	30	3.5	1.2	95.6	5.14
7	30	3.5	1.2	95.9	5.04
8	30	3.5	1.2	96.2	5.04
9	30	3.5	1.2	96.4	5.14
10	35	4	1.23097	95.1	4.94
11	26.05	3	1.36	96.1	5.64
12	35	3.155	1.4	95.4	4.84
13	25	3.66	1.4	95.3	4.94
14	30.75	4	1.4	95.9	4.64

Figura 20*Porcentaje de solubilidad de las microcápsulas del pigmento de “tankar”*

La Figura 20 revela que la mayor solubilidad de las microcápsulas del pigmento de “tankar” depende de la maltodextrina y el alginato de sodio. Por ejemplo, la solubilidad del tratamiento 09 es un 96.4 % mayor que la de los otros 14 tratamientos.

Figura 21

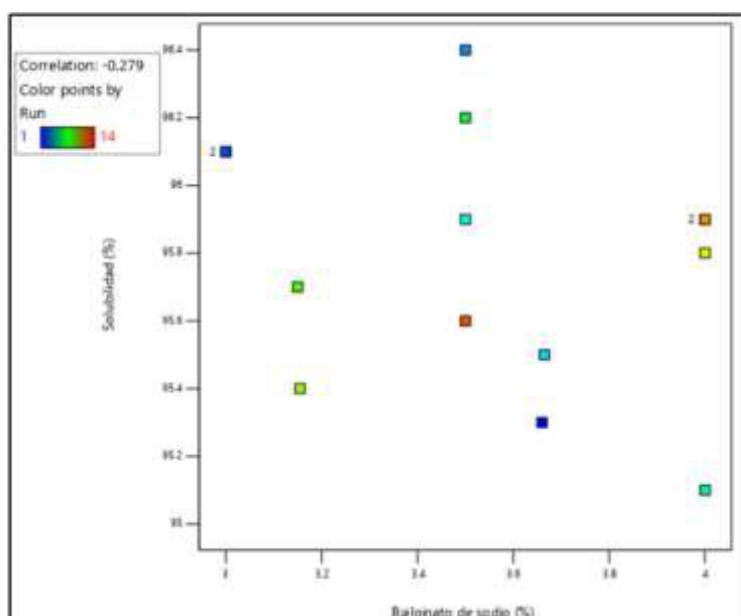
Influencia del factor maltodextrina el porcentaje de solubilidad del pigmento microencapsulado.



Nota. En la Figura 21 se observa que la maltodextrina como cobertor en microcápsulas, aumenta significativamente la solubilidad del sistema encapsulado en agua, promoviendo una rápida disolución y liberación del núcleo encapsulado.

Figura 22

Influencia del factor Alginato de sodio en el porcentaje de solubilidad del pigmento microencapsulado.

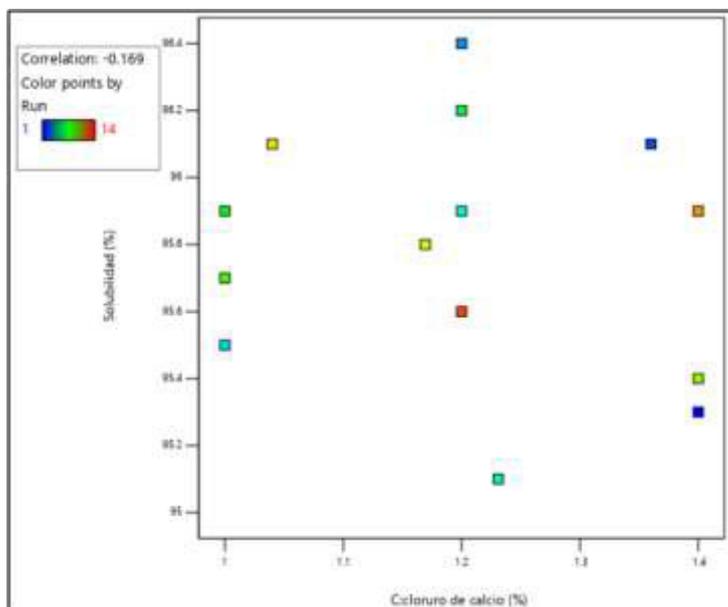


En la Figura 22 se observa el comportamiento del alginato de sodio, como

recubrimiento en microcápsulas, lo que se ve que modifica la solubilidad del microencapsulado eso es también al grado de reticulación principalmente con cloruro de calcio.

Figura 23

Influencia del factor cloruro de sodio en el porcentaje de solubilidad del pigmento microencapsulado



Nota. Se puede observar la Figura 23 que el componente cloruro de calcio disminuye la solubilidad del recubrimiento porque induce la formación de una red de gel estable con baja solubilidad en agua.

4.5.1. Ajuste del modelo matemático para la variable solubilidad

Tabla 16

ANOVA del modelo cuadrático de la solubilidad

Modelo	Suma de cuadrados	de Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P_valor	R ²
Cuadrático	1.83	9	0.2029	60.04	0.0007	0.9927

En la Tabla 16 se muestra el modelo cuadrático utilizado para describir la solubilidad de las microcápsulas del pigmento se ajusta adecuadamente a los datos experimentales ($R^2 = 0.9927$). Además, la significancia estadística ($p = 0.0007$) confirma que el modelo es relevante. Por lo tanto, los factores estudiados como maltodextrina, alginato de sodio, cloruro de calcio

tiene un impacto significativo y el modelo matemático puede predecir la solubilidad en función de estos factores.

Tabla 17

Coefficientes en términos de factores codificados

Factor	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
Intercept	4.05	1	0.021	3.97	4.13	
AMaltodextrina	0.2579	1	0.0216	0.190	0.3179	1.01
B-alginato de sodio	-0.1501	1	0.0229	-0.2136	-0.0867	1.09
C-cloruro de calcio	0.3762	1	0.0216	0.3163	0.4361	1.01
AB	-0.0979	1	0.0275	-0.1741	-0.0216	1.00
AC	-0.0594	1	0.0267	-0.1335	0.0146	1.03
BC	0.0710	1	0.0274	-0.0051	0.1471	1.00
A ²	-0.0472	1	0.0371	-0.1501	0.0558	1.21
B ²	0.3048	1	0.0380	0.1993	0.4102	1.20
C ²	0.0552	1	0.0372	-0.0479	0.1584	1.22

La Tabla 17 muestra los hallazgos de un estudio de regresión en el que se analizan tres variables (A: cantidad de maltodextrina, B: cantidad de alginato de sodio, C: cantidad de cloruro de calcio) y sus combinaciones para determinar cómo impactan en una variable de respuesta, la solubilidad. El valor promedio proyectado de la respuesta cuando todas las demás variables son cero se llama intercepto. Dado esto, 4.05.

Contribuidores Principales:

Coefficiente positivo: 0.2579 para A-maltodextrina. El aumento de maltodextrina, por lo tanto, mejora la reacción. El coeficiente negativo -0.1501 es alginato de sodio. Aumentar el alginato de sodio disminuye la reacción.

Cloruro de calcio: 0.3762 - coeficiente positivo. Aumentar el cloruro de calcio potencia la reacción. Interacciones entre elementos: El coeficiente negativo AB (A x B) significa que la combinación de ambos elementos reduce la reacción en relación con sus efectos tomados por separado. El impacto combinado del coeficiente AC (A x C), aunque negativo y modesto, no

es muy sustancial. BC (B x C): potencial efecto combinado modesto con un coeficiente positivo cercano a cero. Los términos cuadráticos (A^2 , B^2 , C^2) muestran efectos de curvatura, es decir, cómo la conexión no es del todo lineal. Con un coeficiente algo alto (0.3048), B^2 indica una curvatura significativa—efecto no lineal del componente B. Rango donde el valor real del coeficiente es más probable que esté en el Intervalo de Confianza del 95% (95% IC Bajo / Alto). Con baja colinealidad entre las variables, es decir, con poca correlación entre las variables independientes todas están cerca de 1.

4.5.2. Ecuación general de la solubilidad

$$\text{Solubilidad} = +4.05 + 0.2579 * A - 0.1501 * B + 0.3762 * C - 0.0979 * AB - 0.0594 * AC + 0.0710 * BC - 0.0472 * A^2 + 0.3048 * B^2 + 0.0552 * C^2$$

Donde:

A: % Maltodextrina

B: % Alginato de sodio

C: %Cloruro de calcio

4.5.3. Maximización de la solubilidad de las microcápsulas del pigmento de “tankar”

Maximizar el pigmento microencapsulado utilizado para el yogur debe disolverse rápida y completamente cuando se mezcla con la matriz láctea para distribuir el color de manera uniforme y sin grumos ni partículas visibles. Baja solubilidad causará una liberación insuficiente del pigmento, resultando en un color defectuoso, manchas o sedimentación. Una alta solubilidad ayuda a que el yogur sea apetitoso y se extienda.

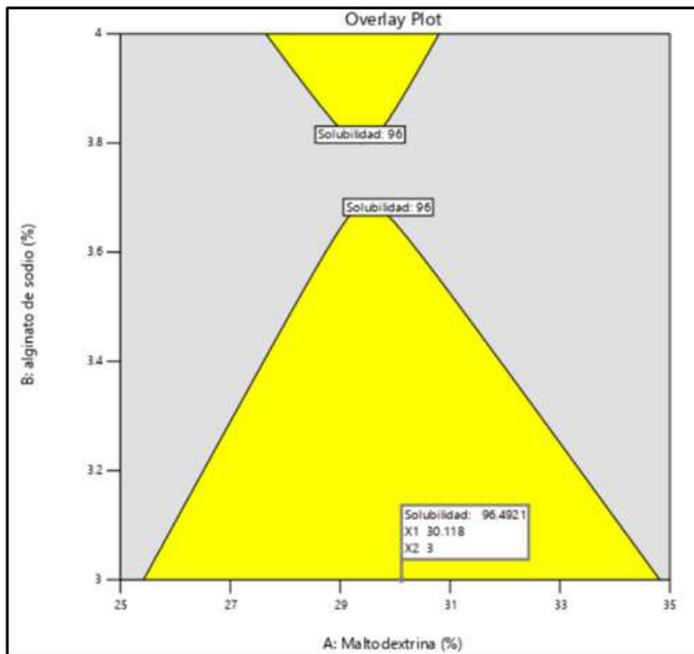
Tabla 18

Límites superior e inferior para la maximización de la solubilidad de microencapsulado de “tankar”

Variable	Objetivo	Límite Inferior	Limite Superior
% Solubilidad	Maximizar	96	98

Figura 24

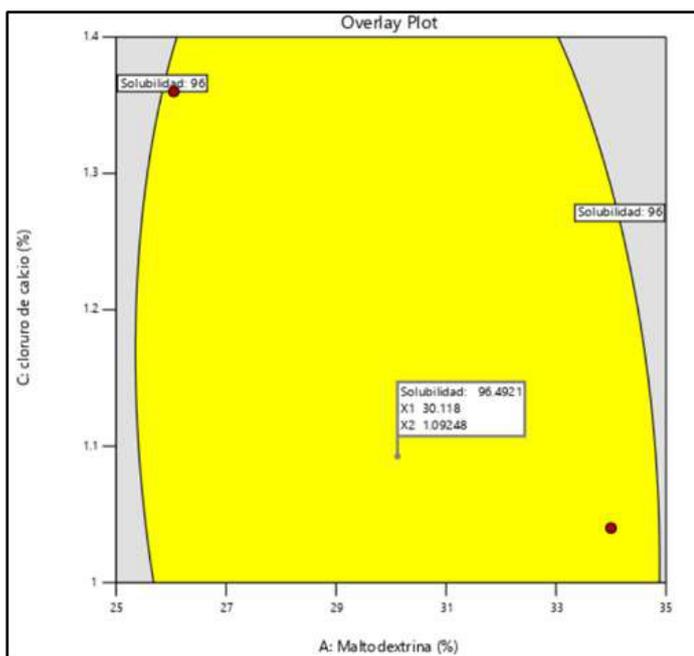
Regiones optimizadas con respecto a maltodextrina y alginato de sodio



La figura 24 muestra la región maximizada de la solubilidad de las microcápsulas del pigmento de “tankar” donde a una concentración de 30.118 % de maltodextrina y 3.0 % de alginato de sodio se consigue una solubilidad de 96.4921 %.

Figura 25

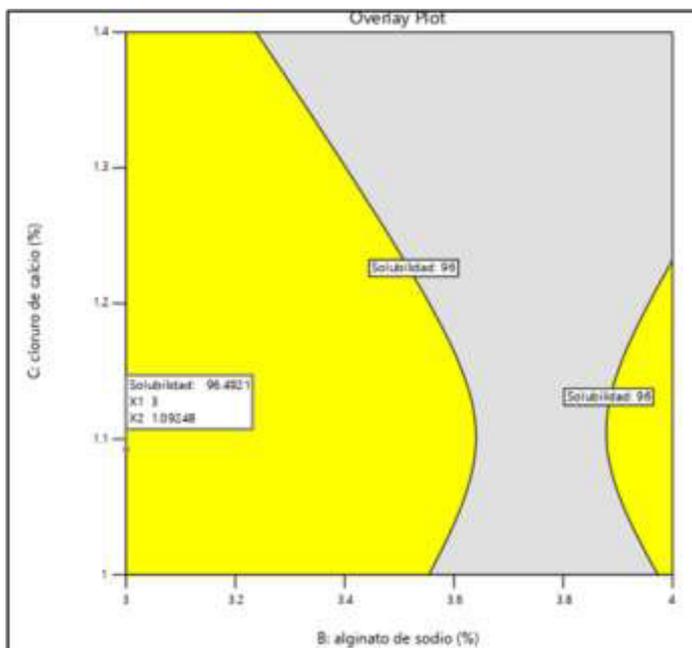
Regiones optimizadas con respecto a maltodextrina y cloruro de calcio



La Figura 25 muestra la región maximizada de la solubilidad de las microcápsulas del pigmento de “tankar” donde a una concentración de 30.118% de maltodextrina y 1.09248 % de cloruro de calcio se consigue una solubilidad de 96.4921%.

Figura 26

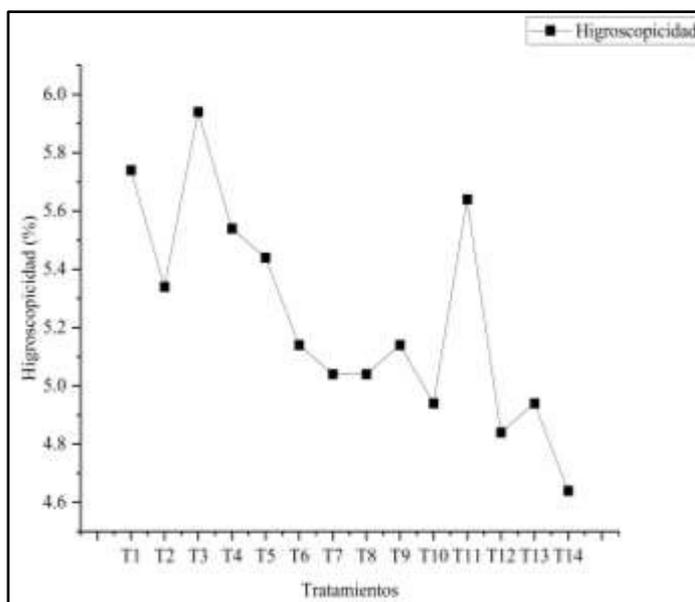
Regiones optimizadas con respecto a alginato de sodio y cloruro de calcio



La Figura 26 muestra la región maximizada de la solubilidad de las microcápsulas de pigmento de “tankar” donde a una concentración de 3.0 % de alginato de sodio y 1.09248 % de cloruro de calcio se consigue una solubilidad de 96.4921 %.

Figura 27

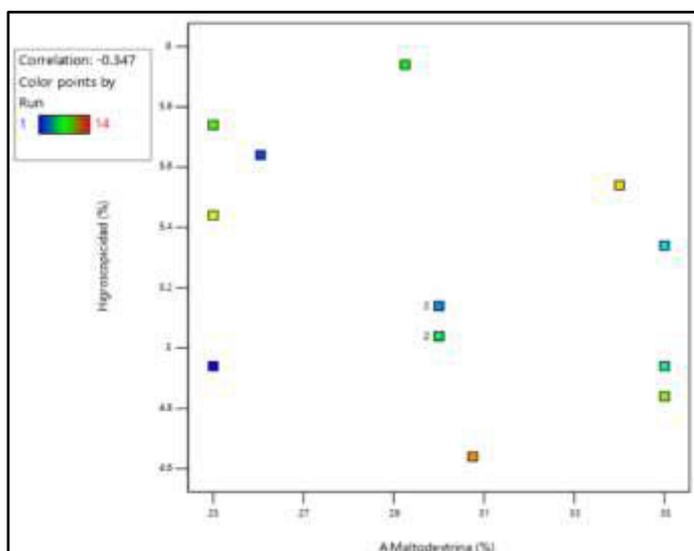
Porcentaje de higroscopicidad las microcápsulas del pigmento de “tankar”



En la Figura 27 se muestra de la maltodextrina y alginato de sodio son importantes en la mayor higroscopicidad de las microcápsulas del pigmento de “tankar” como por ejemplo el tratamiento 14 tiene un 4.64 % de higroscopicidad más bajo que los otros 13 tratamientos

Figura 28

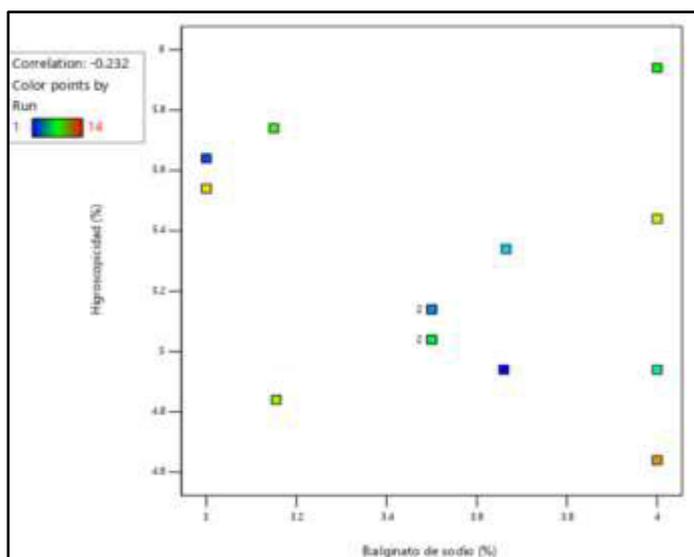
Influencia del factor maltodextrina en la higroscopicidad del pigmento microencapsulado.



Nota. En la Figura 28 se observa que al emplearse como cobertura la maltodextrina, favorece que las microcápsulas absorban humedad del ambiente, especialmente si la humedad relativa es alta.

Figura 29

Influencia del factor alginato de sodio en la higroscopicidad del pigmento microencapsulado

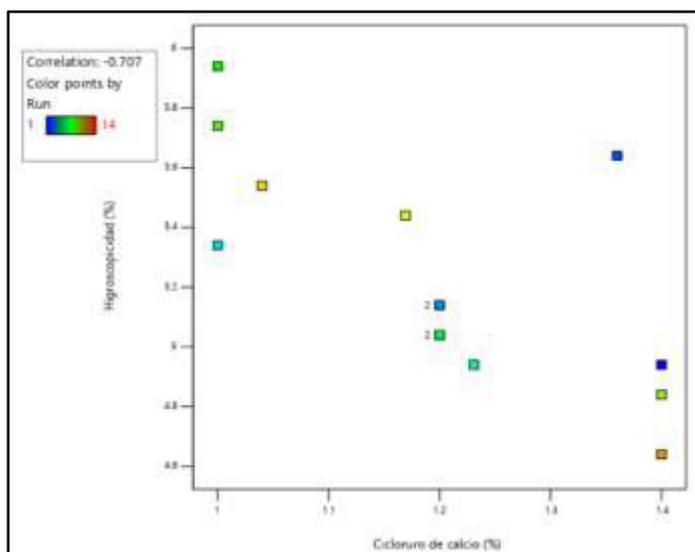


Nota. La Figura 29 muestra el comportamiento del alginato de sodio como recubrimiento; se demuestra que es menos higroscópico que la maltodextrina y ofrece una defensa más fuerte

contra la humedad externa. El alginato puede ser citado como menos susceptible a la humedad externa y como un ayudante en la preservación de la integridad de la microcápsula.

Figura 30

Influencia del factor cloruro de calcio en la higroscopicidad del pigmento microencapsulado



Nota. Se puede observar el comportamiento del cloruro de calcio en la Figura 30. El calcio reduce la higroscopicidad de la cápsula cuando se aplica sobre el alginato de sodio, ya que forma una barrera menos permeable al vapor de agua. Las microcápsulas recubiertas con alginato de calcio-gelatinizado tuvieron una absorción de humedad mucho menor que las producidas solo con maltodextrina o alginato no reticulado.

4.5.4. Ajuste del modelo matemático para la variable higroscopicidad

Tabla 19

ANOVA del modelo cuadrático de la higroscopicidad

Modelo	Suma de cuadrados	de Grados de libertad	de Cuadrados medios	F	P_valor	R ²
Cuadrático	1.82	9	0.2025	47.30	0.0010	0.9907

Con $R^2 = 0.9907$, el modelo cuadrático utilizado en la Tabla 19 para explicar la higroscopicidad de las microcápsulas de pigmento coincide bastante bien con los datos

experimentales. Además, la significancia estadística ($p = 0.0010$) verifica la relevancia del modelo. En consecuencia, los elementos investigados, incluyendo la maltodextrina, el alginato de sodio y el cloruro de calcio, tienen una gran influencia; por lo tanto, el modelo matemático puede predecir la higroscopicidad en función de estos elementos.

Tabla 20

Coefficientes en términos de factores codificados

Factor	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
Intercept	5.09	1	0.0327	5.00	5.18	
A-Maltodextrina	-0.2123	1	0.0243	-0.2798	-0.1448	1.01
B-alginato de sodio	-0.1516	1	0.0257	-0.2230	-0.0802	1.09
C-cloruro de calcio	-0.3715	1	0.0243	-0.4389	-0.3041	1.01
AB	0.0234	1	0.0309	-0.0624	0.1092	1.00
AC	-0.0592	1	0.0300	-0.1426	0.0242	1.03
BC	-0.2200	1	0.0308	-0.3057	-0.1343	1.00
A ²	-0.0475	1	0.0417	-0.1634	0.0683	1.21
B ²	0.3074	1	0.0427	0.1888	0.4261	1.20
C ²	0.0539	1	0.0418	-0.0622	0.1700	1.22

En la Tabla 20, se encuentra El aumento de maltodextrina, alginato de sodio y cloruro de calcio son los componentes principales que reducen la higroscopicidad. La interacción del alginato con cloruro de calcio reduce aún más la reacción. Para el alginato (B²), el impacto cuadrático es notable e implica una acción no lineal.

4.5.5. Ecuación general de la higroscopicidad

$$\text{Higroscopicidad} = +5.09 + -0.2123 * A - 0.1516 * B - 0.3715 * C + 0.0234 * AB - -0.0592 * AC - 0.2200 * BC - 0.0475 * A^2 + 0.3074 B^2$$

Donde:

A: % Maltodextrina

B: % Alginato de sodio

C: %Cloruro de calcio

4.5.6. *La higroscopicidad de las microcápsulas del pigmento de “tankar”*

Minimizar la higroscopicidad ayudará a prevenir la inclinación del polvo a absorber la humedad ambiental. Si la higroscopicidad es excesiva, el pigmento microencapsulado puede absorber fácilmente la humedad durante el almacenamiento y desarrollar grumos o pegajosidad, afectando así el manejo, la dosificación y la mezcla en el yogur. Además, un polvo altamente higroscópico podría descomponerse más rápidamente, lo que influiría en la vida útil del producto y en la estabilidad del pigmento. Minimizar la higroscopicidad ayuda a que el pigmento se mantenga fluido, manejable y estable durante el almacenamiento.

4.6. **Resultados de la aplicación de las microcápsulas del pigmento de “tankar” en yogur probiótico**

Figura 31

Gráfica del resultado de la aceptabilidad sensorial

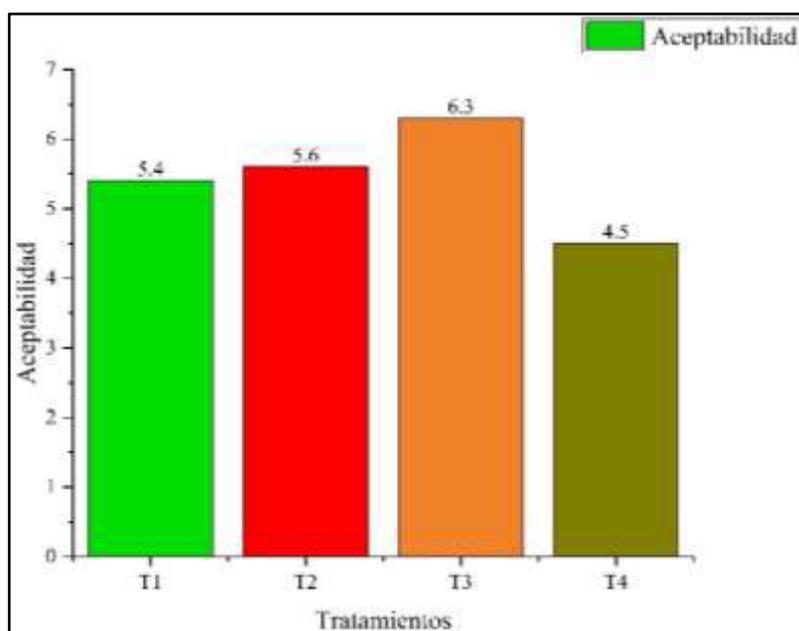


Tabla 21.

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	49.50	3	16.50	16.47	<0.0001
Tratamientos	49.50	3	16.50	16.47	<0.0001
Error	116.20	116	1.00	116.20	
Total	165.70	119			

Apoyado por un alto valor F y un valor p muy por debajo de 0.05, la Tabla 21 El ANOVA muestra que el tipo o grado del pigmento microencapsulado incluido en el yogur influye considerablemente en la aceptación sensorial. En consecuencia, no todas las formulaciones de yogur tienen la misma aceptación por parte de los panelistas.

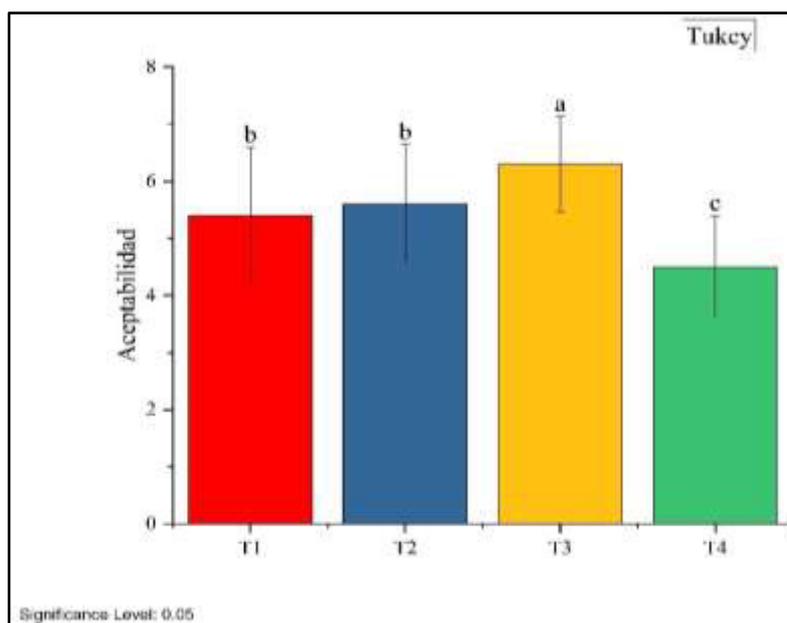
Tabla 22

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.67362

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T4	4.50	30	0.18	A
T1	5.40	30	0.18	B
T2	5.60	30	0.18	B
T3	6.30	30	0.18	C

Figura 32

Gráfica de la prueba de tukey



4.7. Contrastación de hipótesis

4.7.1. Hipótesis general

Hipótesis alterna (H_1): Es posible determinar los parámetros óptimos para la extracción y microencapsulación del pigmento de los frutos de "tankar" (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon), y su aplicación en yogur probiótico.

Hipótesis nula (H_0): No es posible determinar los parámetros óptimos para la extracción y microencapsulación del pigmento de los frutos de "tankar" (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon), y su aplicación en yogur probiótico.

4.7.2. Hipótesis específicas

4.7.2.1 Hipótesis 1

Hipótesis alterna (H_1): Mediante el Sistema de Clasificación APG IV (2016) es factible observar la posición taxonómica del "tankar".

Hipótesis nula (H_0): No es factible observar mediante el Sistema de Clasificación APG IV (2016) la posición taxonómica del "tankar".

4.7.2.2 Hipótesis 2

Hipótesis alterna (H_1): Existen condiciones óptimas de tiempo, temperatura y porcentaje de solvente que permiten maximizar la eficiencia de extracción del pigmento de los frutos de "tankar" (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon).

Hipótesis nula (H_0): No existen condiciones óptimas de tiempo, temperatura y porcentaje de solvente que permitan maximizar la eficiencia de extracción del pigmento de los frutos de "tankar" (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon)

Toma de decisión

Si $P > 0.05$ Se rechaza la H_1 y se acepta la H_0

Si $P < 0.05$ Se rechaza la H_0 y se acepta la H_1

Tabla 23*Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)*

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	2363.57	13	181.81	27.78	<0.0001
Tratamientos	2363.57	13	181.81	27.78	<0.0001
Error	183.27	28	6.55		
Total	2546.84	41			

Según la Tabla 23 se observa que p-valor es igual a <0.0001 esto menor a 0.05 entonces se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula

4.7.2.3 Hipótesis 3

Hipótesis alterna (H_1): Mediante la adecuada selección de materiales y condiciones del proceso de microencapsulación, se pueden obtener microencapsulados de pigmento de “tankar” con alta solubilidad y baja higroscopicidad.

Hipótesis nula (H_0): La selección de materiales y condiciones del proceso de microencapsulación no permite obtener microencapsulados de pigmento de “tankar” con alta solubilidad y baja higroscopicidad.

Toma de decisión

Si $P > 0.05$ Se rechaza la H_1 y se acepta la H_0

Si $P < 0.05$ Se rechaza la H_0 y se acepta la H_1

Tabla 24*Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)*

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	5.73	13	0.44	5.18	0.0001
Tratamientos	5.73	13	0.44	5.18	<0.0001
Error	2.38	28	0.09		
Total	8.11	41			

Según la Tabla 24 se observa que p-valor es igual a <0.0001 esto menor a 0.05 entonces se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula

4.7.2.4 Hipótesis 4

Hipótesis alterna (H_1): El yogur probiótico adicionado con microencapsulados del pigmento extraído de “tankar” (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon) es sensorialmente aceptado por los consumidores.

Hipótesis nula (H_0): El yogur probiótico adicionado con microencapsulados del pigmento extraído de “tankar” (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon) no es sensorialmente aceptado por los consumidores.

Toma de decisión

Si $P > 0.05$ Se rechaza la H_1 y se acepta la H_0

Si $P < 0.05$ Se rechaza la H_0 y se acepta la H_1

Según la Tabla 21 se observa que p-valor es igual a <0.0001 esto menor a 0.05 entonces se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Referido a: Caracterización taxonómica de la planta “tankar”

El “tankar” recolectado de la zona que se consideró en el presente estudio fue denominado *Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon, nombre común y científico que coincide con la muestra recolectada en Lucanamarca – Ayacucho por Alexander Fidel Castro Tacas 2023, pero por otro lado en Vinchos – Ayacucho la muestra recolectada por Katherine Maritza Alfaro Ayvar 2019 también fue denominada como “tankar” pero se caracterizó como *Berberis lutea* Ruiz & Pav.

5.2. Referido a: Los parámetros óptimos de extracción del pigmento de frutos de “tankar” (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon)

Los hallazgos de este estudio ofrecen evidencia pertinente sobre la optimización de la extracción y aplicación del pigmento natural de los frutos de “tankar” (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon), verificando así su posible fuente alternativa de pigmentos naturales para el sector alimentario, especialmente en productos lácteos como el yogur probiótico. En cuanto a la técnica de extracción, “tankar” tiene un perfil positivo para la producción de antocianinas, similar a otras fuentes vegetales descritas en la literatura, según la maximización del rendimiento de cianidina 3-glucósido bajo las circunstancias de 80 minutos, 50°C y 80% de solvente.

Por ejemplo, Shagñay et al. (2024) destacaron la necesidad de factores como el pH, el tipo de solvente y el tiempo de extracción al informar sobre las circunstancias ideales particulares del maíz morado. Por lo tanto, estandarizar los parámetros según la especie es crucial para garantizar la eficiencia y calidad del pigmento obtenido, ya que, aunque en su investigación el tiempo de extracción fue más corto (30 min), la temperatura más alta (70°C) y con una concentración de solvente (etanol) al 20 %, se puede inferir que la matriz de cada fruta y su composición polifenólica influyen en gran medida en la cinética de extracción.

Por otro lado, en el estudio de Extracción de Polifenoles del Algarrobo de Christou et al., (2021) resultó parámetros óptimos de extracción tales como tiempo 14 min, una concentración de solvente acetona al 54 %, con respecto a la temperatura no indica un valor numérico, pero menciona que fueron temperaturas más bajas a las de las convencionales, se hace la comparación, con los arrojados en la extracción del pigmento de “tankar”, de tiempo 80 min, este resultando un valor más alto y de concentración de solvente al 80 % de la misma forma resultó un valor más alto.

En cambio Huo et al., (2025) en la extracción de polifenoles de residuos del tallo de *Flammulina velutipes*, en comparativa con los resultados del pigmento de “tankar” temperatura (50 °C), tiempo (80 min) y concentración del solvente (80 %), obtuvo valores de factor tiempo 90 minutos este último mostrando cercanía, factor temperatura 44 °C siendo un valor más bajo y factor concentración de solvente etanol 75 % coincidiendo en el uso del solvente y en rangos de concentración óptima similares.

En la extracción de pigmentos de “tankar” los factores fueron tiempo (80 min), temperatura (50 °C) y concentración del solvente (80 %), mientras que Hussain et al., (2024), obtuvieron valores de tiempo en un rango de 10 a 30 minutos, temperatura de 40 °C y concentración de solvente etanol al 70 %, los tres factores optimizados muestran una alta cercanía entre cada una de ellas.

Asimismo, el uso de disolventes de grado alimenticio como el etanol al 80% enfatiza la relevancia de este enfoque para aplicaciones alimentarias seguras, alineándose con Del Carpio (2021), quien mostró que las extracciones con etanol acidificado mantienen la estabilidad y ofrecen funcionalidad antioxidante a los productos terminados. Esto no solo aumenta el valor nutricional, sino que también satisface el deseo del consumidor de mejores componentes libres de residuos o contaminantes dañinos. Extender la vida útil del producto y garantizar la estabilidad del pigmento frente a los elementos

ambientales dependen de la etapa de microencapsulación, que resulta esencial.

5.3. Referido a: Solubilidad e higroscopicidad del pigmento de frutos de “tankar” (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon)

Optimizar tanto la solubilidad como la higroscopicidad del polvo resultante depende del equilibrio en el porcentaje de maltodextrina (como agente formador de película), alginato de sodio (para el desarrollo de la matriz) y cloruro de calcio (para la gelificación óptima). Estos hallazgos complementan estudios anteriores sobre la encapsulación de antocianinas de diversas fuentes—aunque pocos estudios han trabajado con *Berberis*—y enfatizan la necesidad de ajustar estos parámetros dependiendo de la aplicación particular en la producción de componentes funcionales.

La presente investigación, utilizó para la microencapsulación maltodextrina, alginato de sodio y cloruro de calcio; respecto a la solubilidad este reportó el valor de 96.4 %, valor que resulta superior al reportado por Mbonambi et al., (2025) en Microencapsulados de orujo de frambuesa, utilizando goma arábica y mucílago como materiales de pared alcanzando el 70% de solubilidad.

Por su parte el resultado que obtuvo de Melo et al., (2024) cuya solubilidad varió entre 29.42% y 39.48% reportados para el polvo de cáscara de bacuri, este resultado frente al que se obtuvo del pigmento de “tankar” (96.4 %) es inferior.

Finalmente Vargas et al., (2024) en su estudio de microencapsulación de pulpa de açaí por secado por aspersión, obtuvo el 23.206 % de solubilidad para sus polvos encapsulados, con valores que oscilaron entre 19.8% y 23.4%, lo cual muestra que el valor del “tankar” (96.4 %) sigue siendo superior a todos los autores ya mencionados.

Respecto a la higroscopicidad, del pigmento microencapsulado de Tankar, se obtuvo un valor que oscila entre 4.64%-5.94%, mientras que los microencapsulados de pulpa de Acai de Vargas et al., (2024) la higroscopicidad oscilaba entre 4.41% - 7.279%), siendo ligeramente

menor al del presente estudio.

En cambio, los microencapsulados de jambolán - camu-camu, tamarillo, piña - menta Campos et al. (2025) alcanzaron valores de higroscopicidad que oscilaron entre (21.25% y 35.12 %), (27.57 – 45.55 %) y (28.36–43.32 %) respectivamente, siendo considerablemente altos en comparación con los resultados de este estudio donde se alcanzó valores entre” 4.64%- 5.94% de higroscopicidad

Por su lado los microencapsulados de zanahoria anaranjada de Arebo et al. (2023) alcanzaron una higroscopicidad que osciló entre 11.67 % a 16.68 %, siendo superiores en comparación con los resultados de esta investigación donde se logró valores entre” 4.64 % - 5.94 % de higroscopicidad.

Básicamente, los hallazgos demuestran que, cuando se extrae y microencapsula correctamente, el pigmento natural de “tankar” proporciona un sustituto eficiente, seguro y aprobado para los colores sintéticos en el yogur probiótico. Este estudio se suma a los datos crecientes respaldados por autores como (Del Carpio, 2021; Shagñay et al., 2024).

5.4. Referido a: Aceptabilidad del yogur probiótico con microencapsulados del pigmento de frutos de “tankar” (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon)

En cuanto a los elementos sensoriales y funcionales, a los clientes les gusta el color microencapsulado de “tankar” añadido al yogur probiótico; la dosis ideal es de 1 g por 50 mL de producto. Esto coincide con los hallazgos de Henry (2022), quien subrayó la aceptabilidad favorable de los yogures coloreados con extractos naturales y recomendó condiciones rigurosas de pH y almacenamiento refrigerado para mantener tanto el color como la calidad sensorial. La elección de la dosis se vuelve especialmente crucial para garantizar un color atractivo y consistente sin alterar las propiedades organolépticas del yogur, como el sabor y la textura.

Por el contrario, estudios como el de Gonzalez (2021) confirman que, siempre que se utilicen técnicas de extracción efectivas y se mantenga la calidad microbiológica del producto

resultante, la adición de extractos ricos en antocianinas puede alcanzar estándares de calidad visual comparables o superiores a los colorantes comerciales. Es importante subrayar que, de acuerdo con Del Carpio (2021), el pigmento “tankar” no solo proporcionó color, sino que también podría ayudar a aumentar la capacidad antioxidante del yogur, un aspecto que debe ser evaluado en futuras investigaciones. Tecnológicamente, el bajo índice de absorción de humedad, la solubilidad y la simplicidad de manejo del pigmento microencapsulado enfatizan sus ventajas competitivas sobre los pigmentos sintéticos o inestables, subrayando así la necesidad de la optimización realizada. No obstante, la creación de pigmentos naturales enfrenta dificultades, incluyendo la composición de la materia prima, el costo del proceso de encapsulación y la aceptación masiva por parte del consumidor final, lo que resalta la necesidad de continuar desarrollando la investigación aplicada.

Entre los límites del estudio actual se encuentran las circunstancias experimentales controladas y la escala de laboratorio utilizada. Los estudios futuros serán cruciales para confirmar estos hallazgos a niveles piloto e industriales, así como para investigar la estabilidad del pigmento en diferentes entornos de distribución y comercialización y durante períodos prolongados de almacenamiento. Además, se recomienda el análisis de la bioactividad residual de los antocianos después de las operaciones de pasteurización y encapsulación del yogur, así como su posible sinergia con otros componentes funcionales del producto resultante.

Además, la aceptabilidad sensorial podría investigarse mediante pruebas de consumidores en otras áreas, alterando así el perfil demográfico y subrayando el impacto cultural en la percepción de los pigmentos naturales.

En los estudios de (Henry, 2022; Gonsalez,2021) desarrollaron componentes creativos alineados con las tendencias actuales en alimentación saludable y sostenible. Para garantizar un cambio exitoso hacia un sector alimentario más natural y responsable, es esencial, no obstante, seguir explorando sus aspectos técnicos, funcionales y sensoriales.

VI. CONCLUSIONES

- Se logró extraer pigmento de los frutos de “tankar” asistido por ultrasonido, para luego ser microencapsulado y finalmente aplicado en yogur probiótico.
- Mediante el Sistema de Clasificación APG IV (2016) se obtuvo el siguiente posicionamiento taxonómico del “tankar”; ORDEN: Ranunculales, FAMILIA: BERBERIDACEAE, GÉNERO: Berberis, ESPECIE: *Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon.
- Para obtener la mayor cantidad de pigmento de los frutos de “tankar” (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon), se encontró que las condiciones ideales son: 80 minutos de extracción, una temperatura de 50°C y una concentración del solvente del 80%. Con estas condiciones, se logró extraer hasta 204.14 mg de cianidina 3-glucósido por litro.
- Para lograr la mejor disolución del pigmento microencapsulado de “tankar”, se encontró que las cantidades óptimas son 30.11 % de maltodextrina, 3.0 % de alginato de sodio y 1.09 % de cloruro de calcio, lo que resultó en una solubilidad del 96.4 %. En cuanto a la absorción de humedad del pigmento microencapsulado de “tankar” (***Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon**), en el caso de la higroscopicidad se obtuvo valores de concentración con 30.75 % de maltodextrina, 4.0 % de alginato de sodio y 1.4 % de cloruro de calcio, lo que resultó en una higroscopicidad del 4.64%.
- Yogur probiótico con pigmento natural de “tankar” (*Berberis flexuosa* Ruiz & Pav.) fue probado para ver si le gustaba a la gente. Resultó que la cantidad que más gustó fue cuando se añadió 1 gramo del pigmento microencapsulado por cada 50 mililitros de yogur.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios taxonómicos y fitoquímicos exhaustivos de las variedades de "tankar" en diversas regiones geográficas con el fin de comprender las variaciones en el contenido de pigmentos y compuestos bioactivos.
- Realizar estudios a nivel industrial de los microencapsulados, dado que la investigación presentó una alta solubilidad y baja higroscopicidad, con esto se evaluaría la viabilidad técnica y económica de la producción a gran escala, considerando los desafíos de costos y la composición de la materia prima
- Medir la capacidad antioxidante del yogur probiótico enriquecido específicamente con el pigmento microencapsulado de "tankar".
- Realizar un análisis de viabilidad comercial y sostenibilidad de toda la cadena de valor, desde la recolección del fruto hasta la aplicación en el yogur, para identificar los costos asociados y las oportunidades que permitan una comercialización competitiva del pigmento natural en el mercado.
- Fomentar el origen natural del pigmento de "tankar", sus beneficios a la salud y contribución a la alimentación libre de aditivos sintéticos.

VIII. REFERENCIAS

- Ahmed, S. K. (2024). How to choose a sampling technique and determine sample size for research: A simplified guide for researchers. *Oral Oncology Reports*, 12, 100662. <https://doi.org/10.1016/j.oor.2024.100662>
- Arebo, M. A., Feyisa, J. D., Tafa, K. D., y Satheesh, N. (2023). Optimization of spray-drying parameter for production of better quality orange fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) powder: Selected physiochemical, morphological, and structural properties. *Heliyon*, 9(1), e13078. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13078>
- Barragán Condori, M., Aro Aro, J. M., Huamaní Meléndez, V. J., y Cartagena Cutipa, R. (2018). Antocianinas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del mio-mio (*Coriaria ruscifolia* L). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(4), 419-428.
- Bedoya, V. H. F. (2020). Tipos de justificación en la investigación científica. *Espíritu emprendedor TES*, 4(3), 65-76.
- Brown, M. (2010). *Sensory characteristics and classification of commercial and experimental plain yogurts*. [Tesis de maestría, Kansas State University]. Repositorio Institucional K-STATE. <https://krex.k-state.edu/dspace/bitstream/2097/4114/1/MarissaBrown2010.pdf>
- Campos, A. P. R., Araújo, A. L. de, Chisté, R. C., y Pena, R. da S. (2025). Encapsulation of jambolan (*Syzygium cumini*) and camu-camu (*Myrciaria dubia*) juice blend: Definition of spray drying and storage conditions. *LWT*, 223, 117745. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117745>
- Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., y Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(4), 420-428. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.05.003>

- Caparino, O. A., Tang, J., Nindo, C. I., Sablani, S. S., Powers, J. R., y Fellman, J. K. (2012). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. *Journal of food engineering*, 111(1), 135-148. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.010>
- Castillo Granda, M. del C. (2017). *Redes de conocimiento: Diagnóstico de redes de investigación en Perú para la generación de innovación en derivados de los productos originarios Maca, Yacón, Camu Camu y Sacha Inchi*. <https://repositorio.concytec.gob.pe/entities/publication/5152f7cd-2b82-4b4a-8a63-97904ae74b09>
- Castro Tacas, A. F. (2024). *Obtención de bebida alcohólica de Berberis flexuosa Ruiz & Pav.(tánkar) determinación del contenido de polifenoles y actividad antioxidante*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. Repositorio Institucional UNICA. <https://repositorio.unica.edu.pe/items/755bea3f-7084-4e17-bc1d-6fff69773272>
- Chávez Zenteno, D. R. (2014). *Estudio de Pre-Factibilidad para la Exportación de Cocona Fresca Orgánica (SOLANUM SESSILIFLORUM DUNAL)*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio Institucional UCSM. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/d2f5ae8b-2307-4ce3-90d3-f882523a8943>
- Christou, A., Stavrou, I. J., y Kapnissi-Christodoulou, C. P. (2021). Continuous and pulsed ultrasound-assisted extraction of carob's antioxidants: Processing parameters optimization and identification of polyphenolic composition. *Ultrasonics Sonochemistry*, 76, 105630. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105630>
- del Carpio Jiménez, C. (2021). Colorantes naturales antocianicos extraídos de frutos de Berberis humbertiana y Berberis boliviana para su uso en yogures. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(4), 321-331.

- Fuentes Regal, C. F., y Huarcaya Rodríguez, S. R. (2019). *Análisis de factores que influyen sobre la evolución de las exportaciones peruanas de arándanos frescos con la partida arancelaria 081040 a Países Bajos en el periodo del 2012-2017*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Institucional UPC. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/626064>
- Giusti, M. M., y Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 00(1), F1.2.1-F1.2.13. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>
- Gonzalez Escobar, M. A. (2021). *Extracción de antocianinas a partir de la uva silvestre (Cissus verticillata) para su aplicación como colorante natural en derivados lácteos (Yogurt)*. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/7943228?show=full>
- Hernández-Carrillo, A. L., y Recinos-Guerrero, K. E. (2022). *Extracción y cuantificación de betalainas en cuatro variedades de pitahaya para colorante alimentario*. [Tesis, Universidad Dr. José Matías Delgado]. Repositorio REDICCES. <http://redicces.org.sv/jspui/handle/10972/5111>
- Humanante Guayanlema, H. A. (2022). *Caracterización de yogurt tipo III utilizando las antocianinas de la flor de jamaica (Hibiscus sabdariffa) como colorante natural*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17804>
- Huo, H., Bao, H., y Yin, H. (2025). Optimization of bioactive polyphenols recovery from *Flammulina velutipes* stem waste using nonionic surfactant-integrated ultrasound-assisted extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 119, 107408. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2025.107408>
- Hussain, A., Batool, A., Yaqub, S., Iqbal, A., Kauser, S., Arif, M. R., Ali, S., Gorski, F. I., Nisar, R., Hussain, A., Firdous, N., Fatima, H., y Ali, A. (2024). Effects of spray drying and

- ultrasonic assisted extraction on the phytochemicals, antioxidant and antimicrobial activities of strawberry fruit. *Food Chemistry Advances*, 5, 100755. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100755>
- Iriondo-DeHond, M., Blázquez-Duff, J. M., Del Castillo, M. D., y Miguel, E. (2020). Nutritional quality, sensory analysis and shelf life stability of yogurts containing inulin-type fructans and winery byproducts for sustainable health. *Foods*, 9(9), 1199.
- Kim, D.-O., Lee, K. W., Lee, H. J., y Lee, C. Y. (2002). Vitamin C Equivalent Antioxidant Capacity (VCEAC) of Phenolic Phytochemicals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(13), 3713-3717. <https://doi.org/10.1021/jf020071c>
- Lauria, V. B. M., y Silva, L. P. (2024). Green extraction of natural colorants from food residues: Colorimetric characterization and nanostructuring for enhanced stability. *Foods*, 13(6), 962.
- Llamuca Arévalo, A. E. (2018). *Extracción de colorantes naturales de jamaica (Hibiscus sabdariffa), Mora Andina (Rubus glaucus) y Uva (Vitis vinifera) para el uso en la industria de alimentos*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8904>
- Loganathan, L., Jagadeesh, A., Seema, S., Kanagasabapathy, S., Palanivel, V., y Oleyan. (2024). Sustainable ultrasonic extraction of antibacterial Basella alba fruit dye for cotton, silk, and leather. *Ultrasonics Sonochemistry*, 111, 107069. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.107069>
- Luzardo-Ocampo, I., Ramírez-Jiménez, A. K., Yañez, J., Mojica, L., y Luna-Vital, D. A. (2021). Technological applications of natural colorants in food systems: A review. *Foods*, 10(3), 634.
- Marín, S. E., y Mejía, C. M. (2012). *Extracción de colorante a partir de la flor de jamaica*.

- [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua]. Repositorio Institucional UNI. <https://ribuni.uni.edu.ni/619/1/37975.pdf>
- Martins, N., Roriz, C. L., Morales, P., Barros, L., y Ferreira, I. C. F. R. (2016). Food colorants: Challenges, opportunities and current desires of agro-industries to ensure consumer expectations and regulatory practices. *Trends in Food Science & Technology*, 52, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.009>
- Mego Vargas, L. (2020). *Oportunidad comercial para la exportación de arándanos frescos, provenientes de la región Amazonas, 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza]. Repositorio Institucional UNTRM. <https://hdl.handle.net/20.500.14077/2251>
- Méndez Chávez, P. L. (2018). *Análisis del desempeño exportador a partir del modelo de gestión empresarial basado en el comercio justo en las empresas exportadoras de banano de la región Piura del 2013 al 2016*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. <https://hdl.handle.net/11537/12981>
- Menor García, L. (2019). *Intensificación de la extracción de betanina en remolacha roja mediante ultrasonidos y pulsos eléctricos* [Tesis de pregrado, Universitat Politècnica de València]. Repositorio Institucional UPV. <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/6d768f4f-ec65-4f33-bb28-9b04b7858bac/content>
- Mera Morillo, C. (2015). *Desarrollo de técnicas de extracción y análisis de antocianinas y compuestos fenólicos en Jaboticaba (Myrciaria Cauliflora)*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cádiz]. Repositorio Institucional UCA. <https://rodin.uca.es/handle/10498/17722>
- Montgomery, D. C., Runger, G. C., y Medal, E. G. U. (1996). *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería* (Vol. 1). McGraw-Hill.

https://www.uaq.mx/informatica/contenidosExtenso/1203_Probabilidad%20y%20Estad%C3%ADstica.pdf

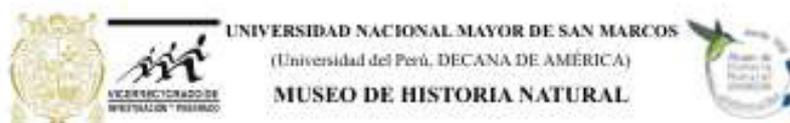
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., y Anderson-Cook, C. M. (2016). *Response surface methodology: Process and product optimization using designed experiments*. John Wiley & Sons.
- Ramírez Medina, P. M. (2013). *Relaciones de confianza en la cadena de valor de la papa nativa: Desde la chacra hasta los anaqueles. Estudio de caso de la cadena de valor compuesta por los productores de Kishuará, Capac Perú y Supermercados peruanos. 2009-2013*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/5440>
- Reyes-Ruiz, L., y Carmona Alvarado, F. A. (2020). *La investigación documental para la comprensión ontológica del objeto de estudio*. Ediciones Universidad Simón Bolívar. <https://bonga.unisimon.edu.co/items/cbb661ef-30e3-4263-b7b2-810e88237f5f>
- Rosales, L. G. (2019). Extracción de las antocianinas de la col lombarda. *Revista Ingeniería y Ciencia*, 1(11). <http://www.revistasguatemala.usac.edu.gt/index.php/riyc/article/view/1031>
- Sarwar, A., Aziz, T., Al-Dalali, S., Zhao, X., Zhang, J., ud Din, J., Chen, C., Cao, Y., y Yang, Z. (2019). Physicochemical and microbiological properties of synbiotic yogurt made with probiotic yeast *Saccharomyces boulardii* in combination with inulin. *Foods*, 8(10), 468.
- Shagñay, T., Ramos, A., Castillo, E., y Sharup, F. (2024). Métodos de extracción de pigmentos antocianicos del maíz morado (*Zea mays* L.). *RECIENA*, 4(1), 7-14.
- Stoica, F., Rațu, R. N., Motrescu, I., Cara, I. G., Filip, M., Țopa, D., y Jităreanu, G. (2024). Application of pomace powder of black carrot as a natural food ingredient in yoghurt. *Foods*, 13(7), 1130.

- Tierra Totoy, V. J. (2018). *Extracción de colorantes naturales de Camote (Ipomoea batatas), Col Morada (Brassica oleracea var. Capitata) y Maíz Morado (Zea mays L.) para el uso en la industria de alimentos*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional ESPOCH. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/9025>
- Tzanova, M. T., Yaneva, Z., Ivanova, D., Toneva, M., Grozeva, N., y Memdueva, N. (2024). Green solvents for extraction of natural food colorants from plants: Selectivity and stability issues. *Foods*, 13(4), 605.
- Ulloa Ulloa, C., Sagástegui, A., y Sánchez, I. (2006). Berberidaceae endémicas del Perú. *Revista Peruana de Biología*, 13(2), 171-173.
- Vargas, V., Saldarriaga, S., Sánchez, F. S., Cuellar, L. N., y Paladines, G. M. (2024). Effects of the spray-drying process using maltodextrin on bioactive compounds and antioxidant activity of the pulp of the tropical fruit açai (*Euterpe oleracea* Mart.). *Heliyon*, 10(13), e33544. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33544>
- Vergara Hinostroza, C. (2013). *Extracción y estabilización de betalainas de tuna púrpura (opuntia ficus-indica) mediante tecnología de membranas y microencapsulación, como colorante alimentario*. [Tesis de doctorado, Universidad de Chile]. Repositorio Institucional UCHILE. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/114868>
- Wijsekara, A., Weerasingha, V., Jayarathna, S., y Priyashantha, H. (2022). Quality parameters of natural phenolics and its impact on physicochemical, microbiological, and sensory quality attributes of probiotic stirred yogurt during the storage. *Food Chemistry: X*, 14, 100332.
- Zapata, L. M. (2014). *Obtención de extracto de antocianinas a partir de arándanos para ser utilizado como antioxidante y colorante en la industria alimentaria*. [Tesis de doctorado, Universitat Politècnica de València]. Repositorio Institucional UPV.

<https://riunet.upv.es/handle/10251/39105>

IX. ANEXOS

Anexo A: Posicionamiento taxonómico de la planta “tankar”



"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

CONSTANCIA N° 061-USM-MHN-2023

LA JEFA DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM) DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, DEJA CONSTANCIA QUE:

La muestra vegetal (fétida) recibida de **Albica Zmaida Sanchez Jibaja**, estudiante de posgrado de la Universidad Nacional Federico Villarreal ha sido estudiada y clasificada como: *Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon y tiene la siguiente posición taxonómica, según el Sistema de Clasificación APG IV (2016).

ORDEN : *Ranunculales*

FAMILIA : *BERBERIDACEAE*

GÉNERO : *Berberis*

ESPECIE : *Berberis flexuosa* Ruiz & Pavon

Nombre vulgar: "Tankar kishka"

Procedencia: Pucallanca, Apurímac

Determinado por: MSc. Hamilton Beltrán Santiago.

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada, para los fines que estime conveniente.

Lima, 20 de marzo de 2023

Dra. Joaquina Arana Castillo

JEFA DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM)

Av. Armillas 1256, Jesús María
Apto. 14-054, Lima 14, Perú

Teléfono: (511)471-0117, 470-4471
265-8819, 019-7698 anexo 5703

e-mail: herbariossm@unsm.edu.pe
<http://museo.hn.unsm.edu.pe>

Anexo B: Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBEJTIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	MÉTODO
<p>Problema general: ¿Será posible optimizar los parámetros de extracción y microencapsulación del colorante de frutos de “tankar” (<i>Berberis flexuosa ruiz & pav.</i>) y aplicar en yogur probiótico?</p> <p>Problemas específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> •¿Qué posición taxonómica tendrá la planta “tankar”? •¿Cuáles serán los parámetros óptimos de tiempo, temperatura, porcentaje del solvente en la extracción de colorante de frutos de “tankar” (<i>Berberis flexuosa ruiz & pav.</i>)? •¿Cuáles serán los parámetros óptimos de solubilidad e higroscopicidad de microencapsulado de colorante de “tankar” (<i>Berberis flexuosa ruiz & pav.</i>)? •¿Será posible Determinar la aceptabilidad del yogur probiótico con microencapsulados del colorante extraídos de “tankar” (<i>Berberis flexuosa ruiz & pav.</i>)? 	<p>Objetivo general: Evaluar los parámetros óptimos de extracción y microencapsulación del pigmento de frutos de “tankar” (<i>Berberis flexuosa ruiz & pav.</i>) y su aplicación en yogur probiótico</p> <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Caracterizar taxonómicamente la planta “tankar” •Determinar los parámetros óptimos de tiempo, temperatura, porcentaje del solvente en la extracción del pigmento de frutos de “tankar” (<i>Berberis flexuosa ruiz & pav.</i>) •Determinar los parámetros de solubilidad e higroscopicidad de microencapsulado del pigmento de “tankar” (<i>Berberis flexuosa ruiz & pav.</i>). •Determinar la aceptabilidad del yogur probiótico con microencapsulados del pigmento que se extrajo de “tankar” (<i>Berberis flexuosa ruiz & pav.</i>) 	<p>Hipótesis</p> <ul style="list-style-type: none"> •Mediante el Sistema de Clasificación APG IV (2016) es factible observar la posición taxonómica del “tankar”. •Existen condiciones óptimas de tiempo, temperatura y porcentaje de solvente que permiten maximizar la eficiencia de extracción del pigmento de los frutos de tankar (<i>Berberis flexuosa ruiz & pav.</i>). •Mediante la adecuada selección de materiales y condiciones del proceso de microencapsulación, se pueden obtener microencapsulados del pigmento de “tankar” con alta solubilidad y baja higroscopicidad. •El yogur probiótico adicionado con microencapsulados del pigmento que se extrajo de “tankar” (<i>Berberis flexuosa ruiz & pav.</i>) es sensorialmente aceptado por los consumidores. 	<p>Variable 1: Extracción del pigmento de "tankar"</p> <p>Variables 2: Microencapsulación del pigmento de "tankar"</p> <p>Variable 3: Aplicación del pigmento microencapsulado en el yogur probiótico</p>	<p>Tipo de investigación: Investigación aplicada</p> <p>Nivel de investigación: Metodológico cuantitativo</p> <p>Técnica de investigación: Encuestas</p> <p>Población: La población comprende los frutos de “tankar” de la zona Atero, distrito Pochuanca, provincia Aymaraes y departamento Apurímac.</p> <p>Muestra: La muestra poblacional estará conformada por 100 plantas de "tankar" ubicadas en un área aproximado de 49 502.16 m2. $n = N * Z^2 * p * q / (e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q)$ con la cual se calculó 79 plantas para la recolección.</p> <p>Muestreo: De un total de 79 plantas se recolectarán frutos que se encuentran en condiciones óptimas de maduración, obteniendo así 10 kg.</p>

*Anexo C: Ficha para aceptación sensorial escala hedónica***FICHA PARA ACEPTACIÓN SENSORIAL ESCALA HEDÓNICA**

Nombre..... Fecha.....

INSTRUCCIONES: Tiene varias muestras de yogur probiótico delante de usted. Examine y pruebe cada muestra, empezando por la izquierda y avanzando hacia la derecha. Luego, marque con una “X” la palabra que mejor describa lo que piensa del sabor de cada yogur.

Características sensoriales	T1	T2	T3	T4
Muy desagradable				
Desagradable				
Ligeramente desagradable				
Neutral				
Ligeramente agradable				
Agradable				
Muy agradable				

EXPRESA COMENTARIOS _____
