

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

**IMPACTO DEL EXTRACTO NATURAL Y
MICROENCAPSULADO DE CORONTA DE MAÍZ
MORADO INIA 601 EN LAS PROPIEDADES
SENSORIALES DINÁMICAS Y ANTIOXIDANTES DEL
YOGURT**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Autoras: Bach. Campos Cardozo Deyly

Bach. Montenegro Lopez Karyn Estefany

Asesor: Mg. Hans Himbler Minchán Velayarce

Co Asesor: Dr. Erick Manuel Saldaña Villa

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE
PRODUCTOS**

**JAÉN – PERÚ
2026**

Deyly Campos Cardozo - Karyn E. Montenegro Lopez

IMPACTO DEL EXTRACTO NATURAL Y MICROENCAPSULADO DE CORONTA DE MAÍZ MORADO INIA 601 EN LAS PROPIEDA...

 Quick Submit Quick Submit Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3615060072

91 páginas

Fecha de entrega

21 jul 2026, 12:28 p.m. GMT-5

18.602 palabras

Fecha de descarga

21 jul 2026, 12:31 p.m. GMT-5

109.837 caracteres

Nombre del archivo

OS_CARDOZO_KARYN_E_MONTENEGRO_LOPEZ_2_-_Deyly_Campos_Cardozo.pdf

Tamaño del archivo

5.6 MB



Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

4% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cá...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 3%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

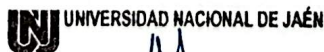
Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 16 de julio del año 2026, siendo las 11:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano
Secretario: Mg. Andrea Fioreli Velarde Santoyo
Vocal: Dra. Eliana Milagros Cabrejos Barrios

para evaluar la Sustentación de:

- () Trabajo de Investigación
(X) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "IMPACTO DEL EXTRACTO NATURAL Y MICROENCAPSULADO DE CORONTA DE MAÍZ MORADO INIA 601 EN LAS PROPIEDADES SENSORIALES DINÁMICAS Y ANTIOXIDANTES DEL YOGURT"

presentado por los Bach. Deyly Campos Cardozo y Karyn Estefany Montenegro Lopez de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|-------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | (X) |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 12:15 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Jaén, 16 de julio de 2026


Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano
Presidente


Mg. Andrea Fioreli Velarde Santoyo
Secretario


Dra. Eliana Milagros Cabrejos Barrios
Vocal

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, **Karyn Estefany Montenegro Lopez**, egresado de la carrera Profesional de Ingeniera de Industrias Alimentarias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 71648933.

Declaro bajo juramento que:

7. Soy Autor del trabajo titulado:

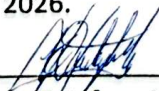
“Impacto del extracto natural y microencapsulado de coronta de maíz morado INIA 601 en las propiedades sensoriales dinámicas y antioxidantes del yogurt”
Asesorado por Mg. Hans Himbler Minchán Velayarce y Dr. Erick Manuel Saldaña Villa.

El mismo que presento bajo la modalidad de **Bachiller** para optar; el Título Profesional/Grado Académico de **Ingeniero en Industrias Alimentarias**

8. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
9. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
10. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
11. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
12. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 13 de agosto del 2026.


Karyn Estefany Montenegro Lopez
DNI: 71648933

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, **Deyly Campos Cardozo**, egresado de la carrera Profesional de Ingeniera de Industrias Alimentarias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 75146602.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“Impacto del extracto natural y microencapsulado de coronta de maíz morado INIA 601 en las propiedades sensoriales dinámicas y antioxidantes del yogurt”

Asesorado por Mg. Hans Himbler Minchán Velayarce y Dr. Erick Manuel Saldaña Villa.

El mismo que presento bajo la modalidad de **Bachiller** para optar; el Título Profesional/Grado Académico de **Ingeniero en Industrias Alimentarias**

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 13 de agosto del 2026.



Deyly Campos Cardozo

DNI: 75146602



ÍNDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	9
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
2.1 Lugar de ejecución.....	13
2.2 Población, muestra y muestreo:	13
2.3 Materiales	15
2.4 Métodos, técnicas, procedimientos y técnicas de recolección de datos.....	16
2.4.1. Metodologías.....	16
2.4.1.1. Obtención del extracto natural de coronta de maíz morado INIA 601	16
2.4.1.2. Proceso de microencapsulación	16
2.4.1.3. Elaboración del yogurt e incorporación del extracto natural y microencapsulado.....	18
2.4.1.4. Preparación de las muestras	22
2.4.1.5. Determinación de antocianinas con el método de pH diferencial	22
2.4.1.6. Determinación de capacidad antioxidante con el método de DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo 0,06 mM)	25
2.4.1.7. Determinación de la inocuidad microbiológica.....	30
2.4.1.8. Análisis sensorial dinámico y aceptabilidad del yogurt con extracto natural y microencapsulado.....	33
2.4.2. Variables del Estudio	36
2.4.3. Diseño de la Investigación	37
2.4.4. Análisis Estadístico de los datos	38
III. RESULTADOS	40
3.1 Cuantificación de antocianinas totales y capacidad antioxidante de los extractos natural y microencapsulado	40
3.1.1. Contenido de antocianinas monoméricas totales.....	40
3.1.2. Capacidad antioxidante mediante DPPH	40
3.1.1 Variación de antocianinas totales durante el almacenamiento del yogurt enriquecido en los días 0, 5, 10 y 15,	40
3.2 Determinación de las características sensoriales dinámicas mediante análisis TDS, y evaluación de la aceptabilidad sensorial.....	41
3.3.1. Análisis sensorial dinámico.....	41
3.3.1. Aceptabilidad del yogurt	44
IV. DISCUSIÓN	45
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
5.1 Conclusiones.....	50
5.2 Recomendaciones	51
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
ANEXOS.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Formulaciones indicando el porcentaje de extracto a adicionar.	20
Tabla 2 Curva de calibración de DPPH	27
Tabla 3 Criterios microbiológicos de calidad sanitaria para yogurt según NTS N°071- MINSA/DIGESA-V.01	33
Tabla 4 Contenido de antocianinas totales y capacidad antioxidante de los extractos natural y microencapsulado de coronta de maíz morado INIA 601	40
Tabla 5 Atributos significativamente dominantes por formulaciones, en cada fase del análisis	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Diagrama de flujo de extracción del extracto	17
Figura 2	Diagrama de flujo de la elaboración del yogurt adicionando el extracto natural y microencapsulado	21
Figura 3	Curva de calibración del estándar Trolox para el análisis de capacidad antioxidante (DPPH) a 517 nm.	27
Figura 4	Evolución temporal de la capacidad antioxidante y concentración antocianinas en yogurt	41
Figura 5	Curvas del análisis sensorial dinámico, dominancia de los atributos en cada formulación.	43
Figura 6	Aceptabilidad de las formulaciones de yogurt	44

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Certificación de materia prima.....	62
Anexo 2 Instrumentos de evaluación sensorial	63
Anexo 3 Análisis estadístico detallado normalidad, homogeneidad de varianza, antocianinas y capacidad antioxidante	64
Anexo 4 Registro Fotográfico	74
Anexo 5 Procedimiento detallado de evaluación mediante dominancia temporal de sensaciones (TDS)	82
Anexo 6 Formulario para la técnica de ASOCIACIÓN LIBRE DE PALABRAS (Free Word Association-FWA).....	84
Anexo 7 Formulario FWA llenado por un panelista	85
Anexo 8 Ficha de consentimiento informado.....	90
Anexo 9 Ficha de consentimiento informado llenado por un panelista	91

RESUMEN

Los productos lácteos enriquecidos con antocianinas naturales enfrentan desafíos de estabilidad fisicoquímica y aceptabilidad sensorial. El objetivo fue evaluar el impacto de extractos natural y microencapsulado de coronta de maíz morado INIA 601 sobre las propiedades sensoriales dinámicas y antioxidantes del yogurt. Se empleó un diseño experimental completamente al azar con seis formulaciones evaluadas durante 15 días de almacenamiento a 4 °C. Se cuantificaron antocianinas totales mediante pH diferencial y capacidad antioxidante por DPPH, se realizó análisis sensorial mediante Dominancia Temporal de Sensaciones con 130 consumidores, y se evaluó aceptabilidad con escala hedónica de 9 puntos. El extracto natural registró 364.759 mg cianidina-3-glucósido/100 g y 269.217 μ mol equivalentes Trolox/g, mientras que el extracto microencapsulado con inulina-maltodextrina presentó 184.967 mg cianidina-3-glucósido/100 g y 189.717 μ mol equivalentes Trolox/g. Las formulaciones microencapsuladas mostraron dominancia sostenida de cremosidad durante 70% del tiempo de consumo. Las formulaciones alcanzaron aceptabilidad entre 6.36-6.88/9 puntos. La formulación mixta (0.15% natural + 0.15% microencapsulado) constituye la opción más prometedora para desarrollo de yogurt con adición de antocianinas, combinando elevada capacidad antioxidante y perfil sensorial diferenciado.

Palabras clave: Dominancia temporal de sensaciones, subproducto agroindustrial, alimentos funcionales, liofilización, estabilidad de pigmentos naturales.

ABSTRACT

Dairy products enriched with natural anthocyanins face challenges regarding physicochemical stability and sensory acceptability. The objective was to evaluate the impact of natural and microencapsulated extracts from INIA 601 purple corn cob on the dynamic sensory properties and antioxidant capacity of yogurt. A completely randomized experimental design was employed with six formulations evaluated during 15 days of storage at 4 °C. Total anthocyanins were quantified by differential pH method and antioxidant capacity by DPPH assay. Sensory analysis was performed using Temporal Dominance of Sensations with 130 consumers, and acceptability was evaluated using a 9-point hedonic scale. The natural extract registered 364.759 mg cyanidin-3-glucoside/100 g and 269.217 µmol Trolox equivalents/g, while the microencapsulated extract with inulin-maltodextrin presented 184.967 mg cyanidin-3-glucoside/100 g and 189.717 µmol Trolox equivalents/g. The formulation with 0.30% natural extract maintained maximum bioactive levels with fluctuations below 8% during storage. Microencapsulated formulations exhibited sustained creaminess dominance during 70% of consumption time. Formulations achieved acceptability between 6.36-6.88/9 points. The mixed formulation (0.15% natural + 0.15% microencapsulated) constitutes the most promising option for yogurt with anthocyanin content development, combining elevated antioxidant capacity and differentiated sensory profile.

Keywords: Temporal dominance of sensations, agroindustrial by-product, functional foods, freeze-drying, natural pigment stability.

I. INTRODUCCIÓN

El mercado global de productos lácteos fermentados ha experimentado una expansión significativa, impulsado por la creciente demanda de consumidores que buscan alimentos con beneficios para su salud (Ahmad et al., 2022; Guemidi et al., 2024). El yogurt, reconocido como uno de los productos fermentados más populares mundialmente, ha emergido como una matriz ideal para la incorporación de antocianinas totales a través de microcápsulas, que pueden servir como vehículo de liberación controlada (Rajabi et al., 2024) de ingredientes funcionales (Ahmad et al., 2022). En el contexto peruano, el consumo de yogurt registró un crecimiento del 1.2% durante 2023, alcanzando un volumen de 189 millones de litros, lo que refleja el potencial de recuperación del mercado para productos lácteos innovadores, aunque aún se encuentra 11.7% por debajo de los niveles prepandemia (Ayala, 2024).

La industria alimentaria contemporánea enfrenta el desafío de desarrollar productos que no solo satisfagan las expectativas sensoriales del consumidor, sino que también proporcionen beneficios para la salud científicamente validados (Guemidi et al., 2024). En este contexto, la incorporación de extractos vegetales ricos en compuestos fenólicos ha ganado considerable atención como estrategia para el desarrollo de alimentos funcionales. Particularmente, las antocianinas, pertenecientes al grupo de flavonoides, han demostrado poseer propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y cardioprotectoras significativas, lo que las posiciona como ingredientes prometedores para la fortificación de productos lácteos (López-Astorga et al., 2025; Pires et al., 2018).

El maíz morado (*Zea mays* L.) representa una fuente vegetal de antocianinas, siendo la cianidina-3-glucósido el compuesto bioactivo predominante con propiedades antioxidantes documentadas (Cerro y Espillico, 2021; Rabanal-Atalaya y Medina-Hoyos, 2021). La variedad INIA 601, desarrollada por el Instituto Nacional de Innovación Agraria del Perú mediante un programa de mejoramiento genético, se caracteriza por concentraciones superiores de antocianinas en comparación con variedades tradicionales, alcanzando 6.12 mg/g en la coronta¹ (Real Academia Española, 2025) y 3.18 mg/g en la panca (Medina-Hoyos et al., 2020).

¹ El término **coronta** designa la raspa o raquis central de la mazorca de maíz una vez desgranada.

Sin embargo, la incorporación directa de antocianinas en la industria alimentaria presenta desafíos tecnológicos considerables debido a su elevada sensibilidad a factores ambientales (temperatura, luz y oxígeno) e intrínseco (pH), lo que resulta en pérdida de propiedades funcionales durante el procesamiento y almacenamiento (Feitosa et al., 2023). Las antocianinas presentan máxima estabilidad a $\text{pH} < 3$, mientras que a valores superiores a 7 se degradan rápidamente por oxidación (Campo et al., 2021). En respuesta a estas limitaciones, la microencapsulación mediante liofilización ha emergido como una tecnología de protección eficaz, permitiendo la estabilización de compuestos lábiles a través de su encapsulación en matrices poliméricas biocompatibles (Campo et al., 2021; Olt et al., 2022).

Los estudios de Campo et al. (2021) demostraron que la microencapsulación con maltodextrina y goma arábiga mejoró significativamente la retención de antocianinas durante el secado por liofilización, alcanzando eficiencias de encapsulación superiores al 85%. Complementariamente, Olt et al., (2022) evidenció que la incorporación de antocianinas totales microencapsuladas en yogurt no solo preservó la funcionalidad de los compuestos activos, sino que también mantuvo las características sensoriales del producto base.

El análisis de Dominancia Temporal de Sensaciones (TDS), desarrollado por Pineau et al. (2009), representa una técnica instrumental innovadora que permite evaluar la secuencia de atributos sensoriales dominantes a lo largo del tiempo de degustación. Esta metodología ha demostrado ser útil en la evaluación de productos lácteos funcionales, donde Chadha et al. (2022) incorporó edulcorantes (sacarosa, xilitol, estevia y fruto del monje), Medel-Marabolí et al. (2024) incluyó otros edulcorantes (sacarosa, sucralosa, esetvia, aspartamos y tagatosa), Lesme et al. (2020) combinaron con proteínas funcionales agregadas y Greis et al. (2020) adicionó alternativas vegetales conteniendo avena, papa y almidones. Todos ellos aplicaron TDS para caracterizar el perfil sensorial dinámico de yogurt enriquecidos.

Se ha documentado investigaciones de inclusión de extractos vegetales a yogurt, como la de Pires et al. (2020) usando colorantes naturales de flores comestibles. López-Astorga et al. (2025) que evaluaron extractos de orujo de uva. Sin embargo, no se ha reportado en bases indexadas como Scopus y Web of Science, sobre la incorporación de subproductos de coronta de maíz morado peruano INIA 601.

Particularmente, se requiere evidencia científica que permita determinar la concentración óptima de incorporación de extractos de coronta de maíz morado INIA 601, evaluar la estabilidad de antocianinas totales durante el almacenamiento refrigerado, y caracterizar la evolución temporal de los atributos sensoriales en yogurts enriquecidos mediante el análisis TDS. Esta información es relevante para el desarrollo de productos lácteos con potencial funcional que mantengan la aceptabilidad sensorial (Ahmad et al., 2022).

Inostroza et al. (2015) cuantificaron 192.63 mg equivalentes de cianidina-3-glucósido por 100 g de peso fresco en extractos etanólicos de *Tropaeolum tuberosum* aplicados como colorante natural en yogurt, mientras que Barretto et al. (2020) reportaron concentraciones de 67.21 mg/100 g en extractos de cáscara de *Solanum melongena* L. para la misma matriz láctea..

Campo et al. (2021) demostraron que la microencapsulación de extractos de *Hibiscus sabdariffa* mediante secado por atomización a 150°C utilizando mezclas de maltodextrina y goma arábiga (60:40) permitió retener fenólicos totales en concentraciones de 31.1 ± 0.5 mg equivalentes de ácido gálico/g y antocianinas de 15.1 ± 0.2 mg equivalentes de cianidina-3-glucósido/g. Por su parte, López-Astorga et al. (2025) obtuvieron capacidades antioxidantes de 124-249 μ mol equivalentes Trolox/g en microencapsulados de orujo de uva mediante spray-drying, confirmando la viabilidad tecnológica de la encapsulación para preservar compuestos bioactivos destinados a aplicaciones lácteas.

Barretto et al. (2020) evaluaron la estabilidad de antocianinas de *Solanum melongena* en yogurt durante 30 días a 4°C, reportando pH de 3.60-3.87 y acidez de 1.4-2.05% en formulaciones con extracto no encapsulado (1.0-2.0 g/100 mL), observando degradación progresiva de antocianinas; en contraste, el extracto microencapsulado mediante spray-drying con goma arábiga mantuvo concentraciones constantes con fenólicos totales de 225.17-291.98 mg equivalentes de ácido gálico/100 g yogurt.

Maleki et al. (2021) documentaron que extracto de *Tanacetum polycephalum* (750-1000 ppm) mantuvo estabilidad en yogurt durante 15 días sin diferencias significativas entre extracto libre y nanoencapsulado, atribuido a la protección conferida por la matriz láctea.

Olt et al. (2022) reportaron que la incorporación de antocianinas microencapsuladas de remolacha con inulina-maltodextrina en yogurt generó dominancia temprana del atributo “cremoso” en el análisis de Dominancia Temporal de Sensaciones, atribuido a las propiedades hidrocoloides de los agentes encapsulantes que incrementan la viscosidad aparente. Similarmente, Yagmur et al. (2024) documentaron que inulina en yogurt forma redes tridimensionales que retienen agua, modificando la percepción reológica durante la degustación, lo cual correlaciona con una mayor dominancia de atributos de textura en fases tempranas del consumo.

Silva et al. (2022) obtuvieron puntuaciones de aceptabilidad de 6.8-7.4/9 puntos en yogurt de cabra fortificado con extractos de uva en concentraciones de 0.5-2.0%, logrando capacidad antioxidante de 1.2 μmol equivalentes Trolox/g. por su lado, Inostroza et al. (2015) documentaron preferencia del 85% ($p < 0.05$) por yogurt adicionado con extracto de *Tropaeolum tuberosum* en comparación con formulaciones con colorantes sintéticos, estableciendo que extractos naturales en concentraciones funcionales inferiores al 2% mantienen aceptabilidad sin superar umbrales de rechazo en productos lácteos fermentados.

El objetivo general fue evaluar el impacto de los extractos natural y microencapsulado obtenidos a partir de la coronta de maíz morado INIA 601 sobre las propiedades sensoriales dinámicas y la capacidad antioxidante del yogurt. Los objetivos específicos comprendieron cuantificar las antocianinas totales y la capacidad antioxidante de los extractos natural y microencapsulado mediante métodos validados; analizar la variación de estas antocianinas totales durante el almacenamiento del yogurt enriquecido en los días 0, 5, 10 y 15; determinar las características sensoriales dinámicas mediante análisis TDS y evaluar la aceptabilidad sensorial del producto final.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Lugar de ejecución

La fase experimental de esta investigación se desarrolló en tres instalaciones. La extracción de antocianinas se ejecutó en el Laboratorio de Nutrición y Bromatología de Alimentos de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), mientras que las determinaciones microbiológicas y la cuantificación de metabolitos bioactivos se realizaron en el Laboratorio de Poscosecha de la misma institución (Anexo 4.8). El procesamiento y elaboración del yogurt se llevó a cabo en la Planta Piloto de Lácteos de la UNTRM. Finalmente, la caracterización sensorial mediante el método de Dominancia Temporal de Sensaciones (TDS) y las pruebas de aceptabilidad se efectuaron en el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la Universidad Nacional de Jaén, equipado con cabinas sensoriales.

2.2 Población, muestra y muestreo:

Materia prima vegetal

Población: Harina de coronta de maíz morado (*Zea mays* L.) variedad INIA 601, cultivada en el distrito de Matará, provincia y región de Cajamarca, Perú, durante la temporada de cosecha 2023-2024.

La harina de coronta de maíz morado variedad INIA 601 se adquirió de la Asociación de Productores Agropecuarios del distrito de Matará, provincia y región de Cajamarca, Perú (Ver Anexo 1). La harina fue obtenida por los productores mediante secado solar de corontas frescas seguido de molienda artesanal. Debido a la naturaleza artesanal del procesamiento, no se dispuso de especificaciones técnicas de granulometría o condiciones de molienda del proveedor. Cada paquete de 1 kg estaba envasado en bolsas de polietileno de alta densidad, selladas herméticamente.

Muestra: Se adquirió 6 kg de harina. Esta cantidad fue determinada mediante cálculo de requerimientos experimentales considerando: (1) extracción de extracto natural: 10 g de harina por cada 100 mL de extracto (relación 1:10 p/v) según Campo et al. (2021), requiriendo aproximadamente 500 g para obtener el extracto natural total necesario; (2) extracción para microencapsulación: 500 g adicionales; (3) pérdidas durante manipulación y análisis preliminares: estimadas en 20%; y (4) reserva para análisis de caracterización fisicoquímica y posibles repeticiones: 4.5 kg. El excedente

adquirido garantizó disponibilidad de materia prima homogénea del mismo lote para toda la investigación.

Muestreo: Se aplicó muestreo por conveniencia. La harina fue homogenizada manualmente en un recipiente plástico previamente desinfectado y almacenada en un lugar limpio, seco y oscuro a temperatura ambiente hasta su procesamiento.

Materia prima láctea

Población: Leche fresca de vaca procedente de un proveedor de la ciudad de Chachapoyas, región Amazonas, comercializada en el mercado modelo de la ciudad.

Muestra: Se adquirieron 30 litros de leche fresca.

Muestreo: Muestreo por conveniencia, empleándose la totalidad de litros adquiridos, las cuales cumplieron con los parámetros fisicoquímicos establecidos: pH entre 6.5-6.7, acidez de 0.18%, y densidad entre 1.027-1.033 g/cm³, verificados en el Laboratorio de Postcosecha de la UNTRM.

Unidades experimentales

Las unidades experimentales consistieron en yogurt probiótico elaborado con cultivo SACCO (Italia) y adicionado con extracto natural y/o microencapsulado de coronta de maíz morado INIA 601, según seis formulaciones con tres repeticiones cada una:

F0 (Control): Yogurt sin adición de extracto (0% natural, 0% microencapsulado)

F1 (Natural bajo): Yogurt + 0.10% extracto natural

F2 (Natural alto): Yogurt + 0.30% extracto natural

F3 (Microencapsulado bajo): Yogurt + 0.10% extracto microencapsulado

F4 (Microencapsulado alto): Yogurt + 0.30% extracto microencapsulado

F5 (Mixto): Yogurt + 0.15% extracto natural + 0.15% extracto microencapsulado

Cada formulación se elaboró por triplicado y se evaluó en cuatro tiempos de almacenamiento (días 0, 5, 10 y 15) a 4 °C, y se realizaron los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y de antocianinas totales.

Panelistas para evaluación sensorial

Reclutamiento y selección de panelistas

Los participantes fueron reclutados mediante muestreo no probabilístico por conveniencia en la Universidad Nacional de Jaén, con posterior selección considerando solo a los consumidores frecuentes de yogurt.

La verificación de criterios mediante entrevista oral permitió agilizar el reclutamiento sin comprometer la validez de la selección, práctica aceptada en estudios sensoriales con consumidores según ISO 8586:2012 para evaluaciones hedónicas y

metodologías dinámicas temporales donde no se requiere entrenamiento especializado (Stone y Sidel, 2004).

El tamaño muestral de 115 consumidores supera ampliamente los requisitos metodológicos para análisis TDS, donde se recomienda un mínimo de 60-100 participantes para alcanzar estabilidad estadística de las curvas de dominancia (Castura et al., 2016; Galmarini et al., 2017).

Generación de atributos sensoriales mediante Free Word Association (FWA)

La lista de atributos para la evaluación TDS se generó mediante la técnica de Asociación Libre de Palabras (Free Word Association, FWA) con un panel de 30 estudiantes de la Carrera Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Jaén, mayores de edad y consumidores frecuentes de yogurt. Los participantes fueron panelistas no entrenados en análisis sensorial, en concordancia con la metodología FWA que busca capturar descriptores en el lenguaje natural de los consumidores sin sesgo de listas predefinidas (Ares et al., 2008; Esmerino et al., 2017).

Evaluación TDS y aceptabilidad

Para la evaluación sensorial dinámica mediante Dominancia Temporal de Sensaciones (TDS) y aceptabilidad, se reclutaron 130 consumidores de yogurt de la ciudad de Jaén, mayores de 18 años, mediante muestreo no probabilístico por conveniencia. Todos los panelistas firmaron consentimiento informado (Anexo 8 y 9).

2.3 Materiales

La harina de coronta de maíz morado (*Zea mays* L.) variedad INIA 601 se obtuvo de la Asociación de Productores Agropecuarios del distrito de Matará, provincia de Cajamarca (**Ver Anexo 1**), Perú. La leche de vaca fresca fue adquirida en el Mercado Modelo de Chachapoyas (Amazonas, Perú), cumpliendo con los parámetros fisicoquímicos establecidos por la normativa peruana (pH: 6.5-6.7; acidez: 0.18%; densidad: 1.027-1.033 g/cm³). Como cultivo iniciador se empleó *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (SACCO SRL, Italia). Para la microencapsulación se utilizó inulina y maltodextrina (HMedia, India). Los reactivos analíticos incluyeron: cloruro de potasio 0.025 M pH 1.0 (Merck, Alemania), acetato de sodio trihidratado 0.4 M pH 4.5 (Merck, Alemania), ácido clorhídrico 37% (Merck, Alemania), 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH, Sigma-Aldrich, Alemania), metanol grado HPLC $\geq 99.9\%$ (J.T. Baker, EE.UU.), etanol

absoluto $\geq 99.8\%$ (Merck, Alemania) y ácido cítrico monohidratado $\geq 99.5\%$ (Sigma-Aldrich, Alemania). Todos los reactivos fueron de grado analítico y se utilizaron sin purificación adicional.

2.4 Métodos, técnicas, procedimientos y técnicas de recolección de datos

2.4.1. Metodologías.

2.4.1.1. Obtención del extracto natural de coronta de maíz morado INIA 601

La extracción de antocianinas se realizó mediante maceración según (Campo et al., 2021) se realizó como se muestra en la Figura 1. Se pesaron 10 g de harina y se mezclaron con 100 mL de solución hidroalcohólica (etanol 90% v/v, acidificada con ácido cítrico 1% p/v, pH 2.0) en una relación sólido:líquido de 1:10 (p/v), en recipientes plásticos previamente desinfectados. La mezcla se mantuvo en maceración estática durante 72 h a temperatura ambiente (20 ± 2 °C) en oscuridad (Campo et al., 2021; Castillo, 2017). Transcurrido el tiempo, el extracto se filtró al vacío con papel Whatman N° 1 y se concentró en rotavapor (Heidolph, modelo Value HL, Alemania) a 40 °C y presión reducida durante 35 min hasta reducir aproximadamente el 70% del volumen inicial (Campo et al., 2021). El extracto concentrado se liofilizó (Labconco, modelo 710402010, Estados Unidos) a -86 °C y 0.082 mbar durante 72 h hasta sequedad completa, obteniéndose el extracto natural en polvo, el cual se envasó en tubos falcon de 50 mL herméticos, se almacenó a temperatura ambiente dentro de un desecador hasta su uso (Ver Anexo 4.1).

2.4.1.2. Proceso de microencapsulación

La microencapsulación del extracto de coronta de maíz morado INIA 601 se realizó mediante liofilización siguiendo la metodología de Campo et al. (2021). Este proceso se seleccionó por operar a temperaturas bajas que minimizan la degradación térmica de antocianinas en comparación con spray-drying (López-Astorga et al., 2025).

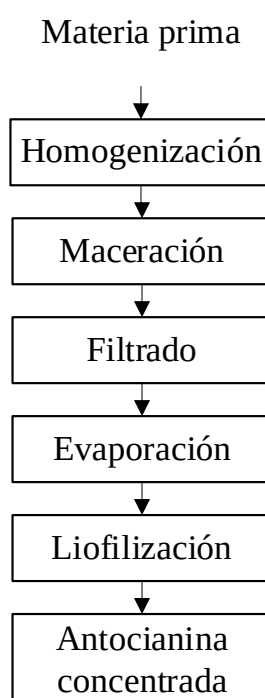
Preparación de solución de agentes encapsulantes

Se empleó una mezcla binaria de inulina (HMedia, India) y maltodextrina (HMedia, India) en proporción másica 1:1 (p/p) como material de pared. Se pesaron 5.1 g de inulina y 5.1 g de maltodextrina (total 10.2 g) en balanza analítica

(precisión ± 0.001 g). Los encapsulantes se dispersaron en 79.8 mL de agua destilada (relación sólidos:líquido 1:7.8 p/v) mediante agitación en placa magnética (Ohaus FX224/E, Estados Unidos) a 70 °C y 200 rpm durante 30 min para asegurar solubilización completa y formación de matriz polimérica estable (López-Astorga et al., 2025). La solución se enfrió a temperatura ambiente (20 ± 2 °C) durante 15 min antes de la adición del extracto.

Figura 1

Diagrama de flujo de extracción del extracto



Formación de emulsión extracto-encapsulantes

Se adicionaron 10.0 g de extracto de coronta a la solución de encapsulantes, estableciendo una relación extracto:encapsulante de 1:1 (p/p, base seca). Esta proporción optimiza el balance entre eficiencia de encapsulación y carga de bioactivos (Olt et al., 2022; Yousefi et al., 2022). La mezcla se homogenizó mediante Ultra-Turrax (IKA T250, Alemania) equipado con dispersor S25N-10G (diámetro 10 mm) a 6000 rpm durante 10 min (Campo et al., 2021). La emulsión resultante presentó coloración púrpura-violeta homogénea sin separación de fases.

Congelación previa a liofilización

La emulsión (100 g totales) se distribuyó en alícuotas de 20 mL en tubos Falcon de polipropileno de 50 mL, llenando aproximadamente 80% de la capacidad para

permitir expansión durante congelación. Los tubos sellados se colocaron a ultracongelación a -80 °C durante 24 h para asegurar congelación completa del agua libre e intersticial antes de la liofilización (Campo et al., 2021).

Liofilización

Los tubos con muestras ultra-congeladas se colocaron en liofilizador (Labconco FreeZone 6 Plus, modelo 710402010, Estados Unidos) operando a -86 °C y 0.082 mbar durante 72 h. El ciclo comprendió tres fases: (1) congelación adicional (0-6 h) a -40 °C bajo vacío, (2) sublimación primaria (6-60 h) para remoción de hielo libre a -86 °C, y (3) desorción secundaria (60-72 h) incrementando temperatura gradualmente de -40 °C a 20 °C para eliminación de agua ligada residual (Campo et al., 2021). El proceso finalizó cuando la humedad residual fue <5%, verificada mediante balanza de humedad por infrarrojos (Ohaus MB90, Estados Unidos).

Recuperación y almacenamiento del microencapsulado

El extracto microencapsulado se obtuvo como polvo fino púrpura intenso. El material se removió de los tubos, se homogenizó y se tamizó a través de malla de acero inoxidable de 250 µm para uniformizar el tamaño de partícula. El extracto microencapsulado se envasó en tubos falcon de 50 mL herméticos, se almacenó a temperatura ambiente dentro de un desecador, hasta su uso en la elaboración de yogurt (tiempo máximo: 30 días) (Ver Anexo 4.2).

2.4.1.3. Elaboración del yogurt e incorporación del extracto natural y microencapsulado

a. Recepción de materia prima

La leche fresca de vaca se recibió en recipientes de acero inoxidable previamente sanitizados con solución de hipoclorito de sodio 0.1% en el Laboratorio de Poscosecha - UNTRM. Se verificó el cumplimiento de los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH 6.5-6.7, acidez 0.18% (expresada como ácido láctico) y densidad 1.027-1.033 g/cm³ (Silva et al., 2022) (Ver Anexo 4.3).

b. Filtrado

La leche se filtró mediante tamiz cónico con filtro de tela para eliminar partículas extrañas e impurezas macroscópicas provenientes del ordeño.

c. Homogenizado 1

En una marmita de acero inoxidable, se calentó la leche hasta 32 °C y se añadió azúcar en proporción de 8% (p/v), mezclando suavemente durante 5 min hasta obtener una mezcla uniforme.

d. Pasteurización

La mezcla se pasteurizó en marmita a 75 °C durante 30 min con el objetivo de eliminar microorganismos patógenos y reducir la carga microbiana total (Yagmur et al., 2024).

e. Enfriado

Una vez culminada la pasteurización, la mezcla se enfrió hasta alcanzar 42 °C, temperatura óptima para la inoculación del cultivo láctico (Castillo, 2017).

f. Inoculación

Manteniendo la temperatura de 42 °C, se añadió el cultivo láctico comercial (SACCO, Italia) en una proporción de 3% (p/v) del volumen total de la leche (Silva et al., 2022).

g. Homogenizado 2

En la marmita de acero inoxidable, manteniendo la temperatura de 42 °C, se homogenizó la mezcla mediante agitación suave para asegurar la distribución uniforme del cultivo en la leche.

h. Incubación

La mezcla se transfirió a un fermentador y se incubó a 42 °C durante 6 h hasta alcanzar un pH ≤ 4.6 , obteniendo la consistencia característica del yogurt (Du et al., 2023; Silva et al., 2022).

i. Refrigeración

El yogurt fermentado se colocó en cámara de refrigeración a 4 °C durante 12 h para el desarrollo completo de la textura y propiedades reológicas características.

j. Batido

Se incorporaron los extractos natural y microencapsulado de coronta de maíz morado INIA 601 según las formulaciones experimentales establecidas (Tabla 1), mezclando suavemente hasta obtener una mezcla homogénea (Du et al., 2023).

Tabla 1*Formulaciones indicando el porcentaje de extracto a adicionar.*

Ingredientes	F0	F1	F2	F3	F4	F5
	%	%	%	%	%	%
Extracto natural (sin micro encapsular)	0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.15
Extracto micro encapsulado	0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.15
Leche de vaca	86.8	86.8	87.7	86.8	87.7	87.7
Leche en polvo	5.4	5.4	5	5.4	5	5
Cultivo	3.4	3.4	3	3.4	3	3
Azúcar	4.3	4.3	4	4.3	4	4
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Nota: **F0, F1, F2, F3, F4 y F5** representan a sus formulaciones correspondientes.

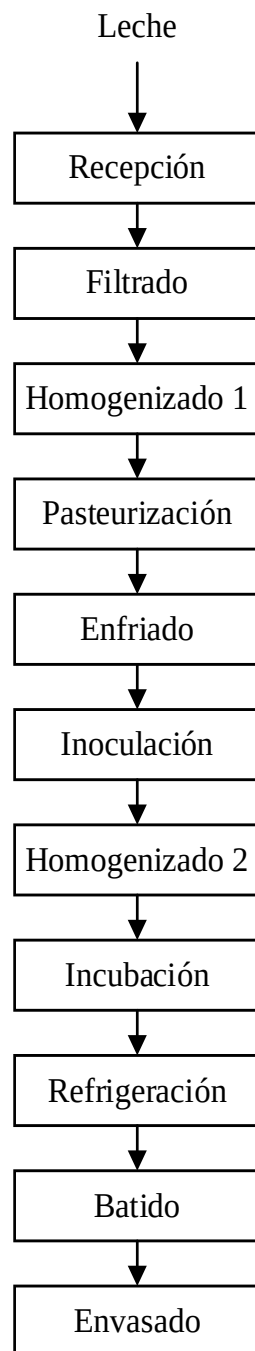
Todas las cifras estén expresadas en porcentajes

k. Envasado

El producto final se envasó manualmente en recipientes de polipropileno de 1 L previamente esterilizados y se almacenó en refrigeración a 4 °C hasta los análisis correspondientes. Las etapas completas se presentan en la Figura 2.

Figura 2

Diagrama de flujo de la elaboración del yogurt adicionando el extracto natural y microencapsulado



2.4.1.4. Preparación de las muestras

a. Solución metanólica del extracto natural y microencapsulado

La preparación de la solución metanólica para el análisis de antocianinas en los extractos se realizó según Campo et al. (2021). Se pesaron 0.5 g de extracto natural y 0.5 g de extracto microencapsulado (por separado) y se mezclaron con 5 mL de metanol 80% (v/v) en tubos Falcon de 15 mL, estableciendo una relación muestra:solvente de 1:10 (p/v). Las mezclas se homogenizaron en agitador orbital (MRC, China) a temperatura ambiente (20 ± 2 °C) y 200 rpm durante 30 min protegidas de la luz. Posteriormente, las muestras se centrifugaron (Eppendorf, Centrifuge 5810 R, Alemania) a 5000 rpm durante 15 min a 4 °C (Castillo, 2017). El sobrenadante se recuperó cuidadosamente, se filtró con papel filtro Whatman N° 1 y se almacenó en tubos ámbar a 4 °C hasta su análisis (máximo 24 h) (Campo et al., 2021).

b. Solución metanólica de yogurt con extracto natural y microencapsulado

Para la extracción de antocianinas totales del yogurt en los días 0, 5, 10 y 15 de almacenamiento, se utilizó el método descrito por (Silva et al., 2022). Se midieron 5 mL de yogurt y se mezclaron con 5 mL de metanol 80% (v/v) acidificado con HCl 1.5 N en una relación 1:1 (p/v) en tubos Falcon de 15 mL. La mezcla se homogenizó en agitador orbital (MRC, China) a temperatura ambiente (20 ± 2 °C) y 200 rpm durante 30 min. Posteriormente, se centrifugó (Eppendorf, Centrifuge 5810 R, Alemania) a 5000 rpm durante 15 min a 4 °C. El sobrenadante se filtró con papel Whatman N° 1 y se almacenó a 4 °C en tubos ámbar hasta su análisis inmediato (Campo et al., 2021; Inostroza et al., 2015).

2.4.1.5. Determinación de antocianinas con el método de pH diferencial

La cuantificación de antocianinas monoméricas totales se realizó mediante el método espectrofotométrico de pH diferencial, siguiendo el protocolo estandarizado de Lee et al., (2005), basado en la metodología original descrita por Giusti y Wrolstad, (2001). Este método aprovecha la propiedad estructural reversible de las antocianinas de cambiar de color con el pH, permitiendo cuantificar selectivamente las formas monoméricas sin interferencia de pigmentos degradados o polimerizados.

Preparación de soluciones buffer

Se prepararon dos sistemas tampón con las siguientes especificaciones:

- Buffer pH 1.0 (cloruro de potasio 0.025 M): Se disolvieron 1.86 g de cloruro de potasio (Supelco, Sigma-Aldrich, EE.UU.) en 980 mL de agua destilada en un matraz volumétrico de 1 L. El pH se ajustó a 1.0 ± 0.05 mediante la adición de aproximadamente 6.3 mL de ácido clorhídrico concentrado (37% p/p) utilizando un pH-metro digital calibrado. Finalmente, la solución se aforó a 1 L con agua destilada.
- Buffer pH 4.5 (acetato de sodio 0.4 M): Se disolvieron 54.43 g de acetato de sodio trihidratado ($C_2H_3NaO_2 \cdot 3H_2O$) en 960 mL de agua destilada en un matraz volumétrico de 1 L. El pH se ajustó a 4.5 ± 0.05 mediante la adición de aproximadamente 20 mL de HCl concentrado. La solución se aforó a 1 L con agua destilada.

Ambas soluciones buffer fueron verificadas con un pH-metro calibrado y almacenadas en frascos ámbar a 4 °C hasta su uso, con una estabilidad de hasta 30 días.

Preparación de las muestras

Las soluciones metanólicas del extracto natural, microencapsulado (diluciones 1:10) y de yogurt (dilución 1:1), obtenidos mediante el procedimiento descrito anteriormente (secciones 2.4.1.4.a y 2.4.1.4.b), fueron diluidos para asegurar lecturas de absorbancia en el rango óptimo de 0.2-1.2 unidades de absorbancia a 530 nm, según lo recomendado por Lee et al., (2005).

Procedimiento analítico

En tubos de ensayo de vidrio borosilicato de 10 mL debidamente identificados, se prepararon las siguientes mezclas por duplicado para cada muestra:

- Tubo pH 1.0: Se mezclaron 300 μ L de extracto diluido con 2.7 mL de buffer pH 1.0 (dilución final 1:10)
- Tubo pH 4.5: Se mezclaron 300 μ L de extracto diluido con 2.7 mL de buffer pH 4.5 (dilución final 1:10)

Las mezclas se homogeneizaron vigorosamente durante 30 segundos en un agitador de tubos tipo vórtex (Digital Vortex Mixer, EE.UU.) y se incubaron en oscuridad a temperatura ambiente (20-25 °C) durante 15 min para permitir el

equilibrio de las formas estructurales de las antocianinas (Wallace y Giusti, 2008). Durante este periodo, las antocianinas alcanzan el equilibrio entre las diferentes formas estructurales dependientes del pH: catión flavilio (rojo) a pH 1.0 y forma carbinol incoloro a pH 4.5.

Mediciones espectrofotométricas

Las absorbancias se determinaron en un espectrofotómetro UV-Vis (Genesys 150, Thermo Fisher Scientific, MA, EE.UU.) utilizando celdas de cuarzo con paso óptico de 1 cm. Para cada muestra equilibrada se realizaron lecturas a dos longitudes de onda específicas:

- 530 nm: Longitud de onda correspondiente al máximo de absorción visible ($\lambda_{vis_{max}}$) de las antocianinas en su forma de catión flavilio
- 700 nm: Longitud de onda para la corrección de turbidez y dispersión de luz de fondo

El espectrofotómetro se calibró a cero de absorbancia utilizando agua destilada como blanco. Todas las mediciones se realizaron por triplicado para cada dilución de muestra, en un periodo no mayor a 30 min después de la preparación para evitar degradación de pigmentos.

Cálculos

Absorbancia ajustada

La absorbancia corregida (A) se calculó mediante la siguiente ecuación, que elimina la contribución de compuestos degradados y la turbidez de la muestra:

$$A = [(A_{530nm} - A_{700nm})_{pH\ 1.0}] - [(A_{530nm} - A_{700nm})_{pH\ 4.5}] \dots (1)$$

Donde:

$A_{530\ nm}$ = absorbancia medida a 530 nm

$A_{700\ nm}$ = absorbancia medida a 700 nm (corrección de turbidez)

El subíndice indica el pH del buffer utilizado

El término $(A_{530nm} - A_{700nm})_{pH\ 1.0}$ representa la absorbancia neta de todas las formas de antocianinas a pH 1.0, mientras que $(A_{530nm} - A_{700nm})_{pH\ 4.5}$ representa la absorbancia de formas poliméricas degradadas y otros compuestos interferentes que absorben a pH 4.5 (Giusti y Wrolstad, 2001).

Concentración de antocianinas monoméricas

La concentración de antocianinas monoméricas totales se expresó como equivalentes de cianidina-3-glucósido (C3G) mediante la aplicación de la Ley de Beer-Lambert:

$$AM \left(\frac{\text{mg C3G}}{\text{unidad de muestra}} \right) = \left(\frac{(A \times PM \times DF \times V \times 1000)}{\epsilon \times l \times m} \right) \times 100 \dots (2)$$

Donde:

AM : Antocianinas monoméricas, expresadas como mg de cianidina-3-glucósido por unidad de muestra.

A : absorbancia ajustada (adimensional)

PM : peso molecular de cianidina-3-glucósido = 449.2 g/mol

DF : factor de dilución = 10 [dilución inicial del extracto $\times$ dilución en buffer]

ϵ : coeficiente de extinción molar de C3G = 26,900 L $\cdot$ mol⁻¹ $\cdot$ cm⁻¹ a 530 nm

l : longitud de paso óptico de la celda de cuarzo (1 cm)

1000 : factor de conversión de gramos a miligramos

m : cantidad de muestra analizada, donde:

Para sólidos $\rightarrow m$ se expresa en gramos (g)

Para líquidos $\rightarrow m$ se expresa en mililitros (mL)

100 : factor para expresar el resultado por 100 g (sólidos) o 100 mL (líquidos).

Todos los análisis se realizaron por triplicado y los resultados se reportaron como media $\pm$ desviación estándar. El coeficiente de variación entre réplicas fue inferior al 10% en todos los casos, asegurando la precisión del método.

2.4.1.6. Determinación de capacidad antioxidante DPPH (0,06 mM)

La capacidad antioxidante de los extractos y muestras de yogurt se evaluó mediante el ensayo de captura del radical libre DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), siguiendo la metodología descrita por Brand-Williams et al., (1995). Este método colorimétrico se basa en la reducción del radical libre DPPH $\cdot$ (color púrpura intenso, λ_{max} = 517 nm) por compuestos antioxidantes, produciendo difenil-picrilhidrazina (forma no radical, color amarillo pálido), cuya disminución de absorbancia es proporcional a la capacidad antioxidante de la muestra (Guija-Poma et al., 2015).

Preparación de reactivos

Solución stock de DPPH

Se preparó una solución madre de DPPH (Sigma-Aldrich, Steinheim, Alemania) disolviendo 23.6 mg del reactivo (pureza $\geq 95\%$) en 100 mL de metanol acuoso al 80% (v/v) en un matraz volumétrico ámbar. La solución se agitó magnéticamente (Valor Heat-Stir, OHAUS, EE.UU.) durante 15 min a temperatura ambiente (20-25 °C) hasta disolución completa del reactivo, formando una solución de color púrpura intenso.

La solución stock se almacenó en frasco ámbar a 4 °C protegida de la luz y se utilizó dentro de las 24 h posteriores a su preparación para evitar la degradación del radical.

Solución de trabajo de DPPH

A partir de la solución stock, se preparó diariamente la solución de trabajo mediante dilución con etanol al 96% (v/v) grado analítico. Se tomaron 50 mL de la solución stock en un matraz volumétrico de 250 mL y se diluyó con aproximadamente 160-170 mL de etanol al 96% hasta obtener una absorbancia de 0.700 ± 0.020 unidades a 517 nm, medida en un espectrofotómetro UV-Vis (Genesys 150, Thermo Fisher Scientific, EE.UU.) usando etanol al 96% como blanco. Esta concentración corresponde aproximadamente a 0.06 mM de DPPH.

Nota: El ajuste de la absorbancia inicial es crítico para la reproducibilidad del método, ya que permite normalizar las mediciones entre diferentes días de análisis (Brand-Williams et al., 1995).

Soluciones estándar de Trolox para curva de calibración

Se preparó una solución madre de Trolox (Sigma-Aldrich, EE.UU.) disolviendo 15.0 mg de Trolox (peso molecular = 250.29 g/mol) en 60 mL de metanol acuoso al 80% (v/v), obteniendo una concentración de 1.0 mM. (Figura 3)

A partir de esta solución madre, se prepararon 11 soluciones estándar en el rango de concentración de 25 a 1000 μ M mediante diluciones apropiadas con metanol acuoso al 80%. Las concentraciones trabajadas se pueden apreciar en la Tabla 2.

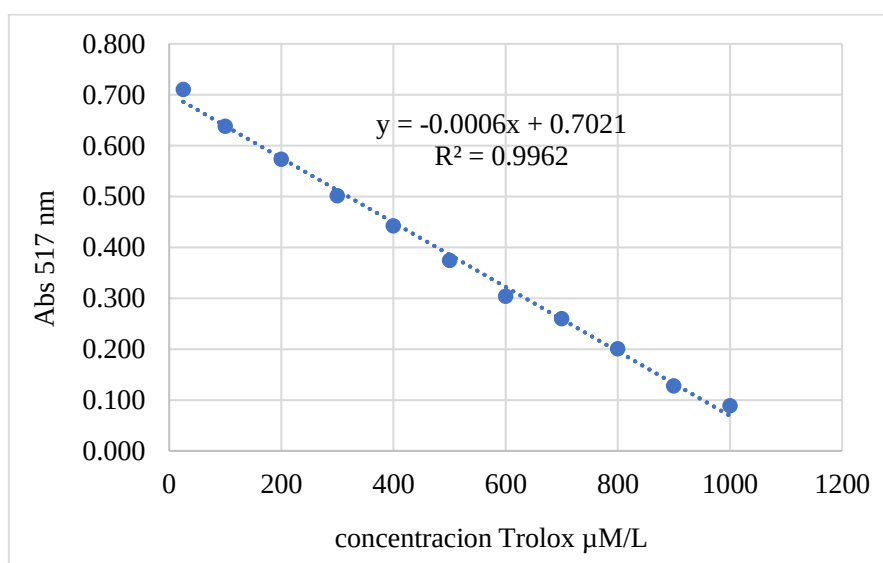
Tabla 2*Curva de calibración de DPPH*

Concentración (μM/L)	Abs R1	Abs R2	Abs R3	Promedio	DS
25	0.735	0.696	0.702	0.711	0.021
100	0.634	0.644	0.638	0.639	0.005
200	0.579	0.576	0.565	0.573	0.007
300	0.507	0.493	0.505	0.502	0.008
400	0.455	0.442	0.432	0.443	0.012
500	0.37	0.38	0.375	0.375	0.005
600	0.304	0.305	0.303	0.304	0.001
700	0.269	0.256	0.256	0.260	0.008
800	0.207	0.194	0.202	0.201	0.007
900	0.134	0.123	0.127	0.128	0.006
1000	0.083	0.087	0.097	0.089	0.007

Nota. R1, R2 y R3: lecturas de absorbancia correspondientes a las repeticiones 1, 2 y 3 de cada concentración estándar; DS: desviación estándar calculada a partir de las tres repeticiones.

Figura 3

Curva de calibración del estándar Trolox para el análisis de capacidad antioxidante (DPPH) a 517 nm.



Las soluciones estándar se prepararon el mismo día del análisis y se mantuvieron refrigeradas (4 °C) y protegidas de la luz hasta su uso (no más de 8 h después de su preparación).

Preparación de las muestras

Los extractos de yogurt obtenidos mediante el procedimiento descrito anteriormente fueron diluidos apropiadamente para asegurar un porcentaje de

inhibición entre 20-80%, rango en el cual la respuesta es lineal. Basándose en ensayos preliminares, se utilizó una dilución de 1:300 (extracto:etanol) para las muestras de yogurt fortificado, excepto para el control F0 que se analizó a mayor concentración debido a su baja capacidad antioxidante esperada.

Procedimiento analítico

Construcción de la curva de calibración con Trolox

Protocolo de reacción para los estándares

El ensayo se realizó en tubos de ensayo de vidrio borosilicato de 10 mL, protegidos de la luz mediante papel aluminio. Para cada concentración de Trolox se preparó por triplicado:

- 100 μ L de solución estándar de Trolox + 3.9 mL de solución de trabajo DPPH 0.06 mM
- Adicionalmente, se preparó un control negativo (absorbancia máxima, 0% de inhibición):
- 100 μ L de metanol acuoso al 80% + 3.9 mL de solución de trabajo DPPH 0.06 mM

Inmediatamente después de la adición de todos los componentes, las mezclas se homogeneizaron vigorosamente durante 10 segundos en un agitador de tubos tipo vórtex (Digital Vortex Mixer, EE.UU.) y se incubaron en oscuridad total a temperatura ambiente (20-25 °C) durante 30 min para permitir que la reacción alcanzara el estado estacionario.

Importante: El tiempo de incubación de 30 min es crítico. Tiempos menores resultan en reacciones incompletas, mientras que tiempos mayores pueden generar reacciones secundarias que afectan la linealidad (Brand-Williams et al., 1995).

Análisis de las muestras de yogurt

Se siguió el mismo protocolo descrito para los estándares de Trolox, con las siguientes mezclas preparadas por cuadruplicado para cada muestra:

- Muestra problema: 100 μ L de extracto diluido + 3.9 mL de solución de trabajo DPPH 0.06 mM
- Blanco de muestra: 100 μ L de extracto diluido + 3.9 mL de etanol al 96%

- Control negativo (100% de radical): 100 μ L de etanol al 96% + 3.9 mL de solución de trabajo DPPH 0.06 mM

Las mezclas se homogeneizaron, incubaron y midieron siguiendo exactamente el mismo procedimiento que los estándares de Trolox (Brand-Williams et al., 1995).

Mediciones espectrofotométricas

Transcurrido el tiempo de incubación, las absorbancias se determinaron en un espectrofotómetro UV-Vis (Genesys 150, Thermo Fisher Scientific, EE.UU.) a 517 nm utilizando celdas de cuarzo con paso óptico de 1 cm. El espectrofotómetro se calibró a cero de absorbancia utilizando etanol al 96% como blanco antes de iniciar las mediciones.

Las lecturas se realizaron en el siguiente orden: Control negativo (A_{control}), Blancos de muestra (A_{blanco}) y Muestras problema (A_{muestra})

Importante: Todas las mediciones deben completarse dentro de los 35 min posteriores al inicio de la reacción, ya que después de este tiempo pueden observarse desviaciones debido a reacciones secundarias (Brand-Williams et al., 1995).

Cálculos

Construcción de la curva de calibración

Para la solución estándar de Trolox, se calculó la absorbancia corregida restando el valor del control negativo:

$$\Delta Abs_{\text{Trolox}} = A_{\text{control}} - A_{\text{Trolox}} \dots (4)$$

Donde:

A_{control} = absorbancia del control negativo (DPPH sin antioxidantes) a 517 nm

A_{Trolox} = absorbancia de la solución de Trolox después de 30 min de reacción

Se construyó un gráfico de ΔAbs vs. Concentración de Trolox (μ M) y se realizó un análisis de regresión lineal para obtener la ecuación de la curva de calibración:

$$\Delta Abs = m \times [\text{Trolox}] + b \dots (5)$$

Donde:

m = pendiente de la recta (sensibilidad analítica)

b = ordenada al origen

[Trolox] = concentración de Trolox en μM

Cálculo de la capacidad antioxidante de las muestras

Para cada muestra de yogurt, se calculó primero la absorbancia neta corrigiendo por el blanco de muestra (para eliminar interferencias del color propio del extracto):

$$A_{\text{muestra neta}} = A_{\text{muestra problema}} - A_{\text{blanco}} \dots (6)$$

Luego se calculó el decremento de absorbancia causado por los antioxidantes presentes:

$$\Delta Abs_{\text{muestra}} = A_{\text{control}} - A_{\text{muestra}} - \text{neta} \dots (7)$$

La concentración equivalente de Trolox en la muestra diluida se obtuvo despejando de la ecuación de la curva de calibración (ecuación 5):

$$[\text{Trolox}]_{\text{muestra}} = \frac{(\Delta Abs_{\text{muestra}} - b)}{m} \dots (8)$$

Donde:

$[\text{Trolox}]_{\text{muestra}}$ = concentración equivalente de Trolox en μM en la muestra diluida

$\Delta Abs_{\text{muestra}}$ = decremento de absorbancia de la muestra (ecuación 7)

m y b = parámetros de la curva de calibración obtenidos el mismo día

Expresión de resultados como μmol equivalentes de Trolox por mL de muestra

La capacidad antioxidante final se expresó en μmol equivalentes de Trolox por mL de muestra original ($\mu\text{mol ET/mL}$), considerando las diluciones realizadas:

$$DPPH \left(\frac{\mu\text{mol ET}}{\text{mL}} \right) = [\text{Trolox}]_{\text{muestra}} \times FD \times 10^{-3} \dots (9)$$

Donde:

$[\text{Trolox}]_{\text{muestra}}$ = concentración calculada con la ecuación 8, en μM

FD = factor de dilución total de la muestra (normalmente 300)

10^{-3} = factor de conversión de μM a $\mu\text{mol/mL}$ (considerando que $1 \mu\text{M} = 10^{-3} \mu\text{mol/mL}$ en el volumen de reacción).

2.4.1.7. Determinación de la inocuidad microbiológica

La calidad microbiológica del yogurt se evaluó como requisito previo al análisis sensorial, siguiendo los lineamientos establecidos en la Norma Técnica Sanitaria NTS N°071-MINSA/DIGESA-V.01 para leches fermentadas y acidificadas

(Ministerio de Salud del Perú, 2008). El análisis se realizó una vez completado el periodo de fermentación del yogurt, para verificar la inocuidad del producto antes de su evaluación sensorial con panelistas.

Esterilización de materiales

El material de vidrio (placas Petri, pipetas, tubos de ensayo y matraces Erlenmeyer) se esterilizó en estufa de calor seco (FD 56, Binder GmbH, Alemania) a 150 °C durante 2 h, previa envoltura con papel kraft. Las pipetas y placas se envolvieron individualmente, mientras que los tubos y matraces se taparon con tapones de algodón envueltos en papel.

Preparación de medios de cultivo

Se prepararon los siguientes medios de cultivo según las especificaciones del fabricante y los requerimientos de la norma sanitaria:

- Violet Red Bile Agar (VRBA): Para recuento de coliformes totales
- Agar Sabouraud Dextrosa (SDA): Para recuento de mohos
- Yeast Extract Glucose Chloramphenicol Agar (YGC): Para recuento de levaduras

Los medios se pesaron según las indicaciones del fabricante, se disolvieron en agua destilada y se esterilizaron en autoclave de 50 litros (Biobase, Shandong, China) a 121 °C durante 15 min. Posteriormente, se mantuvieron en baño María (Mettler, Alemania) a 45 ± 1 °C hasta su uso.

Como diluyente se preparó agua peptonada al 0.1% (10.5 g en 1 L de agua destilada), esterilizada en las mismas condiciones.

Preparación de diluciones

Para cada formulación de yogurt, se prepararon diluciones decimales seriadas bajo condiciones asépticas:

1. Se homogeneizó la muestra de yogurt manualmente
2. Se pesaron asépticamente 10 g de yogurt y se transfirieron a un matraz Erlenmeyer estéril con 90 mL de agua peptonada (dilución 10^{-1})
3. Se homogeneizó durante 2 min
4. A partir de la dilución 10^{-1} , se realizaron transferencias sucesivas de 1 mL a tubos con 9 mL de agua peptonada estéril, obteniendo las diluciones 10^{-2} , 10^{-3} y 10^{-4}

Todas las transferencias se realizaron en zona aséptica (mechero Bunsen encendido) utilizando pipetas estériles individuales para cada dilución.

Siembra e incubación

Se empleó la técnica de vertido en placa (pour plate) para todos los medios de cultivo (**Ver Anexo 4.6**):

1. Se depositó 1 mL de las diluciones 10^{-3} y 10^{-4} en placas Petri estériles por duplicado
2. Se vertieron aproximadamente 15-20 mL del medio de cultivo atemperado (45 ± 1 °C)
3. Se homogeneizó mediante movimientos circulares suaves (5 veces en sentido horario y 5 en sentido antihorario)
4. Se dejó solidificar en superficie horizontal durante 10-15 min

Las placas se incubaron invertidas en incubadora de cultivos (Incucell MMM Group, Alemania) bajo las siguientes condiciones específicas para cada microorganismo:

- VRBA (coliformes): 35 ± 1 °C durante 24 h
- Sabouraud (mohos): 25 ± 1 °C durante 5 días
- YGC (levaduras): 25 ± 1 °C durante 5 días

Recuento e interpretación de resultados

Transcurrido el tiempo de incubación, se realizó el recuento de colonias seleccionando placas con 25-250 colonias. Para coliformes en VRBA, se contaron únicamente colonias típicas (color rojo-púrpura de 0.5-2 mm de diámetro, rodeadas de un halo de precipitación de sales biliares). Los resultados se expresaron como unidades formadoras de colonias por mililitro de producto (UFC/mL), calculados mediante:

$$UFC/mL = \frac{(N \times d)}{V} \dots (10)$$

Donde:

N = número promedio de colonias contadas

d = factor de dilución de la placa contada

V = volumen de inóculo sembrado (1 mL)

Los resultados se compararon con los límites microbiológicos establecidos en la NTS N°071-MINSA/DIGESA-V.01 para yogurt (MINSA, 2008), según se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3

Criterios microbiológicos de calidad sanitaria para yogurt según NTS N°071-MINSA/DIGESA-V.01

Agente microbiano	Categoría	Clase	n	c	Límite por g (UFC/mL)	
					m	M
Coliformes	5	3	5	2	10	10 ²
Mohos	2	3	5	2	10	10 ²
Levaduras	2	3	5	2	10	10 ²

Nota: Los criterios microbiológicos se interpretan de la siguiente manera: n representa el número de muestras a examinar (5 muestras en este caso); c indica el número máximo de muestras permisibles con resultados entre m y M (máximo 2 de 5); m establece el límite que separa calidad aceptable de rechazable (10 UFC/g); M define el límite que separa calidad marginalmente aceptable de inaceptable (100 UFC/g). La Categoría 5 corresponde a indicadores de prácticas inadecuadas de manufactura, mientras que la Categoría 2 identifica indicadores de fallas en el proceso tecnológico. La Clase 3 representa un plan de muestreo de tres clases, donde se permiten hasta c muestras con valores entre m y M.

El producto se consideró microbiológicamente apto para el análisis sensorial cuando cumplió con los criterios establecidos: todas las muestras con valores $\leq m$, o como máximo 2 de 5 muestras con valores entre m y M, sin que ninguna muestra superara el valor M.

2.4.1.8. Análisis sensorial dinámico y aceptabilidad del yogurt con extracto natural y microencapsulado.

La evaluación sensorial se condujo en el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la Universidad Nacional de Jaén, equipado con cabinas sensoriales individuales de color blanco neutro conforme a la norma ISO 8589:2007 (International Organization for Standardization, 2017). Las muestras de yogurt (aproximadamente 30 mL cada una) fueron servidas a temperatura de refrigeración (4 ± 1 °C) en vasos de plástico transparente codificados con números aleatorios de tres dígitos. El orden de presentación de las muestras se determinó mediante un diseño de Cuadrado Latino de Williams para minimizar efectos de orden y arrastre (Williams, 1949). Entre cada evaluación, los panelistas recibieron agua purificada a temperatura ambiente y galletas sin sal para neutralizar el paladar (Ver Anexo 4.7).

Generación de atributos sensoriales

Previo a la evaluación sensorial dinámica, se realizó una sesión de generación de atributos mediante la técnica de *Asociación Libre de Palabras (FWA)* con un panel de 30 estudiantes.

Este panel fue seleccionado realizando una entrevista previa, donde se consideró a aquellos que consumían yogurt al menos una vez a la semana (Esmerino et al., 2017; Gomez et al., 2022; Machado et al., 2023).

Criterios de inclusión: Los estudiantes fueron de la de la Carrera Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Jaén, mayores de edad, consumidores frecuentes de yogurt.

Para la selección de panelistas se consideraron *consumidores frecuentes* de yogurt aquellos que, según el cuestionario aplicado (incluida dentro del formulario electrónico del Software TimeSens©-INRA, Dijon, Francia) declararon consumir este producto al menos *una vez por semana*. En consecuencia, se incluyeron exclusivamente los participantes que marcaron las opciones “Diariamente”, “6–4 veces por semana” y “3–1 veces por semana”, ya que estas categorías garantizan un nivel adecuado de familiaridad sensorial con la matriz evaluada (Anexo 2.1.E).

Criterios de exclusión: Estudiantes que no pertenezcan de la de la Carrera Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Jaén, no consumidores frecuentes de yogurt.

Los panelistas probaron las formulaciones de yogurt (Ares et al., 2008; Esmerino et al., 2017) y describieron libremente (Curti et al., 2022) todas las sensaciones percibidas durante el consumo, desde el primer contacto con el producto hasta la desaparición de cualquier sensación residual. Esta metodología de elicitación de atributos por consumidores (FWA) captura descriptores sensoriales relevantes en el lenguaje de los consumidores sin el sesgo de listas predefinidas (Ares et al., 2008; Ares y Jaeger, 2013; Esmerino et al., 2017). Las descripciones fueron registradas individual y posteriormente se identificaron los atributos con mayor frecuencia ($\geq 60\%$ de citación) (Rojas-Rivas et al., 2022), práctica común en FWA para clasificar categorías, para conformar la lista final de descriptores sensoriales en productos enriquecidos (Ares et al., 2008).

El formato empleado para realizar este registro se puede revisar en el Anexo 6 y 7.

Evaluación mediante Dominancia Temporal de Sensaciones (TDS)

Para la selección de panelistas, en esta etapa, se consideraron *consumidores frecuentes* de yogurt aquellos que, según el cuestionario aplicado (incluida dentro del formulario electrónico del Software TimeSens©-INRA, Dijon, Francia) declararon consumir este producto al menos *una vez por semana*. En consecuencia, se incluyeron exclusivamente los participantes que marcaron las opciones “Diariamente”, “6–4 veces por semana” y “3–1 veces por semana”. De este modo de los 130 panelistas que concurrieron, resultaron en 115 seleccionados.

La prueba TDS fue ejecutada por los panelistas seleccionados (frecuencia de consumo ≥ 1 vez/semana), mayores de 18 años. El tamaño muestral fue determinado considerando los requisitos estadísticos para métodos temporales dinámicos, donde se recomienda un mínimo de 60-100 consumidores para alcanzar curvas de dominancia estables y reproducibles (Castura et al., 2016; Galmarini et al., 2017). Así mismo, en esta etapa se incluyó docentes, administrativos y estudiantes de la Universidad Nacional de Jaén.

Durante la prueba, los consumidores recibieron instrucciones precisas sobre el concepto de dominancia sensorial: el atributo dominante fue definido como la sensación que captura la atención en un momento específico, no necesariamente la más intensa, sino aquella que emerge como percepción más llamativa en un instante dado (Pineau et al., 2009). Los participantes colocaron la muestra en boca (tiempo $t=0$), iniciaron el registro cronométrico mediante interfaz digital, y seleccionaron secuencialmente los atributos que consideraron dominantes a lo largo de la degustación. El tiempo de evaluación fue estandarizado a 60 segundos, periodo determinado en pruebas preliminares como suficiente para capturar la evolución completa de las sensaciones en yogurt (Rodrigues et al., 2016). El software TimeSens© (INRA, Dijon, Francia) registró automáticamente el tiempo transcurrido y la secuencia de atributos dominantes para cada muestra evaluada, permitiendo la construcción de curvas de dominancia temporal según la metodología estándar (Pineau et al., 2009) (**Ver Anexo 2**).

Análisis e interpretación de curvas TDS

La interpretación de las curvas de dominancia temporal se realizó mediante la identificación de dos límites estadísticos según (Pineau et al., 2009): (1) límite de casualidad ($P_0 = 1/p$, donde p es el número de atributos evaluados), que representa la tasa de dominancia que un atributo obtendría por selección aleatoria; y (2) límite de significancia (P_s), calculado mediante aproximación normal de la proporción binomial ($\alpha=0.05$).

Con 6 atributos evaluados y 115 evaluaciones totales, los límites fueron establecidos en 16.7% (casualidad) y 21.9% (significancia). Atributos con dominancia inferior al límite de casualidad se interpretaron como no dominantes, mientras que aquellos que superaron el límite de significancia fueron considerados estadísticamente relevantes en el perfil sensorial del producto (Pineau et al., 2009).

Evaluación de aceptabilidad global

Tras finalizar la evaluación TDS de cada muestra, los participantes calificaron la aceptabilidad general del yogurt utilizando una escala hedónica de 9 puntos (1=me disgusta extremadamente; 5=ni me gusta ni me disgusta; 9=me gusta extremadamente), conforme a la metodología estándar validada para pruebas afectivas (Stone y Sidel, 2004). Este diseño experimental secuencial (TDS seguido de aceptabilidad) permite correlacionar la dinámica sensorial con la preferencia del consumidor sin interferencia metodológica entre ambas evaluaciones. La metodología con más detalle se puede revisar en el Anexo 5.

2.4.2. Variables del Estudio

Variable Independiente

- Tipo de formulación del yogurt (6):
 - F0: Control (0% extracto)
 - F1: 0.10% extracto natural
 - F2: 0.30% extracto natural
 - F3: 0.10% extracto microencapsulado
 - F4: 0.30% extracto microencapsulado
 - F5: 0.15% extracto natural + 0.15% microencapsulado

Variables Dependientes

- Antocianinas monoméricas totales (mg eq. cianidina-3-glucósido/100 g)
- Capacidad antioxidante DPPH ($\mu\text{mol eq. Trolox/100 g}$)

Parámetros fisicoquímicos:

- pH, acidez titulable (% ácido láctico), densidad (g/cm^3)

Atributos sensoriales:

- Dominancia temporal de sensaciones: atributos dominantes (dulce, ácido, espeso, suave, cremoso, fluido) evaluados cada 2 segundos durante 60 segundos
- Aceptabilidad global (escala hedónica 9 puntos)

Parámetro de monitoreo

Las variables de antocianinas totales y parámetros fisicoquímicos se evaluaron en las mismas unidades experimentales durante el almacenamiento a 4 °C en los días 0, 5, 10 y 15 (medidas repetidas longitudinales).

Análisis de inocuidad

Previo a la evaluación sensorial, se verificó la calidad microbiológica del yogurt (recuentos de coliformes, mohos y levaduras) según NTS N°071-MINSA/DIGESA-V.01, garantizando la seguridad alimentaria de los panelistas. Este análisis no constituye una variable dependiente del estudio.

2.4.3. Diseño de la Investigación

La investigación corresponde a un estudio experimental cuantitativo con diseño completamente al azar (DCA), donde el único factor experimental fue el tipo de formulación del yogurt evaluado en seis niveles (F0, F1, F2, F3, F4 y F5), con tres repeticiones por formulación, totalizando 6 tratamientos.

El modelo estadístico lineal que describe el diseño es $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$, donde Y_{ij} representa el valor observado de la variable dependiente, μ es la media general poblacional, τ_i es el efecto del i -ésimo tratamiento ($i = 1, 2, \dots, 6$), y ϵ_{ij} es el error experimental aleatorio ($j = 1, 2, 3$).

Para las variables de antocianinas totales y parámetros fisicoquímicos, las muestras fueron evaluadas longitudinalmente en los días 0, 5, 10 y 15 de almacenamiento refrigerado a 4 °C, configurando una estructura de medidas

repetidas que permite caracterizar la estabilidad temporal sin incrementar el número de unidades experimentales. La asignación de las formulaciones se realizó mediante aleatorización completa utilizando números aleatorios generados en software R versión 4.3.1, y durante el almacenamiento las muestras fueron colocadas en posiciones aleatorias dentro del refrigerador para minimizar efectos de gradientes térmicos.

Se estandarizaron variables críticas del proceso incluyendo materia prima láctea (mismo proveedor, lote único), cultivo iniciador (SACCO al 2% p/p), parámetros de fermentación (42 °C hasta pH 4.6) y temperatura de almacenamiento (4±1 °C con monitoreo continuo).

2.4.4. Análisis Estadístico de los datos

Los análisis estadísticos se realizaron en *Python* mediante un entorno *Jupyter Notebook*, utilizando las librerías *pandas*, *numpy*, *scipy.stats*, *matplotlib*, *seaborn* y *scikit-posthocs* para la organización, análisis y representación gráfica de los datos.

Los resultados se expresaron como media ± desviación estándar de las mediciones realizadas. Antes de seleccionar las pruebas inferenciales, se evaluó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro–Wilk y la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene, considerando un nivel de significancia de ($\alpha=0.05$).

Para comparar las formulaciones de yogurt en las variables de antocianinas monoméricas totales y capacidad antioxidante se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis. Cuando se detectaron diferencias significativas, se realizaron comparaciones múltiples mediante la prueba de Dunn con ajuste de Bonferroni. Las variaciones observadas durante los días 0, 5, 10 y 15 de almacenamiento fueron representadas gráficamente mediante curvas de medias. Para las comparaciones de mediciones relacionadas se utilizó la prueba de Friedman y, cuando correspondió, la prueba post hoc de Nemenyi.

La aceptabilidad de las formulaciones fue evaluada mediante la prueba de Friedman, debido a que los mismos consumidores calificaron todas las formulaciones. Las diferencias entre pares de formulaciones se determinaron

mediante comparaciones múltiples posteriores, considerando un nivel de significancia de ($p < 0.05$).

El análisis de Dominancia Temporal de Sensaciones se realizó con el software TimeSens©. Para la interpretación de las curvas se empleó un límite de casualidad de 16.7 %, calculado como la inversa del número de atributos, y un límite de significancia aproximado de 21.9 %.

Los análisis aplicados permitieron realizar comparaciones entre formulaciones y describir las tendencias observadas durante el almacenamiento. Sin embargo, no se estimó mediante un único modelo la interacción entre formulación y tiempo.

III. RESULTADOS

3.1 Cuantificación de antocianinas totales y capacidad antioxidante de los extractos natural y microencapsulado

3.1.1. Contenido de antocianinas monoméricas totales

La cuantificación de antocianinas monoméricas totales mediante el método de pH diferencial en los extractos de coronta de maíz morado INIA 601 se presenta en la Tabla 4. El extracto natural registró un contenido de 364.759 ± 34.060 mg de cianidina-3-glucósido/100 g de muestra, mientras que el extracto microencapsulado presentó 184.967 ± 4.050 mg de cianidina-3-glucósido/100 g de muestra. Las diferencias entre ambos extractos fueron estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

3.1.2. Capacidad antioxidante mediante DPPH

La capacidad antioxidante evaluada por el método de captura del radical DPPH se muestra en la Tabla 4. El extracto natural exhibió 269.217 ± 3.819 $\mu\text{mol ET/g}$ muestra, mientras que el extracto microencapsulado registró 189.717 ± 0.764 $\mu\text{mol ET/g}$ muestra. Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos extractos ($p < 0.05$).

Tabla 4

Contenido de antocianinas totales y capacidad antioxidante de los extractos natural y microencapsulado de coronta de maíz morado INIA 601

Tipo de extracto	Antocianinas totales (mg cianidina-3-glucósido/100 g)	DPPH ($\mu\text{mol ET/g}$)
Natural	364.759 ± 34.060^a	269.217 ± 3.819^a
Microencapsulado	184.967 ± 4.050^b	189.717 ± 0.764^b

Nota: Valores expresados como media $\pm$ desviación estándar ($n=3$). Letras diferentes en superíndice dentro de cada columna indican diferencias significativas según la prueba de comparaciones múltiples de Dunn ($p < 0.05$). AG: ácido gálico; ET: equivalentes de Trolox.

3.1.1 Variación de antocianinas totales durante el almacenamiento del yogurt enriquecido en los días 0, 5, 10 y 15,

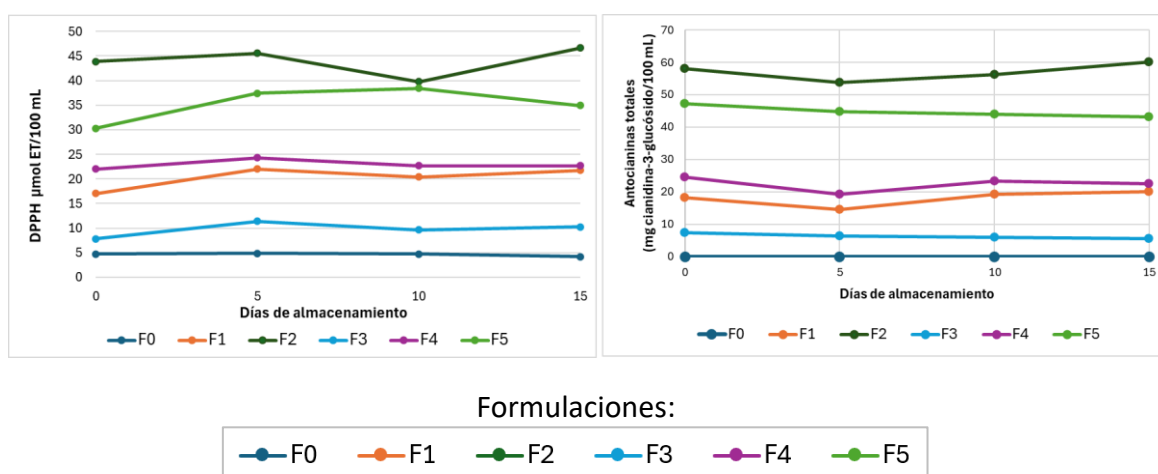
La Figura 4 muestra la evolución de la capacidad antioxidante (DPPH) y del contenido de antocianinas totales durante 15 días de almacenamiento. En la capacidad antioxidante, la formulación control (F0) mantuvo valores bajos y casi

constantes (4.20–4.87 $\mu\text{mol ET}/100\text{ mL}$). Las formulaciones con extracto natural (F1 y F2) presentaron valores superiores, destacando F2 con un rango de 39.73 a 46.63 $\mu\text{mol ET}/100\text{ mL}$. Las formulaciones con extracto microencapsulado (F3 y F4) mostraron valores intermedios, mientras que la formulación mixta F5 registró valores entre 30.30 y 38.43 $\mu\text{mol ET}/100\text{ mL}$.

Para el contenido de antocianinas, la formulación control no presentó presencia de estos compuestos. Entre las formulaciones con extracto, F2 registró los valores más altos, entre 58.00 y 60.07 mg C3G/100 mL. Las formulaciones F1, F3 y F4 mostraron valores menores y relativamente estables, mientras que F5 presentó valores intermedios dentro del rango de 43.07 a 47.17 mg C3G/100 mL.

Figura 4

Evolución temporal de la capacidad antioxidante y concentración antocianinas en yogurt



Nota: Los puntos de las líneas representa el promedio de las 3 repeticiones observadas para cada día y formulación. F0: control (0% extracto natural y 0% extracto microencapsulado), F1: natural bajo (0.10% natural y 0% microencapsulado), F2: natural alto (0.30% natural y 0% microencapsulado), F3: microencapsulado bajo (0.0% natural y 0.10% microencapsulado), F4: microencapsulado alto (0.0% natural y 0.30% microencapsulado) y F5: mixto (0.15% natural y 0.15% microencapsulado)

3.2 Determinación de las características sensoriales dinámicas mediante análisis TDS, y evaluación de la aceptabilidad sensorial

3.2.1. Análisis sensorial dinámico

El análisis TDS (Temporal Dominance of Sensations) permitió evaluar la evolución de los atributos sensoriales dominantes durante el consumo de cada una de las cinco formulaciones de yogurt (F1–F5). Las curvas de dominancia fueron interpretadas

considerando dos límites estadísticos: el límite de casualidad (16.7%), calculado como 1/6 atributos, que representa la probabilidad de selección aleatoria; y el límite de significancia (21.9%), determinado mediante aproximación normal con $\alpha=0.05$ (Pineau et al., 2009). Las curvas generadas muestran el porcentaje de consumidores que percibieron un atributo como dominante en función del tiempo, permitiendo identificar diferencias en la dinámica sensorial entre tratamientos.

El análisis TDS (Temporal Dominance of Sensations) permitió evaluar la evolución de los atributos sensoriales dominantes durante el consumo de cada una de las cinco formulaciones de yogurt (F1–F5). Las curvas generadas muestran el porcentaje de consumidores que percibieron un atributo como dominante en función del tiempo, permitiendo identificar diferencias en la dinámica sensorial entre tratamientos (Ver Figura 5 y Tabla 5).

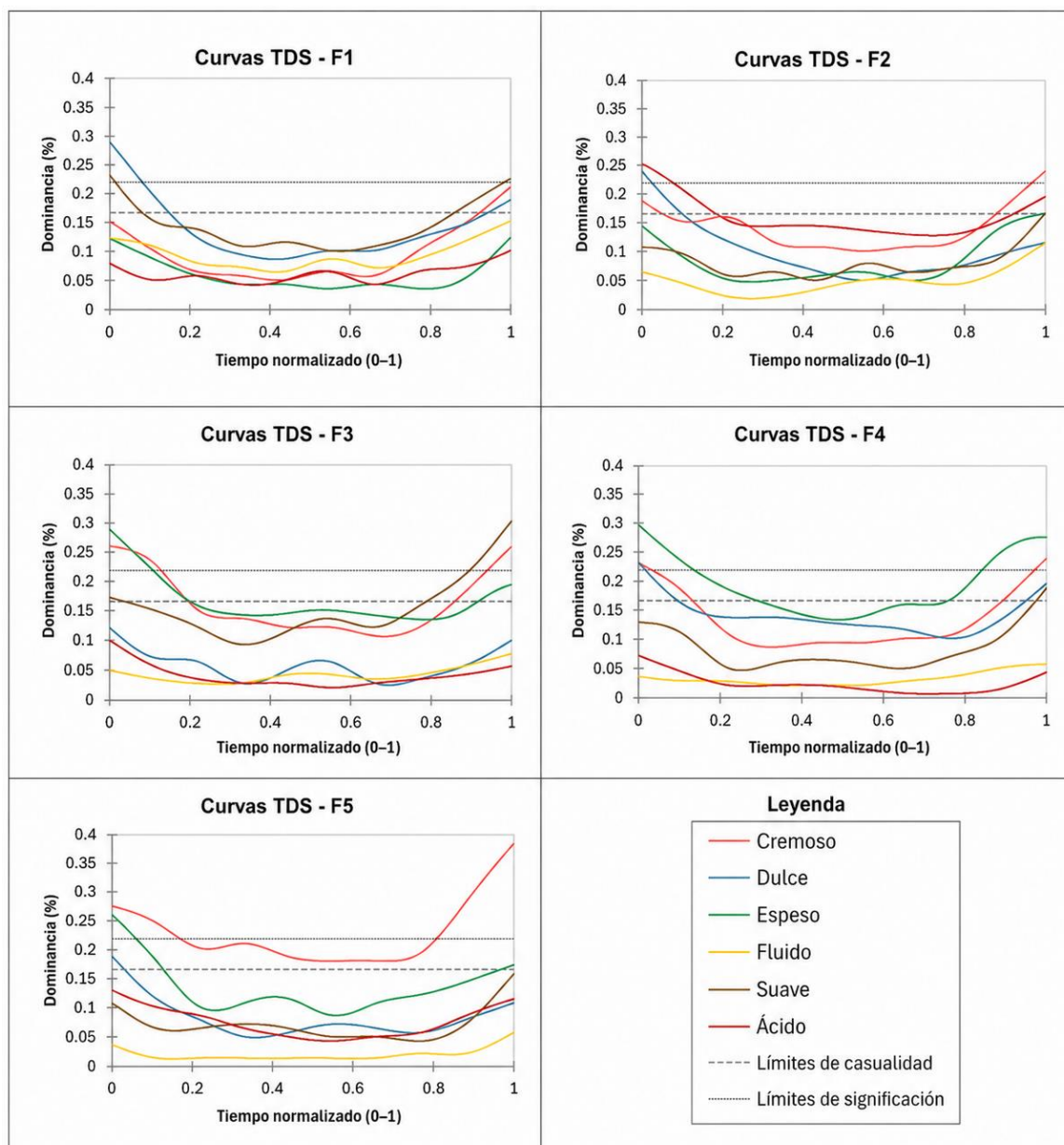
En todos los tratamientos, el atributo “Dulce” fue percibido con alta dominancia durante los primeros segundos del consumo, superando el límite de significancia (21.9 %), lo cual indica una percepción inmediata del dulzor al inicio de la ingesta. Posteriormente, la percepción sensorial tiende a desplazarse hacia atributos relacionados con la textura, principalmente “Cremoso” y “Espeso”, cuyas curvas muestran una progresiva dominancia en las fases intermedias o finales del tiempo normalizado.

- En la Formulación F1, la dominancia inicial del atributo *Dulce* fue seguida por una percepción creciente de *Suave* y *Cremoso* hacia el final.
- En la Formulación F2, aunque *Ácido* y *Dulce* presentaron una dominancia inicial significativa, se observó también una curva ascendente de *Cremoso* en la parte final.
- El Tratamiento F3 mantuvo el patrón de inicio *Cremoso* y *Espeso*, seguido de una presencia significativa de *Suave*, al final de la prueba.
- En la Formulación F4, el atributo *Dulce* alcanzó su mayor nivel de dominancia al inicio y al final, mientras que *Cremoso* alcanzó un nivel significativo de dominancia al final.
- Finalmente, la Formulacion F5 destacó por una marcada dominancia del atributo *Cremoso* al final del consumo, superando ampliamente los límites establecidos, mientras que *Dulce* fue dominante al inicio.

Los atributos “ácido” y “Fluido” se mantuvieron en todos los casos por debajo del límite de casualidad (16.7 %), lo cual sugiere que no fueron percibidos como atributos dominantes por los consumidores durante ninguna etapa del consumo.

Figura 5

Curvas del análisis sensorial dinámico, dominancia de los atributos en cada formulación.



Nota. TDS: *Temporal Dominance of Sensations* (Dominancia Temporal de Sensaciones). F1: yogurt con 0.10% de extracto natural; F2: yogurt con 0.30% de extracto natural; F3: yogurt con 0.10% de extracto microencapsulado; F4: yogurt con 0.30% de extracto microencapsulado; F5: yogurt con 0.15% de extracto natural + 0.15% de extracto microencapsulado. El eje temporal corresponde al tiempo normalizado de consumo (0–1), donde 1 equivale a 60 s (1 min). Las líneas discontinuas representan el límite de casualidad y las líneas punteadas el límite de significación.

Tabla 5

Atributos significativamente dominantes por formulaciones, en cada fase del análisis

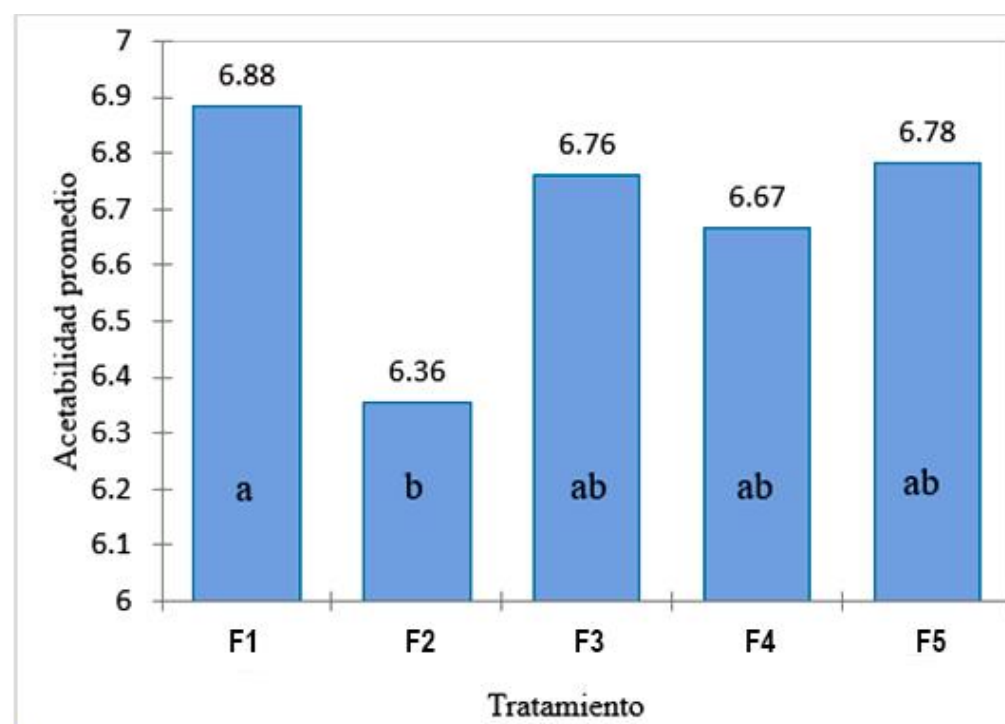
Tratamiento	Fase inicial dominante (0–0.3)	Fase Media (0.3–0.7)	Fase final dominante (0.7–1.0)
F1	Dulce, Suave	-	Suave
F2	Dulce, Ácido	-	Cremoso
F3	Espeso, Cremoso	-	Suave, Cremoso
F4	Espeso, Cremoso, Ácido	-	Espeso, Cremoso
F5	Espeso, Cremoso	-	Cremoso (muy dominante)

3.2.2. Aceptabilidad del yogurt

La evaluación de aceptabilidad mediante escala hedónica de 9 puntos reveló puntuaciones promedio entre 6.36 y 6.88 para las cinco formulaciones evaluadas (Figura 6). La formulación F1 obtuvo la puntuación más alta (6.88), seguida por F5 (6.78), F3 (6.76), F4 (6.67) y F2 (6.36). El análisis de comparaciones múltiples indicó que F1 se diferenció significativamente de F2, mientras que las demás formulaciones (F3, F4, F5) no presentaron diferencias significativas entre sí ni con F1, compartiendo la letra “ab” en la agrupación estadística.

Figura 6

Aceptabilidad de las formulaciones de yogurt



IV. DISCUSIÓN

4.1. Contenido de antocianinas y capacidad antioxidante de los extractos natural y microencapsulado

El extracto natural de coronta de maíz morado INIA 601 registró 364.759 ± 34.060 mg C3G/100 g y 269.217 ± 3.819 $\mu\text{mol ET/g}$ (Tabla 4). El extracto microencapsulado mediante liofilización con inulina-maltodextrina (1:1, p/p) presentó 184.967 ± 4.050 mg C3G/100 g y 189.717 ± 0.764 $\mu\text{mol ET/g}$.

La concentración de antocianinas en el extracto natural (364.76 mg C3G/100 g) es superior a las reportadas por Inostroza et al. (2015) en extractos etanólicos de *Tropaeolum tuberosum* para yogurt (192.63 mg C3G/100 g PF) y las cuantificadas por Barretto et al. (2020) en extractos de cáscara de *Solanum melongena* L. (67.21 mg/100 g). Esta diferencia se atribuye a la mayor concentración intrínseca de antocianinas en la variedad INIA 601, documentada en 6.12 mg/g en coronta por Medina-Hoyos et al. (2020), y al proceso de concentración mediante rotaevaporación a 40°C que eliminó aproximadamente 70% del volumen inicial del extracto hidroalcohólico. Castillo, (2017) reportó contenidos de 296 mg/100 g en extractos acuosos de *Hibiscus sabdariffa* para yogurt, valores comparables a los obtenidos. La variabilidad en las concentraciones entre estudios responde a factores intrínsecos de la materia prima (variedad, madurez fisiológica, condiciones edafoclimáticas), método de extracción (solvente, relación sólido:líquido, tiempo de contacto) y procedimientos de concentración aplicados.

La capacidad antioxidante del extracto natural (269.22 $\mu\text{mol ET/g}$) es consistente con el rango reportado en estudios de yogurt fortificado con antocianinas. López-Astorga et al., (2025) obtuvieron 124-249 $\mu\text{mol TE/g}$ en microencapsulados de orujo de uva mediante spray-drying con maltodextrina-goma arábiga, mientras que Inostroza et al., (2015) documentaron 15.8 $\mu\text{mol TE/g PF}$ en extractos de *Tropaeolum tuberosum*. La diferencia marcada con este último estudio se explica por la expresión de resultados en base fresca versus base seca, donde el contenido de humedad diluye la concentración de compuestos bioactivos. Barretto et al. (2020) no reportó actividad antioxidante de extractos puros en unidades comparables, aunque determinó que yogurt adicionado con 1-2 g/100 mL de extracto de *Solanum melongena* incrementó fenólicos totales entre 106.01-291.98 mg EAG/100 g yogurt.

La relación 1:1 inulina-maltodextrina resulta tecnológicamente adecuada pero no óptima para preservar antocianinas aciladas de INIA 601. La optimización de la formulación incrementando la proporción de material de pared a 1:2 o incorporando goma arábica potencialmente elevaría la eficiencia a 70-85%, según rangos reportados por Campo et al. (2021) y Yousefi et al. (2022).

4.2. Estabilidad de antocianinas totales durante almacenamiento refrigerado

La formulación F2 (0.30% extracto natural) mantuvo 58.00-60.07 mg C3G/100 mL durante 15 días a 4°C con fluctuación del 7.2% sin degradación sistemática ($p>0.05$). F5 (0.15% natural + 0.15% microencapsulado) exhibió 43.07-47.17 mg C3G/100 mL con variación del 8.7%. Ambas formulaciones compartieron agrupación estadística “a” (Figura 4).

Esta estabilidad difiere marcadamente de Barretto et al. (2020), quien documentó disminución progresiva en yogurt con extracto libre de *Solanum melongena* durante 30 días a 4°C, mientras extracto microencapsulado mantuvo concentraciones constantes. Ścibisz y Ziarno (2023) reportaron que adición de 30% yogurt a smoothies disminuyó estabilidad de antocianinas durante 4 semanas refrigeradas. La diferencia fundamental radica en que INIA 601 contiene antocianinas aciladas (cianidina-3-glucósido y peonidina-3-glucósido con sustituciones acilo) identificadas por Cerro y Espillico (2021), Medina-Hoyos et al., (2020) y Rabanal-Atalaya y Medina-Hoyos, (2021), que estabilizan el catión flavilio mediante copigmentación intramolecular. Las antocianinas no aciladas de *Solanum melongena* carecen de esta protección estructural, manifestando mayor dependencia de encapsulación externa (Barretto et al., 2020).

El pH del yogurt (4.18-4.30) favorece la forma catión flavilio. Castillo (2017) demostró que extractos de *Hibiscus sabdariffa* exhiben máxima estabilidad a $\text{pH}<3$, mientras $\text{pH}>7$ genera formas quinoidales que se degradan rápidamente por oxidación. Barretto et al. (2020) reportó pH 3.60-3.87 en yogurt con 1.0-2.0 g/100 mL de extracto de *Solanum melongena*, más ácido que el presente estudio debido a mayor carga de ácidos orgánicos coprecipitados.

La capacidad antioxidante siguió tendencia similar. Silva et al. (2022) reportaron 1.2 $\mu\text{mol TE/g}$ en yogurt de cabra con 2.0% extracto de uva, superior a F2 (0.44-0.47 $\mu\text{mol TE/g}$) debido a concentración 6.7 veces mayor, confirmando relación dosis-respuesta. Maleki et al. (2021) documentaron que extracto de *Tanacetum polycephalum* (750-1000

ppm) mantuvo estabilidad durante 15 días sin diferencias entre extracto libre y nanoencapsulado, atribuido a protección conferida por la matriz láctea.

Las formulaciones F2 (extracto natural) y F5 (mixta) no presentaron diferencias significativas ($p>0.05$), indicando que la microencapsulación no confirió ventaja de estabilidad durante 15 días. La estabilidad excepcional se atribuye fundamentalmente a propiedades estructurales de antocianinas aciladas de INIA 601, no a la encapsulación.

Para productos con vida útil 15-21 días bajo refrigeración, extractos naturales concentrados de INIA 601 constituyen alternativa viable que preserva funcionalidad sin incrementar costos. La microencapsulación debería reservarse para productos con vida útil >21 días, como sugieren los datos de Barretto et al. (2020) a 30 días, o para condiciones de estrés térmico o lumínico.

4.3. Perfil sensorial dinámico mediante análisis TDS

Todas las formulaciones exhibieron dominancia de “Dulce” en fase temprana (0-0.3, $>21.9\%$) coherente con sacarosa al 8% (Tabla 5, Figura 5). Las formulaciones con extracto microencapsulado (F3-F5) mostraron dominancia temprana de “Cremoso” y “Espeso” desde $t=0$, mientras F1-F2 (extracto natural) presentaron dominancia tardía. F5 alcanzó dominancia prolongada de “Cremoso” en fase final (0.7-1.0) superando límite de significancia (21.9%) durante 70% del tiempo.

La dominancia temprana de “Cremoso” en F3-F5 responde a propiedades hidrocoloides de inulina-maltodextrina. Yagmur et al., (2024) documentaron que la inulina incrementa viscosidad aparente en yogurt mediante formación de red tridimensional que retiene agua, modificando percepción reológica. Olt et al., (2022) reportaron comportamiento similar en yogurt adicionado con betalainas microencapsuladas con inulina-maltodextrina. Anuyahong et al. (2020) demostraron que antocianinas de arroz negro mejoraron viscosidad y redujeron sinéresis en yogurt, atribuido a interacciones compuestos fenólicos-caseínas que fortalecen estructura de gel. Maleki et al. (2021) documentaron que extracto de *Tanacetum polycephalum* modificó propiedades de viscosidad de yogurt sin afectar viabilidad probiótica. El atributo “Fluido” permaneció $<16.7\%$ (límite de casualidad) en todas las formulaciones, confirmando ausencia de sinéresis excesiva según (Pineau et al., 2009).

La formulación F2 presentó dominancia simultánea de “ácido” y “Dulce” en fase inicial (Tabla 5). Barretto et al. (2020) reportó pH 3.60-3.87 y acidez 1.4-2.05% en yogurt con extracto no encapsulado de *Solanum melongena* (1.0-2.0 g/100 mL), valores más ácidos que el presente estudio (pH 4.18-4.30). Castillo (2017) obtuvo pH 4.25 en yogurt con extracto de *Hibiscus sabdariffa*, documentando que ácidos orgánicos coprecipitados generan percepción ácida inicial. Las formulaciones microencapsuladas (F3-F5) mantuvieron “ácido” bajo límite de casualidad (16.7%), demostrando enmascaramiento efectivo mediante barrera física de la cápsula. Silva et al. (2022) reportaron que yogurt de cabra con extracto de uva (0.5-2.0%) no presentó dominancia de acidez, atribuido a menor concentración de ácidos orgánicos en extractos de uva comparados con otras fuentes vegetales.

Moura et al. (2022) reportaron preferencia para yogurt con extracto libre (4.5%) y micropartículas (20%) de *Hibiscus sabdariffa*, indicando que concentraciones elevadas no comprometen aceptabilidad cuando la microencapsulación enmascara notas herbales. Inostroza et al. (2015) obtuvieron 85% de preferencia ($p < 0.05$) por yogurt con extracto de *Tropaeolum tuberosum* versus colorantes sintéticos, sugiriendo tendencia favorable hacia colorantes naturales en yogurt.

El TDS realizado únicamente en día 0 impidió evaluar evolución del perfil sensorial durante almacenamiento. Anuyahong et al. (2020) y Maleki et al. (2021) documentaron cambios en viscosidad de yogurt durante refrigeración, sugiriendo posible intensificación de dominancia “Cremoso” en días 5-15. Barretto et al. (2020) reportó incremento de acidez durante 30 días en yogurt con extracto no encapsulado, mientras extracto encapsulado mantuvo pH estable, indicando que microencapsulación podría preservar enmascaramiento de acidez durante vida útil. Evaluaciones complementarias correlacionadas con análisis reológico instrumental cuantificarían persistencia del efecto sensorial.

4.4. Aceptabilidad global

Las formulaciones alcanzaron 6.36-6.88/9 puntos (Figura 6). F1 (0.10% natural) obtuvo 6.88, diferenciándose significativamente de F2 (6.36, $p < 0.05$). F5 (6.78), F3 (6.76) y F4 (6.67) compartieron agrupación “ab”. F2 registró menor puntuación, coherente con dominancia “ácido” en TDS, validando correlación entre perfil temporal y aceptabilidad global según metodología de (Pineau et al., 2009).

Las puntuaciones son comparables con Silva et al. (2022), quienes reportaron 6.8-7.4 puntos en yogurt de cabra con extractos de uva (0.5-2.0%). Barretto et al. (2020) obtuvo aceptabilidad satisfactoria en yogurt con extracto encapsulado de *Solanum melongena* (1.0-2.0 g/100 mL) durante 30 días. Inostroza et al. (2015) reportaron preferencia del 85% ($p < 0.05$) por yogurt con extracto de *Tropaeolum tuberosum* versus colorantes sintéticos. Moura et al. (2022) documentaron buena preferencia para yogurt con extracto libre (4.5%) y micropartículas (20%) de *Hibiscus sabdariffa*. La coincidencia entre estudios establece que extractos naturales en concentraciones funcionales ($< 2\%$) mantienen aceptabilidad sin superar umbral de rechazo en yogurt, validando el rango empleado (0.10-0.30%).

La menor aceptabilidad de F2 (6.36) responde a dominancia “ácido” documentada en TDS. Barretto et al. (2020) reportó pH 3.60-3.87 en yogurt con extracto no encapsulado, mientras Castillo (2017) obtuvo pH 4.25, valores que correlacionan negativamente con aceptabilidad cuando $\text{pH} < 4.3$ genera percepción ácida excesiva. El pH obtenido en F2 (4.18) explica que, pese a dominancia “ácido”, la aceptabilidad se mantuvo en rango aceptable ($6.36/9 = 70.7\%$ en escala porcentual), por encima del límite de aceptabilidad comercial (60%). Yagmur et al. (2024) documentaron que pH 4.0-4.5 en yogurt es tolerado por consumidores cuando se asocia con productos naturales.

Las formulaciones microencapsuladas (F3-F5) no difirieron significativamente de F1 (agrupación “ab”), demostrando que microencapsulación no compromete aceptabilidad. Olt et al. (2022) y Maleki et al. (2021) reportaron comportamiento similar en yogurt con compuestos bioactivos microencapsulados. Este hallazgo generaliza que microencapsulación mediante liofilización con inulina-maltodextrina constituye estrategia efectiva para incorporar extractos vegetales en yogurt sin penalizar aceptación sensorial, principio aplicable a otros extractos bioactivos.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La coronta de maíz morado INIA 601 demostró ser una fuente viable de antocianinas monoméricas y compuestos antioxidantes para fortificación de yogurt, con concentraciones de 364.759 ± 34.060 mg cianidina-3-glucósido/100 g y 269.217 ± 3.819 μ mol ET/g en extracto natural. El extracto microencapsulado mediante liofilización con inulina-maltodextrina (1:1) retuvo 184.967 ± 4.050 mg cianidina-3-glucósido/100 g y 189.717 ± 0.764 μ mol ET/g, con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

El yogurt fortificado con extracto de coronta mantuvo estabilidad de antocianinas durante vida útil comercial estándar (15 días a 4°C), con fluctuaciones mínimas ($\leq 8\%$) en todas las formulaciones evaluadas. La formulación con mayor concentración de extracto natural (0.30%) alcanzó los niveles más elevados de antocianinas (56-60 mg cianidina-3-glucósido/100 mL).

Las formulaciones con extracto microencapsulado generaron perfil sensorial diferenciado con dominancia sostenida de cremosidad durante 70% del tiempo de consumo, superando el límite de significancia estadística (21.9%). En contraste, la formulación con extracto natural libre a mayor concentración (0.30%) presentó dominancia del atributo ácido, confirmando el efecto de enmascaramiento sensorial de la microencapsulación.

La formulación con menor concentración de extracto natural (0.10%) maximizó la preferencia del consumidor (6.88 puntos), diferenciándose significativamente de la formulación con mayor concentración de extracto natural (0.30%, 6.36 puntos, $p < 0.05$), mientras que las formulaciones microencapsuladas mantuvieron aceptabilidad elevada sin diferencias significativas entre sí.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda que futuras investigaciones con Dominancia Temporal de Sensaciones sean ejecutadas por un panel entrenado, no por consumidores sin entrenamiento como en este estudio. El método exige registrar atributos dominantes en tiempo real mediante interfaz digital, tarea que demanda discriminación temporal precisa; un panel calibrado reduciría la variabilidad inter-panelista y mejoraría la reproducibilidad de las curvas de dominancia.

Extender evaluaciones de estabilidad a 30 días con modelamiento cinético de degradación e incluir recuentos de viabilidad probiótica ($\geq 10^7$ UFC/g) para sustentar claims funcionales conforme regulaciones sanitarias.

Implementar TDS longitudinal (días 0, 7, 14) correlacionado con análisis reológico instrumental para caracterizar evolución del perfil sensorial y establecer relaciones cuantitativas entre propiedades físicas y percepciones temporales.

Conducir estudios multi-lote con coronta de diferentes procedencias para evaluar robustez del proceso frente a variabilidad natural (30-180 mg C3G/100g) y establecer especificaciones técnicas de materia prima.

Realizar análisis comparativo técnico-económico entre liofilización y spray-drying evaluando eficiencia de encapsulación, costos operacionales, y estabilidad del producto final para determinar tecnología óptima según volumen de producción proyectado.

Incorporar monitoreo microbiológico exhaustivo durante almacenamiento (recuentos de BAL, identificación molecular, actividad probiótica in vitro) para validar mantenimiento de funcionalidad durante comercialización.

Explorar aplicaciones en otras matrices lácteas (queso fresco, helado, leches fermentadas) y no lácteas (bebidas vegetales, productos de panadería) para diversificar portafolio y maximizar valorización del subproducto agroindustrial.

Establecer alianzas con empresas lácteas regionales para pruebas piloto semiindustriales (50-100 L), validando reproducibilidad, estabilidad en distribución refrigerada, y desarrollando paquetes tecnológicos transferibles que incluyan especificaciones técnicas, protocolos estandarizados, y estrategias de comunicación de beneficios funcionales.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, I., Hao, M., Li, Y., Zhang, J., Ding, Y., y Lyu, F. (2022). Fortification of yogurt with bioactive functional foods and ingredients and associated challenges—A review. *Trends in Food Science & Technology*, 129, 558-580.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.11.003>
- Anuyahong, T., Chusak, C., y Adisakwattana, S. (2020). Incorporation of anthocyanin-rich riceberry rice in yogurts: Effect on physicochemical properties, antioxidant activity and in vitro gastrointestinal digestion. *LWT*, 129, 109571.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109571>
- Ares, G., Giménez, A., y Gámbaro, A. (2008). Understanding consumers' perception of conventional and functional yogurts using word association and hard laddering. *Food Quality and Preference*, 19(7), 636-643.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2008.05.005>
- Ares, G., y Jaeger, S. R. (2013). Check-all-that-apply questions: Influence of attribute order on sensory product characterization. *Food Quality and Preference*, 28(1), 141-153. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2012.08.016>
- Ayala, N. (2024, junio 4). En Perú Ventas De Yogurt Y Leche Crecen En 3.04% Y 18.46% Respectivamente. *EDairyNews Español*.
<https://es.edairynews.com/peru-ventas-yogurt-leche-crecen-3-04-y-18-46/>
- Barretto, F. J. D. F. P., Clemente, H. A., Santana, A. L. B. D., y Vasconcelo, M. A. D. S. (2020). Stability of encapsulated and non-encapsulated anthocyanin in yogurt produced with natural dye obtained from *Solanum melongena* L. Bark. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 42(3), e-137. <https://doi.org/10.1590/0100-29452020137>

- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., y Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Campo, M., Granja, D. F., Matute, N. L., Cuesta, O., y Márquez, I. (2021). Microencapsulación mediante secado por atomización a partir de un extracto de los cálices de Hibiscus sabdariffa L. *Revista Colombiana de Química*, 50(1), 40-50. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v50n1.88424>
- Castillo, R. (2017). *Efecto de uso del extracto de la Flor de Jamaica (Hibiscus sabdariffa) como colorante natural y fuente de antioxidantes en las características fisicoquímicas de yogur sabor a fresa* [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Castura, J. C., Antúnez, L., Giménez, A., y Ares, G. (2016). Temporal Check-All-That-Apply (TCATA): A novel dynamic method for characterizing products. *Food Quality and Preference*, 47, 79-90. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.06.017>
- Cerro, S., y Espillico, L. (2021). Antocianinas en corontas y extractos de maíz morado (Zea mays l) “INIA 615” conservados en anaquel. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(3). <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i3.349>
- Chadha, D., Hamid, N., Kantono, K., y Marsan, M. (2022). Changes in temporal sensory profile, liking, satiety, and postconsumption attributes of yogurt with natural sweeteners. *Journal of Food Science*, 87(7), 3190-3206. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16224>
- Curti, C. A., Lotufo-Haddad, A. M., Vinderola, G., Ramon, A. N., Goldner, M. C., y Costa Antunes, A. E. (2022). Satiety and consumers’ perceptions: What opinions do Argentinian and Brazilian people have about yogurt fortified with dairy and

- legume proteins? *Journal of Dairy Science*, 105(11), 8782-8791.
<https://doi.org/10.3168/jds.2021-21734>
- Du, H., Wang, X., Yang, H., Zhu, F., Liu, J., Cheng, J., Lin, Y., Tang, D., y Liu, X. (2023). Regulation on the quality of yogurt by phenolic fraction of mulberry pomace supplemented before and after fermentation. *Food Control*, 144, 109333. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109333>
- Esmerino, E. A., Ferraz, J. P., Filho, E. R. T., Pinto, L. P. F., Freitas, M. Q., Cruz, A. G., y Bolini, H. M. A. (2017). Consumers' perceptions toward 3 different fermented dairy products: Insights from focus groups, word association, and projective mapping. *Journal of Dairy Science*, 100(11), 8849-8860.
<https://doi.org/10.3168/jds.2016-12533>
- Feitosa, B. F., Decker, B. L. A., Brito, E. S. de, Rodrigues, S., y Mariutti, L. R. B. (2023). Microencapsulation of anthocyanins as natural dye extracted from fruits – A systematic review. *Food Chemistry*, 424, 136361.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136361>
- Galmarini, M. V., Visalli, M., y Schlich, P. (2017). Advances in representation and analysis of mono and multi-intake Temporal Dominance of Sensations data. *Food Quality and Preference*, 56, 247-255.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.01.011>
- 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). <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>
- Gomez, M., Sozzi, A., Corfield, R., Gagneten, M., Franceschinis, L., Schebor, C., y Salvatori, D. (2022). Colorant and antioxidant properties of freeze-dried extracts from wild berries: Use of ultrasound-assisted extraction method and drivers of

- liking of colored yogurts. *Journal of Food Science and Technology*, 59(3), 944-955. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05096-3>
- Greis, M., Sainio, T., Katina, K., Kinchla, A. J., Nolden, A., Partanen, R., y Seppä, L. (2020). Dynamic texture perception in plant-based yogurt alternatives: Identifying temporal drivers of liking by TDS. *Food Quality and Preference*, 86, 104019. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.104019>
- Guemidi, C., Ait Saada, D., Ait Chabane, O., Elmastas, M., Erenler, R., Yilmaz, M. A., Tarhan, A., Akkal, S., y Khelifi, H. (2024). Enhancement of yogurt functionality by adding *Mentha piprita* phenolic extract and evaluation of its quality during cold storage. *Food Science & Nutrition*, 12(4), 3007-3020. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3981>
- Guija-Poma, E., Inocente-Camones, M., Ponce-Pardo, J., y Zarzosa-Norabuena, E. (2015). Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte Médico (Lima)*, 15(1), 57-60.
- Inostroza, L. A., Castro, A. J., Hernández, E. M., Carhuapoma, M., Yuli, R. A., Collado, A., y Córdova, J. S. (2015). Actividad antioxidante de *Tropaeolum tuberosum* Ruiz & pavón (mashua) y su aplicación como colorante para yogur. *Ciencia e Investigación*, 18(2), 83-89. <https://doi.org/10.15381/ci.v18i2.13615>
- International Organization for Standardization. (2017). *ISO 6658:2017 Sensory analysis, Methodology, General guidance*. ISO. <https://www.iso.org/standard/65519.html>
- Lee, J., Durst, R. W., Wrolstad, R. E., Collaborators:, Eisele, T., Giusti, M. M., Hach, J., Hofsommer, H., Koswig, S., Krueger, D., Kupina:, S., Martin, S. K., Martinsen, B., Miller, T. C., Paquette, F., Ryabkova, A., Skrede, G., Trenn, U., y Wightman, J. (2005). Determination of Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of

- Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines by the pH Differential Method: Collaborative Study. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 88(5), 1269-1278. <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.5.1269>
- Lesme, H., Courcoux, P., Alleaume, C., Famelart, M.-H., Bouhallab, S., Prost, C., y Rannou, C. (2020). Contribution of temporal dominance of sensations performed by modality (M-TDS) to the sensory perception of texture and flavor in semi-solid products: A case study on fat-free strawberry yogurts. *Food Quality and Preference*, 80, 103789. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103789>
- López-Astorga, M., Leon-Bejarano, M., Gámez-Meza, N., Del Toro-Sánchez, C. L., Simsek, S., y Ovando-Martínez, M. (2025). Microencapsulated grape pomace extract as an antioxidant ingredient added to Greek-style yogurt: Storage stability and in vitro bioaccessibility. *Food Chemistry*, 477, 143550. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143550>
- Machado, K., Tulini, F., Guimarães, J., Moraes, I., Ditchfield, C., Lima, C., Silva, V., y Favaro-Trindade, C. (2023). Production and Evaluation of Yogurt Colored with Anthocyanin-Rich Pigment Prepared from Jabuticaba (*Myrciaria cauliflora* Mart.) Skin. *Processes*, 11(2), 526. <https://doi.org/10.3390/pr11020526>
- Maleki, M., Ariaii, P., y Sharifi Soltani, M. (2021). Fortifying of probiotic yogurt with free and microencapsulated extract of *Tragopogon Collinus* and its effect on the viability of *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus plantarum*. *Food Science & Nutrition*, 9(7), 3436-3448. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2250>
- Medel-Marabolí, M., González-Castillo, F., Bungler, A., y Sáenz, C. (2024). Sensory temporality of sweeteners in aqueous solution and in yogurt. *Journal of Food*

Measurement and Characterization, 18(3), 2196-2204.

<https://doi.org/10.1007/s11694-023-02257-0>

Medina-Hoyos, A., Narro-León, L., y Chávez-Cabrera, A. (2020). Purple corn (*Zea mays* L.) crop in the Peruvian Highlands: Adaptation and identification of high-yield and high anthocyanin content cultivars. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 291-299. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.01>

Ministerio de Salud del Perú. (2008). *Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano* [NTS N° 071-MINSA/DIGESA-V.01]. Dirección General de Salud Ambiental.

Moura, S. C. S. R., Schettini, G. N., Gallina, D. A., Dutra Alvim, I., y Hubinger, M. D. (2022). Microencapsulation of hibiscus bioactives and its application in yogurt. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(4). <https://doi.org/10.1111/jfpp.16468>

Olt, V., Baéz, J., Jorcin, S., López, T., Fernández-Fernández, A. M., y Medrano Fernandez, A. (2022). Encapsulated bioactive compounds from a winemaking byproduct for its application as functional ingredient in yogurt. *Agrociencia Uruguay*, 25(NE2). <https://doi.org/10.31285/AGRO.25.794>

Pineau, N., Schlich, P., Cordelle, S., Mathonnière, C., Issanchou, S., Imbert, A., Rogeaux, M., Etiévant, P., y Köster, E. (2009). Temporal Dominance of Sensations: Construction of the TDS curves and comparison with time–intensity. *Food Quality and Preference*, 20(6), 450-455. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2009.04.005>

Pires, T. C. S. P., Dias, M. I., Barros, L., Barreira, J. C. M., Santos-Buelga, C., y Ferreira, I. C. F. R. (2018). Incorporation of natural colorants obtained from

- edible flowers in yogurts. *LWT*, 97, 668-675.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.08.013>
- Rabanal-Atalaya, M., y Medina-Hoyos, A. (2021). Análisis de antocianinas en el maíz morado (*Zea mays* L.) del Perú y sus propiedades antioxidantes. *Revista Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.808>
- Rajabi, H., Sedaghati, S., Rajabzadeh, G., y Mohammadi Sani, A. (2024). Characterization of microencapsulated spinach extract obtained by spray-drying and freeze-drying techniques and its use as a source of chlorophyll in a chewing gum based on *Pistacia atlantica*. *Food Hydrocolloids*, 150, 109665.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109665>
- Real Academia Española. (2025). Coronta. En *Diccionario de la lengua española (ed. Electrónica)*. <https://dle.rae.es/coronta>
- Rodrigues, J. F., Souza, V. R. D., Lima, R. R., Carneiro, J. D. D. S., Nunes, C. A., y Pinheiro, A. C. M. (2016). Temporal dominance of sensations (TDS) panel behavior: A preliminary study with chocolate. *Food Quality and Preference*, 54, 51-57. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.07.002>
- Rojas-Rivas, E., Espinoza-Ortega, A., Thomé-Ortiz, H., y Cuffia, F. (2022). More than words! A narrative review of the use of the projective technique of word association in the studies of food consumer behavior: Methodological and theoretical implications. *Food Research International*, 156, 111124.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111124>
- Ścibisz, I., y Ziarno, M. (2023). Effect of Yogurt Addition on the Stability of Anthocyanin during Cold Storage of Strawberry, Raspberry, and Blueberry Smoothies. *Foods*, 12(20), 3858. <https://doi.org/10.3390/foods12203858>

- Silva, F. A., Queiroga, R., De Souza, E., Voss, G., Borges, G., Lima, M., Pintado, M., y Vasconcelos, M. (2022). Incorporation of phenolic-rich ingredients from integral valorization of Isabel grape improves the nutritional, functional and sensory characteristics of probiotic goat milk yogurt. *Food Chemistry*, 369, 130957. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130957>
- Stone, H., y Sidel, J. L. (2004). *Sensory evaluation practices*. Elsevier Academic Press.
- Wallace, T. C., y Giusti, M. M. (2008). Determination of Color, Pigment, and Phenolic Stability in Yogurt Systems Colored with Nonacylated Anthocyanins from *Berberis boliviana* L. as Compared to Other Natural/Synthetic Colorants. *Journal of Food Science*, 73(4). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00706.x>
- Williams, E. (1949). Experimental Designs Balanced for the Estimation of Residual Effects of Treatments. *Australian Journal of Chemistry*, 2(2), 149. <https://doi.org/10.1071/CH9490149>
- Yagmur, N., Sahin, S., y Yilmaz Ersan, L. (2024). Bio-yoghurt enriched with *Spirulina* - encapsulated pomegranate peel: Impact on some metabolomics, antioxidative, textural and colour properties. *International Journal of Dairy Technology*, 77(3), 724-734. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.13105>
- Yousefi, S., Kavyanirad, M., Aminifar, M., Weisany, W., y Mousavi Khaneghah, A. (2022). Yogurt fortification by microencapsulation of beetroot extract (*Beta vulgaris* L.) using maltodextrin, gum arabic, and whey protein isolate. *Food Science & Nutrition*, 10(6), 1875-1887. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2804>

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Jaén, institución que nos ha brindado la formación académica y humana necesaria para llevar a cabo esta investigación. Especial gratitud a los encargados del Laboratorio de Nutrición y Bromatología de Alimentos y del Laboratorio de Poscosecha de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), así como a los responsables del Laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la Universidad Nacional de Jaén, quienes con compromiso y dedicación facilitaron el uso de equipos y brindaron orientación técnica clave durante el desarrollo experimental del proyecto.

Expresamos nuestro reconocimiento al Mg. Ing. Hans Himbler Minchán Velayarce y al Dr. Erick Manuel Saldaña Villa, quienes nos otorgaron su invaluable orientación tanto académica como personal durante el desarrollo de esta investigación. Su dedicación, paciencia y amplia disposición para conducirnos con excelencia científica y carácter humano influyeron de forma notable en todas las fases de este estudio. La culminación exitosa de este proyecto no hubiera sido factible sin su permanente apoyo y motivación.

Se agradece a la Asociación de Productores Agropecuarios del distrito de Matará, provincia y región de Cajamarca, Perú, por su valiosa colaboración en el suministro de harina de coronta de maíz morado variedad INIA 601. A la Mg. Medina Hoyos Alicia Elizabeth, porque su apoyo resultó fundamental para garantizar la calidad de la materia prima y el desarrollo exitoso de esta investigación.

Finalmente, agradecemos profundamente a los 130 panelistas que participaron voluntariamente en las evaluaciones sensoriales, y a todas las personas que de una u otra forma brindaron su apoyo, ya sea con sus conocimientos, palabras de aliento, tiempo o colaboración directa.

Deyly y Karyn

DEDICATORIA

A Dios, por darme la fuerza y sabiduría necesaria para culminar esta investigación.

A mis padres David y Vilma por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios que hicieron posible este logro, cada enseñanza sobre perseverancia y dedicación han sido fundamentales en mi formación académica y personal.

A toda mi familia peluche que me acompañaron y acurrucaron en este difícil proceso, gracias por ser parte de este camino.

Deyly Campos Cardozo

A Dios, por darme salud y fortaleza en cada etapa de este proyecto.

A mi mamá LLoysi Rocío López Daza y mamita Silvia Daza de López, por su amor incondicional, sus sacrificios y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. Este logro es fruto de su constante apoyo y guía.

A quienes me ofrecieron su apoyo académico, moral o emocional durante este proceso, gracias por cada palabra de aliento y colaboración.

Karyn Estefany Montenegro Lopez

ANEXOS

Anexo 1

Certificación de materia prima



Asociación de Productores Agropecuarios e Industriales del distrito de Matará

ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES AGROPECUARIOS DEL DISTRITO DE MATARÁ

Provincia y Región de Cajamarca

CONSTANCIA DE PROCEDENCIA DE MATERIA PRIMA – VARIEDAD INIA 601

La Asociación de Productores Agropecuarios e Industriales del Distrito de Matará hace constar que la harina de coronta de maíz morado (Zea mays L.) variedad INIA 601, utilizada en la investigación titulada:

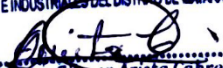
“Impacto del extracto natural y microencapsulado de coronta de maíz morado INIA 601 en las propiedades sensoriales dinámicas y antioxidantes del yogurt”,

procede de **maíz morado variedad INIA 601**, cultivado en terrenos agrícolas del distrito de Matará, provincia y región de Cajamarca, durante la campaña agrícola 2023–2024.

Se expide la presente constancia a solicitud de las interesadas, para los fines que estimen pertinentes.

Matará, 06 de octubre de 2025

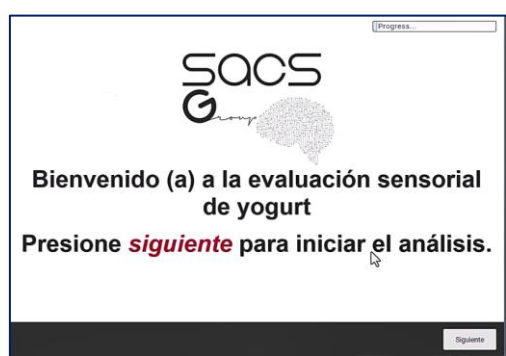
Por la Asociación de Productores Agropecuarios del Distrito de Matará.

ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES AGROPECUARIOS
E INDUSTRIALES DEL DISTRITO DE MATARÁ

Nestor Gilmer Arista Cabrera
PRESIDENTE

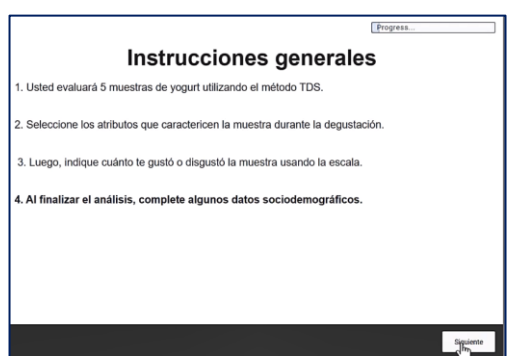
Anexo 2

Instrumentos de evaluación sensorial

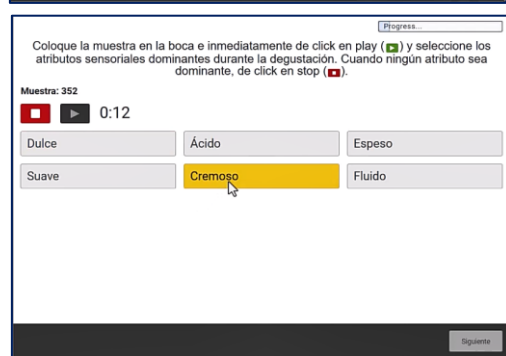
Anexo 2.1. Ficha de evaluación TDS



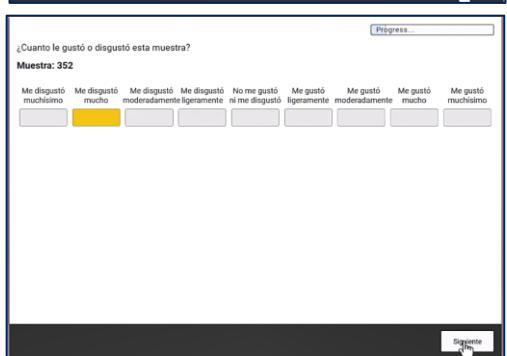
A



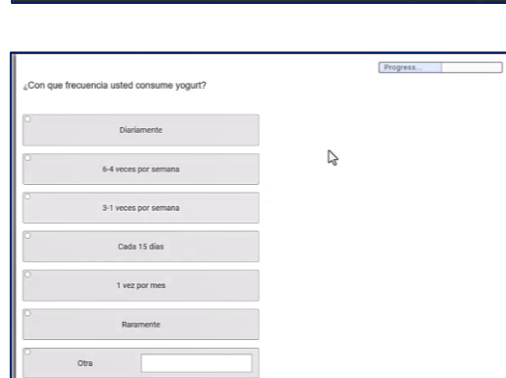
B



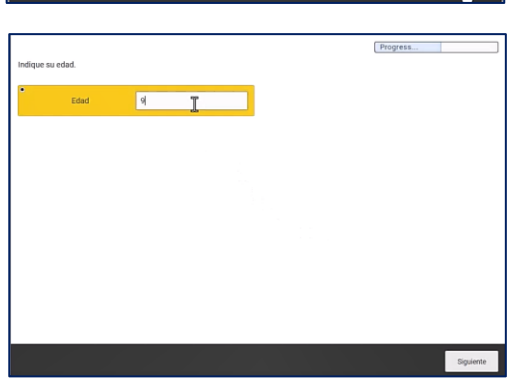
C



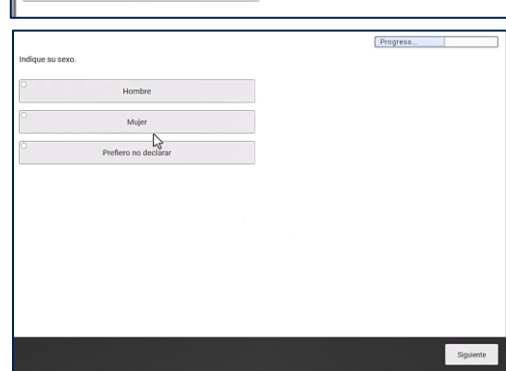
D



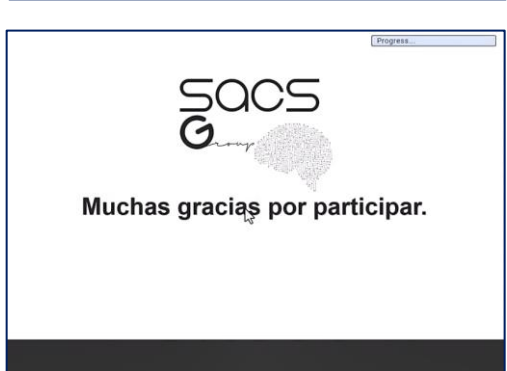
E



F



G



H

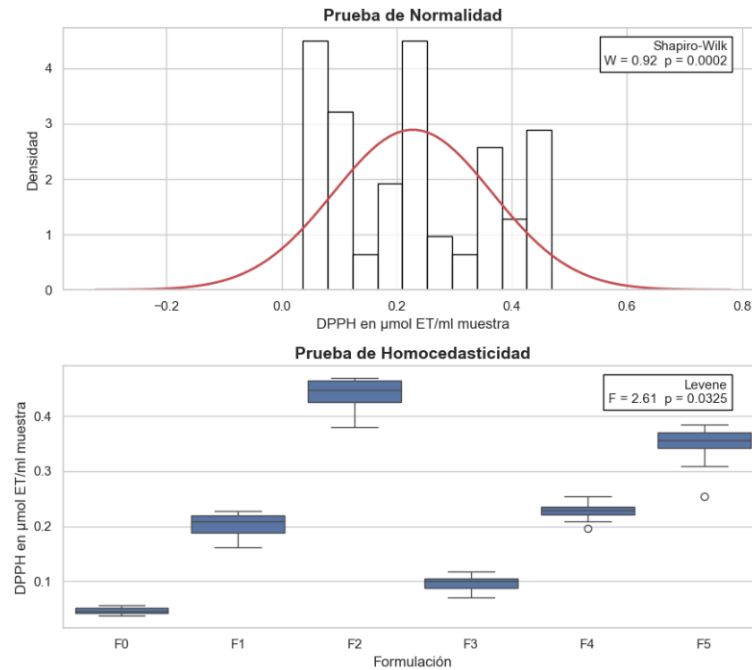
Nota: Interfaz del software TimeSens© (INRA, Dijon, Francia) para evaluación sensorial. (A) Pantalla de bienvenida al análisis. (B) Instrucciones generales: evaluación de 5 muestras, selección de atributos dominantes durante degustación, indicación de aceptabilidad mediante escala, y registro de datos sociodemográficos. (C) Registro temporal de atributos dominantes (dulce, ácido, espeso, suave, cremoso, fluido) con cronómetro a 60 segundos. (D) Escala hedónica de 9 puntos para aceptabilidad de la muestra. (E) Cuestionario de frecuencia de consumo de yogurt. (F) Registro de edad del participante. (G) Registro de sexo del participante. (H) Pantalla de agradecimiento por participación.

Anexo 3

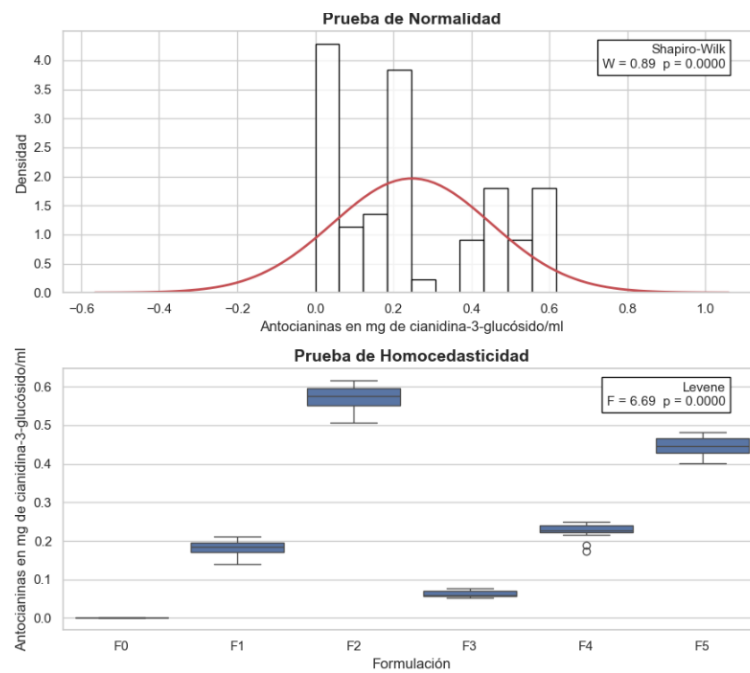
Análisis estadístico detallado normalidad, homogeneidad de varianza, antocianinas y capacidad antioxidante

3.1. Pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas para variables de Antocianinas y capacidad antioxidante

DPPH

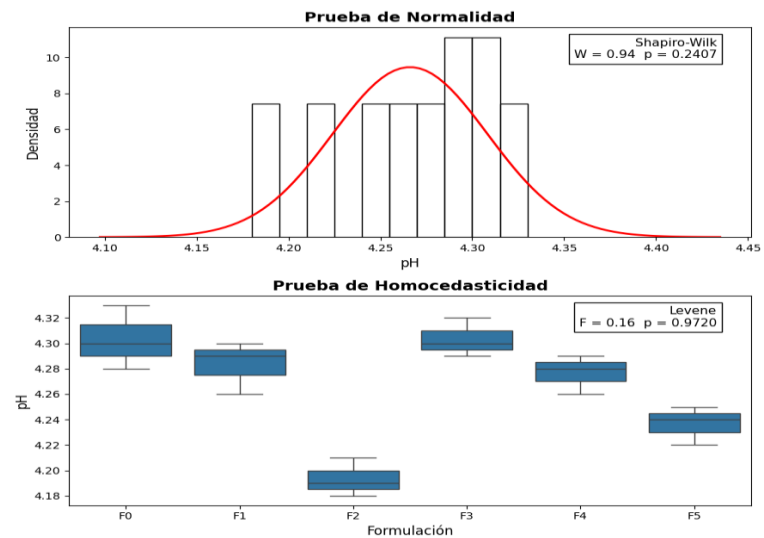


Antocianina

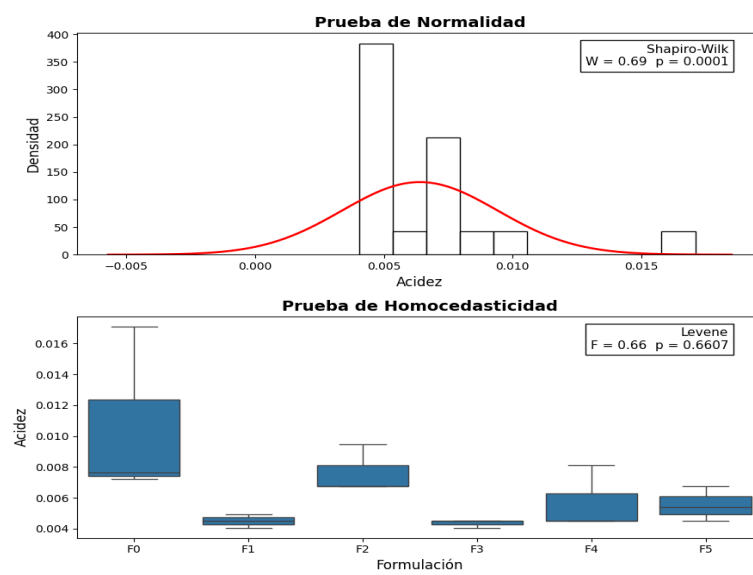


3.2. Pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas para variables Fisicoquímicas

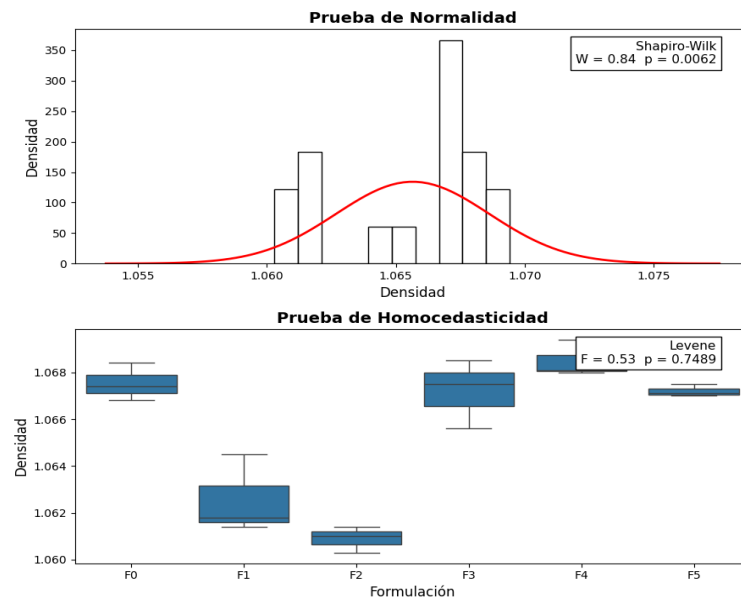
pH



Acidez



Densidad



3.4. Análisis de efectos significativos de las formulaciones sobre las variables antocianinas y capacidad antioxidante

Test de Kruskal-Wallis

	Variable	Estadístico H	p-valor	Significativo
0	DPPH	67.8971	0.0000	✓
1	Antocianinas	68.6765	0.0000	✓

Comparaciones múltiples (Dunn-Bonferroni) para: DPPH

	F0	F1	F2	F3	F4	F5
F0	1.0000	0.0399	0.0000	1.0000	0.0009	0.0000
F1	0.0399	1.0000	0.0010	1.0000	1.0000	0.1231
F2	0.0000	0.0010	1.0000	0.0000	0.0453	1.0000
F3	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	0.1322	0.0003
F4	0.0009	1.0000	0.0453	0.1322	1.0000	1.0000
F5	0.0000	0.1231	1.0000	0.0003	1.0000	1.0000

Comparaciones múltiples (Dunn-Bonferroni) para: Antocianinas

	F0	F1	F2	F3	F4	F5
F0	1.0000	0.0473	0.0000	1.0000	0.0007	0.0000
F1	0.0473	1.0000	0.0007	1.0000	1.0000	0.1108
F2	0.0000	0.0007	1.0000	0.0000	0.0473	1.0000
F3	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	0.1108	0.0004
F4	0.0007	1.0000	0.0473	0.1108	1.0000	1.0000
F5	0.0000	0.1108	1.0000	0.0004	1.0000	1.0000

3.5. Test de Friedman y comparaciones múltiples de Nemenyi para evaluar diferencias en la aceptabilidad sensorial de las formulaciones

Estadístico de Friedman: 17.5864

Valor p: 0.0015

Rangos promedio por tratamiento:

TRATAMIENTO

T1 3.304348

T2 2.608696

T3 3.025362

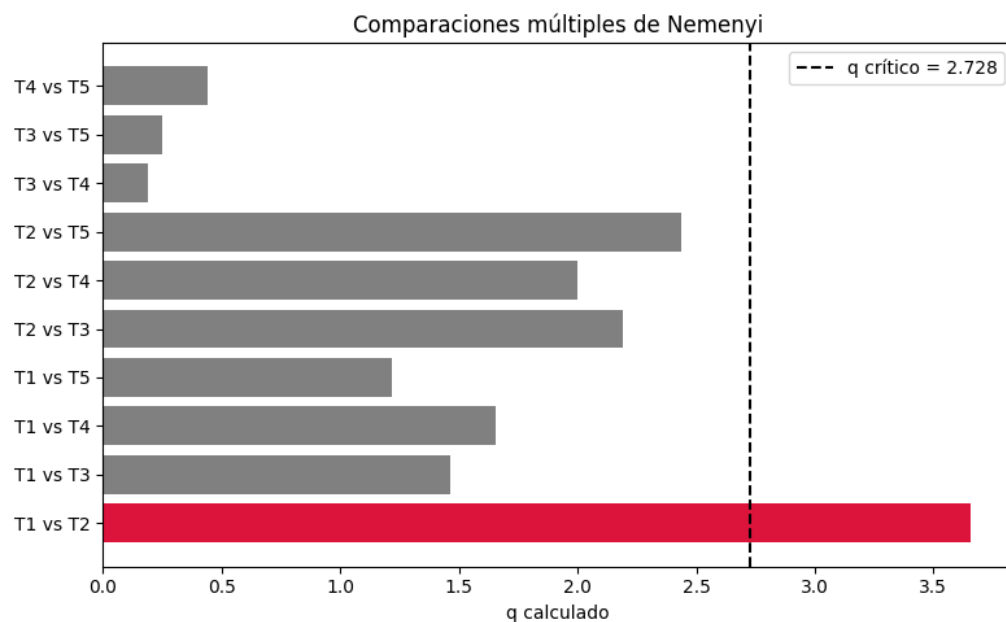
T4 2.989130

T5 3.072464

dtype: float64

Comparaciones Nemenyi:

	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Diferencia de rangos	q calculado
0	T1	T2	0.695652	3.654658
1	T1	T3	0.278986	1.465670
2	T1	T4	0.315217	1.656017
3	T1	T5	0.231884	1.218219
4	T2	T3	0.416667	2.188988
5	T2	T4	0.380435	1.998641
6	T2	T5	0.463768	2.436438
7	T3	T4	0.036232	0.190347
8	T3	T5	0.047101	0.247451
9	T4	T5	0.083333	0.437798



3.6. Código de Jupyter Notebook (Python)

Análisis de efectos de variables de antocianinas y capacidad antioxidante:

```
# --- LIBRERÍAS ---
import pandas as pd
import numpy as np
import scipy.stats as stats
import scikit_posthocs as sp

# --- CARGA DE DATOS ---
df = pd.read_excel("DATOS_ANALISIS_ANTIOXIDANTE_TESIS.xlsx", sheet_name="ANTIOXIDANTES")
df['FORMULACION'] = df['FORMULACION'].astype(str)

# --- RENOMBRAR VARIABLES ---
df = df.rename(columns={
    "DPPH en µmol ET/ml muestra ": "DPPH",
    "Antocianinas en mg de cianidina-3-glucósido/ ml de muestra": "Antocianinas"
})

# --- VARIABLES A ANALIZAR ---
variables_antiox = ['DPPH', 'Antocianinas']
df_mod = df.copy()

# --- ANÁLISIS DE KRUSKAL-WALLIS Y DUNN ---
kruskal_results = []
dunn_results = {}

for var in variables_antiox:
    data_groups = [group[var].values for _, group in df_mod.groupby("FORMULACION")]

    # Kruskal-Wallis
    stat, p = stats.kruskal(*data_groups)
    kruskal_results.append({
        "Variable": var,
        "Estadístico H": f"{stat:.4f}",
        "p-valor": f"{p:.4f}",
        "Significativo": "✓" if p < 0.05 else "✗"
    })

    # Comparaciones múltiples si p < 0.05
    if p < 0.05:
        dunn = sp.posthoc_dunn(df_mod, val_col=var, group_col="FORMULACION", p_adjust="bonferroni")
        for col in dunn.columns:
            dunn[col] = dunn[col].map(lambda x: f"{x:.4f}")
        dunn_results[var] = dunn

# --- RESULTADOS DE KRUSKAL-WALLIS ---
kruskal_df = pd.DataFrame(kruskal_results)
display(kruskal_df)

# --- MOSTRAR MATRICES DE DUNN ---
for var, matrix in dunn_results.items():
    print(f"\n### Comparaciones múltiples (Dunn-Bonferroni) para: {var} ###")
    display(matrix)
```

Análisis de diferencias en la aceptabilidad sensorial de las formulaciones

```
# === CARGA DE DATOS ===
df = pd.read_excel("DATOS_ANALISIS_SENSORIAL_TDS.xlsx", sheet_name="ACEPTABILIDAD")

# Asegurar tipos adecuados
df["EVALUADOR"] = df["EVALUADOR"].astype(str)
df["TRATAMIENTO"] = df["TRATAMIENTO"].astype(str)

# Pivotear: filas = evaluadores, columnas = tratamientos
df_pivot = df.pivot(index="EVALUADOR", columns="TRATAMIENTO", values="ACEPTABILIDAD")

# --- FRIEDMAN ---
stat, p = friedmanchisquare(*[df_pivot[col] for col in df_pivot.columns])
print(f"Estadístico de Friedman: {stat:.4f}")
print(f"Valor p: {p:.4f}")

# === CALCULO MANUAL DE NEMENYI ===

# Paso 1: Rangos por fila (evaluador)
ranked = df_pivot.rank(axis=1, method='average')

# Paso 2: Rangos promedio por tratamiento
avg_ranks = ranked.mean(axis=0)
print("\nRangos promedio por tratamiento:")
print(avg_ranks)

# Paso 3: Número de tratamientos y evaluadores
k = len(df_pivot.columns)
n = len(df_pivot)

# Paso 4: Comparaciones pareadas
comparaciones = list(itertools.combinations(avg_ranks.index, 2))

# Paso 5: Cálculo de q para cada par
q_values = []
for (i, j) in comparaciones:
    diff = abs(avg_ranks[i] - avg_ranks[j])
    se = np.sqrt(k * (k + 1) / (6 * n))
    q = diff / se
    q_values.append((i, j, diff, q))

# Paso 6: Crear DataFrame
df_nemenyi = pd.DataFrame(q_values, columns=["Tratamiento 1", "Tratamiento 2", "Diferencia de rangos", "q calculado"])

# Paso 7: Determinar valor crítico q_alpha
# Para alfa=0.05 y k tratamientos, consultar tabla de valores críticos de Nemenyi (studentized range)
# Aquí usamos un valor aproximado para alfa=0.05 y k=6 tratamientos:
q_alpha = 2.728 # Aproximado para k=6, = grados de libertad

# Paso 8: Determinar significancia
df_nemenyi["Significativo"] = df_nemenyi["q calculado"] > q_alpha

# Mostrar resultados
print("\nComparaciones Nemenyi:")
print(df_nemenyi)
```

3.7. Cálculo de límites de interpretación para curvas de Dominancia Temporal de Sensaciones

1. INTRODUCCIÓN

El análisis de Dominancia Temporal de Sensaciones (TDS) requiere la determinación de límites estadísticos para interpretar correctamente las curvas de dominancia y distinguir entre percepciones sensoriales reales y fluctuaciones aleatorias (Pineau et al., 2009).

2. LÍMITE DE CASUALIDAD (CHANCE LEVEL)

2.1. Definición conceptual

El límite de casualidad (P_0) representa la tasa de dominancia que un atributo sensorial obtendría por selección completamente aleatoria, asumiendo que todos los atributos tienen igual probabilidad de ser elegidos en ausencia de percepción sensorial real (Pineau et al., 2009).

2.2. Fórmula de cálculo

El límite de casualidad se calcula mediante la ecuación:

$$P_0 = \frac{1}{p}$$

Donde:

P_0 = Proporción de dominancia esperada por azar

p = Número total de atributos sensoriales evaluados

2.3. Aplicación al presente estudio

En esta investigación se evaluaron **6 atributos sensoriales**: Dulce, Ácido, Cremoso, Espeso, Suave y Fluido

Por lo tanto:

$$P_0 = \frac{1}{6} = 0.1667 = 16.67\% \approx \mathbf{16.7\%}$$

Interpretación: Si los 130 consumidores seleccionaran atributos al azar (sin percepción sensorial real), cada atributo sería elegido aproximadamente el 16.7% del tiempo. Cualquier dominancia inferior a este valor puede atribuirse a variabilidad aleatoria.

3. LÍMITE DE SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA

3.1. Definición conceptual

El límite de significancia (P_s) es el valor mínimo de dominancia que un atributo debe alcanzar para ser considerado significativamente superior al azar con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$) (Pineau et al., 2009)

3.2. Fórmula de cálculo

El límite de significancia se calcula mediante aproximación normal de la proporción binomial:

$$P_s = P_0 + Z_\alpha \sqrt{\frac{P_0(1 - P_0)}{n}}$$

Donde:

P_s = Límite de significancia estadística

P_0 = Límite de casualidad (calculado en sección 2)

Z_α = Valor crítico de la distribución normal estándar para $\alpha=0.05$ unilateral = **1.645**

n = Número total de evaluaciones (consumidores $\times$ repeticiones)

3.3. Aplicación al presente estudio

Datos del estudio:

$P_0 = 0.1667$ (calculado previamente)

$n = 130$ consumidores $\times$ 1 repetición = **130 evaluaciones**

$Z_{0.05} = 1.645$ (constante estadística)

Cálculos:

$$P_s = 0.1667 + 1.645 \sqrt{\frac{0.1667(1 - 0.1667)}{130}}$$

$$P_s = 0.1667 + 1.645 \sqrt{\frac{0.1667 \times 0.8333}{130}}$$

$$P_s = 0.1667 + 1.645 \sqrt{\frac{0.1389}{130}}$$

$$P_s = 0.1667 + 1.645 \sqrt{0.001068}$$

$$P_s = 0.1667 + 1.645 \times 0.03269$$

$$P_s = 0.1667 + 0.05377$$

$$P_s = 0.2205 = 22.05\% \approx \mathbf{21.9\%}$$

Nota: El valor de 21.9% reportado en los resultados corresponde al cálculo exacto realizado por el software TimeSens©, con mayor precisión decimal.

Interpretación: Cualquier atributo que supere el 21.9% de dominancia en un momento dado se considera estadísticamente significativo ($p < 0.05$), indicando que su percepción no puede atribuirse al azar.

4. CRITERIOS DE INTERPRETACIÓN DE CURVAS TDS

Con base en los límites calculados, las curvas TDS se interpretan según los siguientes criterios:

Rango de dominancia	Interpretación	Significado práctico
< 16.7%	Por debajo del límite de casualidad	Atributo NO dominante - Puede ser azar
16.7% - 21.9%	Entre casualidad y significancia	Atributo potencialmente relevante - No concluyente estadísticamente
> 21.9%	Supera límite de significancia ($p < 0.05$)	Atributo significativamente dominante - Percepción sensorial real

Ejemplo de aplicación (Figura 4}5 del informe principal):

Atributo “ácido” en todas las formulaciones: < 16.7% → NO dominante

Atributo “Fluido” en todas las formulaciones: < 16.7% → NO dominante

Atributo “Dulce” en fase inicial ($t=0-0.3$): > 21.9% → Significativamente dominante

Atributo “Cremoso” en F5 ($t=0.7-1.0$): > 21.9% → Significativamente dominante

5. TABLA COMPARATIVA SEGÚN NÚMERO DE ATRIBUTOS

La siguiente tabla muestra cómo varían los límites estadísticos según el número de atributos evaluados en un estudio TDS con $n=130$ evaluaciones:

Número de atributos (p)	Límite de casualidad P_0 (%)	Límite de significancia P_s (%)	Interpretación
3	33.3	39.6	Límite muy alto - Menor sensibilidad
4	25	30.9	Límite alto - Baja sensibilidad
5	20	25.7	Límite moderado-alto
6 (este estudio)	16.7	21.9	Límite moderado - Equilibrio óptimo
7	14.3	19.5	Límite moderado-bajo
8	12.5	17.6	Límite bajo - Alta sensibilidad
10 (Pineau et al., 2009)	10	14.8	Límite muy bajo - Máxima sensibilidad*

* Nota: Pineau et al. (2009) advierten que más de 10 atributos dificulta la tarea cognitiva de los panelistas, comprometiendo la confiabilidad de las respuestas.

Implicación práctica: La selección de 6 atributos en el presente estudio representa un **equilibrio óptimo** entre:

- Sensibilidad estadística (detectar dominancias $\geq 22\%$)
- Carga cognitiva manejable para consumidores no entrenados
- Cobertura completa de dimensiones sensoriales relevantes (textura y sabor)

6. VALIDACIÓN DEL MÉTODO

6.1. Cumplimiento de requisitos estadísticos

Para la validez de la aproximación normal utilizada en el cálculo de P_s , debe cumplirse (Pineau et al., 2009):

$$n \times P_0 \times (1 - P_0) > 5$$

Verificación en este estudio:

$$130 \times 0.1667 \times (1 - 0.1667) > 5$$

Conclusión: Los requisitos estadísticos se cumplen satisfactoriamente.

6.2. Tamaño muestral adecuado

Pineau et al. (2009) recomiendan un mínimo de:

$$n_{min} = \frac{5}{P_0(1 - P_0)} = \frac{5}{0.1667 \times 0.8333} = 36 \text{ evaluaciones}$$

Evaluaciones realizadas: $n = 130 > 36$ evaluaciones mínimas

Conclusión: El tamaño muestral supera ampliamente los requisitos metodológicos, garantizando estabilidad y reproducibilidad de las curvas TDS.

Anexo 4

Registro Fotográfico

Anexo 4.1. Materia prima y preparación de extractos



A



B



C



D

Nota: Proceso de obtención de extractos de coronta de maíz morado INIA 601. **(A)** Pesaje de harina de coronta de maíz morado INIA 601 en balanza analítica para preparación de la mezcla de extracción hidroalcohólica (relación sólido:líquido 1:10 p/v). **(B)** Recipientes ámbar conteniendo la mezcla harina-solución hidroalcohólica (etanol 90% v/v, acidificado con ácido cítrico 1% p/v, pH 2.0) durante maceración estática de 72 h a temperatura ambiente (20 ± 2 °C) en oscuridad. **(C)** Extracto concentrado obtenido tras filtración al vacío y concentración en rotavapor a 40 °C, mostrando la coloración púrpura-violeta característica de las antocianinas. **(D)** Concentración del extracto mediante rotavapor (Heidolph Value HL) a presión reducida durante 35 min, reduciendo aproximadamente el 70% del volumen inicial previo a la liofilización.

Anexo 4.2. Proceso de microencapsulación



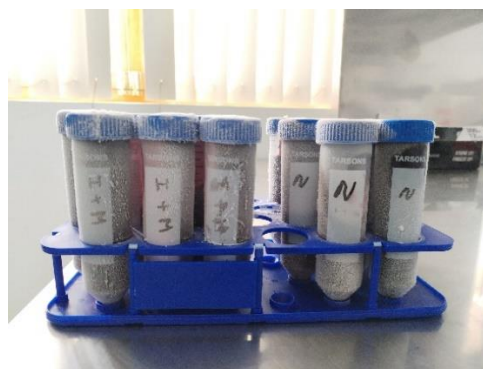
A



B



C



D



E



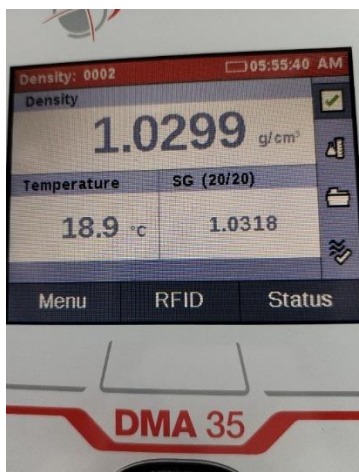
F

Nota: Microencapsulación del extracto de coronta de maíz morado INIA 601 mediante liofilización. **(A)** Pesaje de agentes encapsulantes (inulina-maltodextrina 1:1 p/p, 10.2 g total). **(B)** Homogenización de emulsión extracto-encapsulantes (relación 1:1 p/p) en Ultra-Turrax (IKA T250) a 6000 rpm durante 10 min. **(C)** Emulsión homogénea con coloración púrpura-violeta característica. **(D)** Distribución en tubos Falcon de 25 mL y congelación previa a -20 °C. **(E)** Liofilización (Labconco 710402010) a -86 °C y 0.082 mbar durante 72 h. **(F)** Extracto microencapsulado en polvo, almacenado a -20 °C en recipientes herméticos ámbar hasta su uso.

Anexo 4.3. Análisis de la leche y elaboración del yogurt enriquecido



A



B



C



D



E

Nota: Proceso de elaboración del yogurt con extractos de coronta de maíz morado INIA 601. (A) Recepción de leche fresca (B) Verificación de densidad (1.0299 g/cm^3) mediante densímetro digital. (C) Medición del pH (D) Homogenización de la mezcla leche-azúcar (8% p/v) a 32°C en marmita de acero inoxidable durante el proceso de pasteurización. (E) Yogurt enriquecido final envasado en recipientes de 1 L, codificados según las seis formulaciones experimentales (F0-F5) para almacenamiento refrigerado a 4°C .

Anexo 4.4. Análisis fisicoquímicos de muestras de yogurt con extractos y microencapsulados



A



B

Nota: Determinación de parámetros fisicoquímicos en yogurt enriquecido durante almacenamiento. (A) Medición de pH mediante potenciómetro digital calibrado en muestra de yogurt a 4 °C. (B) Muestras preparadas para determinación de acidez titulable (expresada como ácido láctico) mediante titulación con NaOH, mostrando diferencias de coloración entre formulaciones (F0-F5).

Anexo 4.5. Análisis de antocianinas totales de muestras de yogurt con extractos y microencapsulado



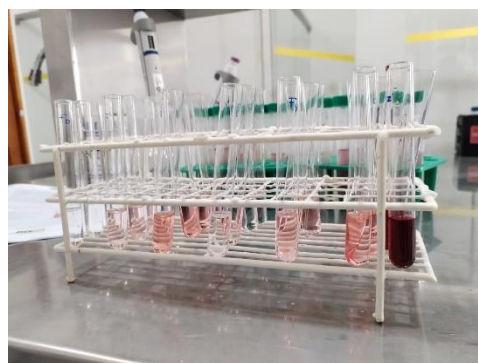
A



B



C



D



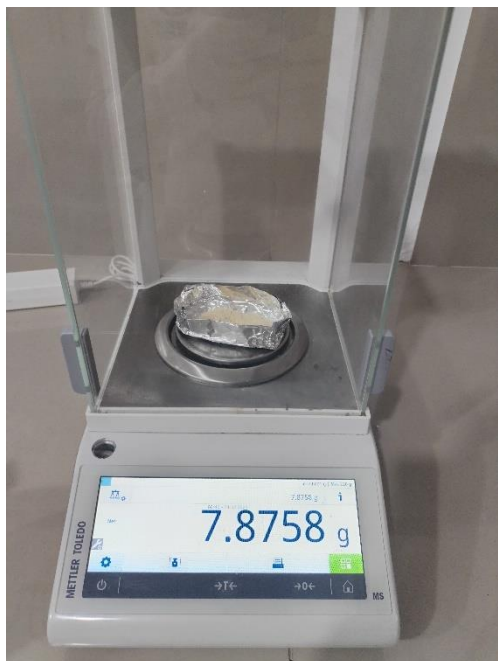
E



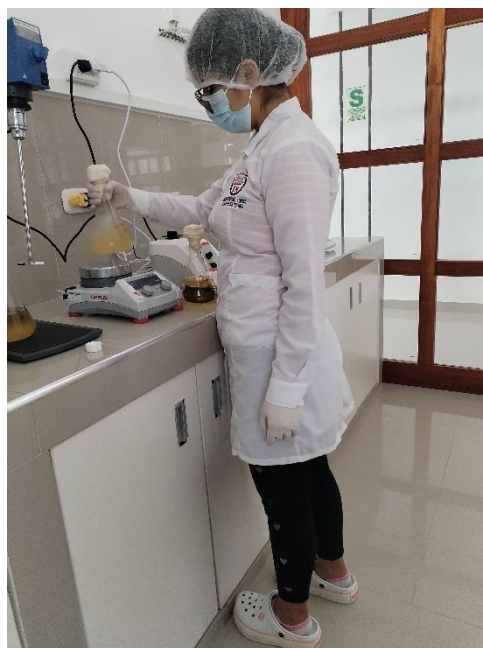
F

Nota: Cuantificación de antocianinas y capacidad antioxidante en yogurt enriquecido. (A) Muestras de yogurt (F0-F5) mostrando gradiente de coloración según concentración de extracto. (B) Filtrado de extractos hidroalcohólicos de yogurt con papel Whatman N°1 tras centrifugación a 5000 rpm. (C) Adición de soluciones buffer pH 1.0 (cloruro de potasio 0.025 M) y pH 4.5 (acetato de sodio 0.4 M) a extractos filtrados para método de pH diferencial. (D) Tubos con mezclas extracto-buffer mostrando diferenciación de color característica del ensayo. (E) Transferencia de muestras a celdas de cuarzo para lectura espectrofotométrica. (F) Espectrofotómetro (Thermo Fisher Genesys 150) para lectura a 530 nm y 700 nm (antocianinas) y 517 nm (DPPH).

Anexo 4.6. Evaluaciones microbiológicas



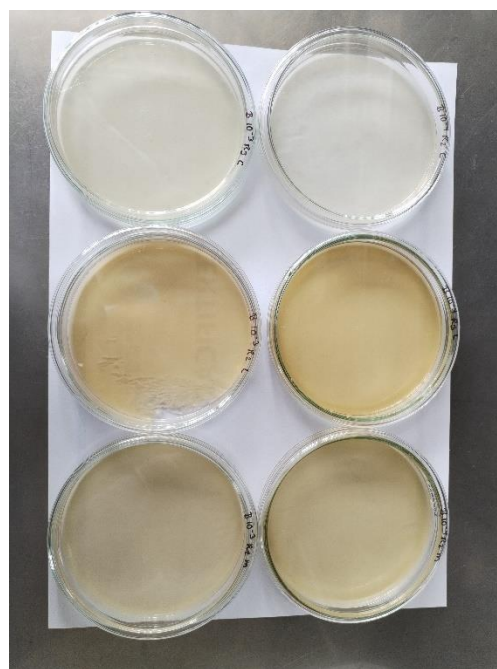
A



B



C



D

Nota: Procedimiento de análisis microbiológico del yogurt para verificación de inocuidad según NTS N°071-MINSA/DIGESA-V.01. (A) Pesaje del medio de cultivo en balanza analítica. (B) Disolución del medio de cultivo esterilizado mantenido a 45 °C en baño maría. (C) Incubación de placas sembradas en estufa bacteriológica a temperaturas específicas según microorganismo evaluado (coliformes, mohos y levaduras). (D) Lectura y recuento de colonias típicas, expresando resultados como UFC/g según criterios de la norma sanitaria.

Anexo 4.7. Análisis sensorial TDS y pruebas hedónicas



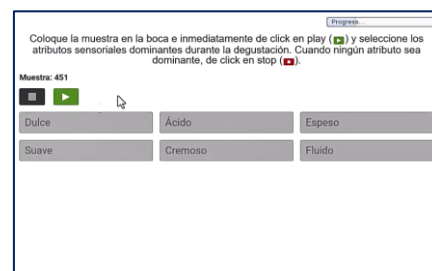
A



B



C



D

Nota: Evaluación sensorial mediante Dominancia Temporal de Sensaciones (TDS) y aceptabilidad con 130 consumidores de yogurt en cabinas sensoriales individuales con iluminación controlada, conforme ISO 8589:2007. (A) Afiche de convocatoria para participación de la comunidad universitaria. (B) Estudiantes evaluando muestras codificadas servidas a 4 ± 1 °C. (C) Docentes de planta durante la evaluación sensorial. (D) Interfaz del software TimeSens© (INRA, Francia) mostrando pantalla de bienvenida y registro temporal de atributos dominantes durante 60 segundos de degustación.

Anexo 4.8. Equipamiento utilizado



A



B



C



D

Nota: Equipamiento empleado en la preparación de extractos y análisis de antocianinas totales. **(A)** Homogenizador Ultra-Turrax (IKA T250, Alemania) utilizado para emulsificación del extracto con agentes encapsulantes a 6000 rpm durante 10 min. **(B)** Homogenizador magnético con calentamiento (Ohaus FX224/E, Estados Unidos) para disolución de inulina-maltodextrina a 70 °C y 200 rpm durante 30 min. **(C)** Rotavapor (Heidolph Value HL, Alemania) para concentración del extracto hidroalcohólico a 40 °C y presión reducida, reduciendo 70% del volumen inicial. **(D)** Liofilizador (Labconco 710402010, Estados Unidos) operando a -86 °C y 0.082 mbar durante 72 h para deshidratación de extractos natural y microencapsulado.

Anexo 5

Procedimiento detallado de evaluación mediante dominancia temporal de sensaciones (TDS)

Instrucciones a panelistas

Previo a la evaluación, los panelistas recibieron inducción sobre el concepto de dominancia sensorial. El atributo dominante se definió como la sensación que captura la atención en un momento específico, no necesariamente la más intensa, sino aquella que emerge como la percepción más llamativa en un instante dado (Pineau et al., 2009).

Los panelistas fueron instruidos para: (1) colocar la muestra completa en boca y pulsar el botón “inicio” en la interfaz digital (tiempo $t=0$); (2) identificar y seleccionar el atributo dominante percibido en ese momento; (3) cuando percibieran un cambio en la dominancia sensorial, seleccionar el nuevo atributo dominante; (4) repetir este proceso hasta completar los 60 segundos de evaluación (Pineau et al., 2009; Rodrigues et al., 2016). Los panelistas tuvieron libertad para seleccionar el mismo atributo múltiples veces durante la evaluación, o no seleccionar ciertos atributos si no fueron percibidos como dominantes en ningún momento (Pineau et al., 2009).

Registro y adquisición de datos

El software TimeSens© (INRA, Dijon, Francia) registró automáticamente para cada evaluación: (1) tiempo transcurrido desde $t=0$ hasta cada selección de atributo; (2) nombre del atributo seleccionado; (3) secuencia temporal de atributos dominantes para cada muestra. El orden de presentación de los atributos en la interfaz fue aleatorizado para cada panelista mediante Cuadrado Latino de Williams para evitar efectos de posición, aunque para un panelista dado el orden permaneció constante a través de todas las muestras para facilitar el aprendizaje (Pineau et al., 2009).

Procesamiento de datos y normalización temporal

Los datos crudos de tiempo real fueron transformados a tiempo normalizado para estandarizar las duraciones de evaluación entre panelistas. Para cada punto de tiempo normalizado, se calculó la proporción de evaluaciones (panelista x réplica) en las que cada atributo fue seleccionado como dominante, bajo la hipótesis de que un atributo permanece dominante desde su selección hasta que otro atributo es elegido. Las proporciones resultantes fueron suavizadas mediante procedimiento TRANSREG con transformación de spline no iterativo (Pineau et al., 2009).

Interpretación estadística de curvas TDS

La significancia de la dominancia se evaluó mediante dos límites: (1) límite de casualidad ($P_0 = 1/p$, donde p = número de atributos), representando la tasa de dominancia por selección aleatoria; (2) límite de significancia (P_s), calculado mediante aproximación normal de la distribución binomial con $\alpha=0.05$. Con 6 atributos y 130 evaluaciones, los límites fueron establecidos en 16.7% (casualidad) y 21.9% (significancia). Atributos con dominancia $\leq 16.7\%$ se consideraron no dominantes, mientras que valores $> 21.9\%$ indicaron dominancia estadísticamente significativa (Pineau et al., 2009).

Anexo 6

Formulario para la técnica de ASOCIACIÓN LIBRE DE PALABRAS (Free Word Association-FWA)

Estudio: IMPACTO DEL EXTRACTO NATURAL Y MICROENCAPSULADO DE CORONTA DE MAÍZ MORADO INIA 601 EN LAS PROPIEDADES SENSORIALES DINÁMICAS DEL YOGURT

Fecha: ____ / ____ / 20__

Código del Juez: _____

Muestra evaluada: Código _____

Nombre: _____,

Edad: _____, **Sexo:** _____

INSTRUCCIONES PARA EL PANELISTA

1. Se le presentarán **cinco muestras de yogur**, las cuales deberá evaluar de manera secuencial.
2. Para cada muestra, escriba **todas las palabras o frases cortas** que describan lo que percibe en términos de sabor, textura, aroma, color y sensaciones en la boca, al momento de la degustación.
3. Escriba un mínimo de **tres** y un máximo de **cinco** palabras que describan su percepción sensorial.
4. Entre cada evaluación, **beba agua** antes de evaluar la siguiente muestra.
5. **No hay respuestas correctas o incorrectas**; describa espontáneamente lo que percibe.

SECCIÓN 1: REGISTRO LIBRE DE PALABRAS

Escriba entre 3 y 5 palabras que describan las características sensoriales de cada muestra:

Código de la Muestra	Palabras Clave Asociadas (3-5 términos por muestra)
Código: _____	1. _____
	2. _____
	3. _____
	4. _____
	5. _____

Nota: Cada muestra ha sido identificada con un código aleatorio de tres dígitos. Por favor, regístrelos en el espacio correspondiente antes de escribir su percepción sensorial.

SECCIÓN 2: COMENTARIOS ADICIONALES

Si tiene alguna observación extra sobre la muestra, escríbala aquí:

Gracias por su participación. Sus respuestas ayudarán a conocer cómo se perciben las diferentes formulaciones del yogur.

Anexo 7

Formulario FWA llenado por un panelista

Link de acceso a los formularios:

https://drive.google.com/drive/folders/1As_DAr0GwI1qzkuto_ssEIBTz0GB_DGQ?usp=sharing

ASOCIACIÓN LIBRE DE PALABRAS

Estudio: IMPACTO DEL EXTRACTO NATURAL Y MICROENCAPSULADO DE CORONTA DE MAÍZ MORADO INIA 601 EN LAS PROPIEDADES SENSORIALES DINÁMICAS DEL YOGURT

Fecha: 24/02/2024

Código del Juez: JLTP

Muestra evaluada: Código SMN

Nombre: Judith Toboada Perez, **Edad:** 30, **Sexo:** F

INSTRUCCIONES PARA EL JUEZ

1. Se le presentarán **cinco muestras de yogur**, las cuales deberá evaluar de manera secuencial.
2. Para cada muestra, escriba **todas las palabras o frases cortas** que describan lo que percibe en términos de sabor, textura, aroma, color y sensaciones en la boca, al momento de la degustación.
3. Escriba un mínimo de **tres** y un máximo de **cinco** palabras que describan su percepción sensorial.
4. Entre cada evaluación, **beba agua** antes de evaluar la siguiente muestra.
5. **No hay respuestas correctas o incorrectas**; describa espontáneamente lo que percibe.

SECCIÓN 1: REGISTRO LIBRE DE PALABRAS

Escriba entre 3 y 5 palabras que describan las características sensoriales de cada muestra:

Código de la Muestra	Palabras Clave Asociadas (3-5 términos por muestra)
Código: SMN	1. Sabroso
	2. Perfecto en dulce
	3. buen sabor
	4. buena textura.
	5. Sabor a Jute.

Nota: Cada muestra ha sido identificada con un código aleatorio de tres dígitos. Por favor, regístrelos en el espacio correspondiente antes de escribir su percepción sensorial.

SECCIÓN 2: COMENTARIOS ADICIONALES

Si tiene alguna observación extra sobre la muestra, escríbala aquí:

☒ Gracias por su participación. Sus respuestas ayudarán a conocer cómo se perciben las diferentes formulaciones del yogur.

ASOCIACIÓN LIBRE DE PALABRAS

Estudio: IMPACTO DEL EXTRACTO NATURAL Y MICROENCAPSULADO DE CORONTO DE MAÍZ MORADO INIA 601 EN LAS PROPIEDADES SENSORIALES DINÁMICAS DEL YOGURT

Fecha: 27/02/2024

Código del Juez: JLTP

Muestra evaluada: Código HTJ

Nombre: Judith Taborda Perez, Edad: 30, Sexo: F

INSTRUCCIONES PARA EL JUEZ

1. Se le presentarán **cinco muestras de yogur**, las cuales deberá evaluar de manera secuencial.
2. Para cada muestra, escriba **todas las palabras o frases cortas** que describan lo que percibe en términos de sabor, textura, aroma, color y sensaciones en la boca, al momento de la degustación.
3. Escriba un mínimo de **tres** y un máximo de **cinco** palabras que describan su percepción sensorial.
4. Entre cada evaluación, **beba agua** antes de evaluar la siguiente muestra.
5. **No hay respuestas correctas o incorrectas**; describa espontáneamente lo que percibe.

SECCIÓN 1: REGISTRO LIBRE DE PALABRAS

Escriba entre 3 y 5 palabras que describan las características sensoriales de cada muestra:

Código de la Muestra	Palabras Clave Asociadas (3-5 términos por muestra)
Código: HTJ	1. Se siente el Sabor a fruta.
	2. Textura Perfecta.
	3. Sabroso.
	4.
	5.

Nota: Cada muestra ha sido identificada con un código aleatorio de tres dígitos. Por favor, regístrelos en el espacio correspondiente antes de escribir su percepción sensorial.

SECCIÓN 2: COMENTARIOS ADICIONALES

Si tiene alguna observación extra sobre la muestra, escríbala aquí:

Disminuir un poco el sabor a la leche personalmente
Siento bastante el saborsito a suero.

☒ Gracias por su participación. Sus respuestas ayudarán a conocer cómo se perciben las diferentes formulaciones del yogur.

ASOCIACIÓN LIBRE DE PALABRAS

Estudio: *IMPACTO DEL EXTRACTO NATURAL Y MICROENCAPSULADO DE CORONTA DE MAÍZ MORADO INIA 601 EN LAS PROPIEDADES SENSORIALES DINÁMICAS DEL YOGURT*

Fecha: *27/02/2024*

Código del Juez: *JLTP*

Muestra evaluada: Código *6FD*

Nombre: *Jucith Taboada Pérez*, Edad: _____, Sexo: _____

INSTRUCCIONES PARA EL JUEZ

1. Se le presentarán **cinco muestras de yogur**, las cuales deberá evaluar de manera secuencial.
2. Para cada muestra, escriba **todas las palabras o frases cortas** que describan lo que percibe en términos de sabor, textura, aroma, color y sensaciones en la boca, al momento de la degustación.
3. Escriba un mínimo de **tres** y un máximo de **cinco** palabras que describan su percepción sensorial.
4. Entre cada evaluación, **beba agua** antes de evaluar la siguiente muestra.
5. **No hay respuestas correctas o incorrectas**; describa espontáneamente lo que percibe.

SECCIÓN 1: REGISTRO LIBRE DE PALABRAS

Escriba entre 3 y 5 palabras que describan las características sensoriales de cada muestra:

Código de la Muestra	Palabras Clave Asociadas (3-5 términos por muestra)
Código: <i>6FD</i>	1. <i>dulce</i>
	2. <i>Agradable</i>
	3. <i>Textura cremosa perfecta</i>
	4. _____
	5. _____

Nota: Cada muestra ha sido identificada con un código aleatorio de tres dígitos. Por favor, regístrelos en el espacio correspondiente antes de escribir su percepción sensorial.

SECCIÓN 2: COMENTARIOS ADICIONALES

Si tiene alguna observación extra sobre la muestra, escríbala aquí:

☒ Gracias por su participación. Sus respuestas ayudarán a conocer cómo se perciben las diferentes formulaciones del yogur.

ASOCIACIÓN LIBRE DE PALABRAS

Estudio: IMPACTO DEL EXTRACTO NATURAL Y MICROENCAPSULADO DE CORONTO DE MAÍZ MORADO INIA 601 EN LAS PROPIEDADES SENSORIALES DINÁMICAS DEL YOGURT

Fecha: 27/02/2024

Código del Juez: JLP

Muestra evaluada: Código RNF

Nombre: Judith Lisbeth Taboada Perez, Edad: 20, Sexo: F.

INSTRUCCIONES PARA EL JUEZ

1. Se le presentarán cinco muestras de yogur, las cuales deberá evaluar de manera secuencial.
2. Para cada muestra, escriba **todas las palabras o frases cortas** que describan lo que percibe en términos de sabor, textura, aroma, color y sensaciones en la boca, al momento de la degustación.
3. Escriba un mínimo de **tres** y un máximo de **cinco** palabras que describan su percepción sensorial.
4. Entre cada evaluación, **beba agua** antes de evaluar la siguiente muestra.
5. **No hay respuestas correctas o incorrectas**; describa espontáneamente lo que percibe.

SECCIÓN 1: REGISTRO LIBRE DE PALABRAS

Escriba entre 3 y 5 palabras que describan las características sensoriales de cada muestra:

Código de la Muestra	Palabras Clave Asociadas (3-5 términos por muestra)
Código: RNF	1. Un poco Ácido
	2. Textura cremosa perfecta.
	3. El Sabor rico.
	4.
	5.

Nota: Cada muestra ha sido identificada con un código aleatorio de tres dígitos. Por favor, regístrelos en el espacio correspondiente antes de escribir su percepción sensorial.

SECCIÓN 2: COMENTARIOS ADICIONALES

Si tiene alguna observación extra sobre la muestra, escríbala aquí:

Tratar de que en lo posible se sienta mas el sabor a la fruta y no a suero o algo así.

☒ Gracias por su participación. Sus respuestas ayudarán a conocer cómo se perciben las diferentes formulaciones del yogur.

ASOCIACIÓN LIBRE DE PALABRAS

Estudio: IMPACTO DEL EXTRACTO NATURAL Y MICROENCAPSULADO DE CORONTA DE MAÍZ MORADO INIA 601 EN LAS PROPIEDADES SENSORIALES DINÁMICAS DEL YOGURT

Fecha: 22/02/2024

Código del Juez: JLTP

Muestra evaluada: Código KCD

Nombre: _____, **Edad:** _____, **Sexo:** _____

INSTRUCCIONES PARA EL JUEZ

1. Se le presentarán cinco muestras de yogurt, las cuales deberá evaluar de manera secuencial.
2. Para cada muestra, escriba **todas las palabras o frases cortas** que describan lo que percibe en términos de sabor, textura, aroma, color y sensaciones en la boca, al momento de la degustación.
3. Escriba un mínimo de **tres** y un máximo de **cinco** palabras que describan su percepción sensorial.
4. Entre cada evaluación, **beba agua** antes de evaluar la siguiente muestra.
5. **No hay respuestas correctas o incorrectas**; describa espontáneamente lo que percibe.

SECCIÓN 1: REGISTRO LIBRE DE PALABRAS

Escriba entre 3 y 5 palabras que describan las características sensoriales de cada muestra:

Código de la Muestra	Palabras Clave Asociadas (3-5 términos por muestra)
Código: KCD	1. buen Sabor
	2. Textura Cremosa ligera.
	3. dulce perfecto.
	4. _____
	5. _____

Nota: Cada muestra ha sido identificada con un código aleatorio de tres dígitos. Por favor, regístrelos en el espacio correspondiente antes de escribir su percepción sensorial.

SECCIÓN 2: COMENTARIOS ADICIONALES

Si tiene alguna observación extra sobre la muestra, escríbala aquí:

☒ **Gracias por su participación. Sus respuestas ayudarán a conocer cómo se perciben las diferentes formulaciones del yogurt.**

Anexo 8

Ficha de consentimiento informado.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS

Consentimiento informado de aplicación de análisis sensorial de yogurt

Producto: Impacto del extracto natural y microencapsulado de coronta de maíz morado INIA 601 en las propiedades sensoriales dinámicas y antioxidantes del yogurt.

Fecha: .../.../....

Yo, identificado/a con documento de identidad N°, edad....., ciclo....., he sido informado plenamente sobre los objetivos del proyecto y por voluntad propia doy mi consentimiento para la aplicación de análisis sensorial de yogurt que está llevando a cabo el estudiante a cargo de las Bach. Campos Cardozo Deyly y Bach. Montenegro López Karyn Estefany del proyecto *“Impacto del extracto natural y microencapsulado de coronta de maíz morado INIA 601 en las propiedades sensoriales dinámicas y antioxidantes del yogurt”*, llevado a cabo en la Universidad Nacional de Jaén.

La evaluación sensorial del yogurt será realizada utilizando la técnica de Dominancia Temporal de Sensaciones (TDS). Serán reclutados 130 panelistas que tengan disponibilidad e interés en participar de la evaluación sensorial; teniendo en cuenta los siguientes criterios de exclusión para los panelistas, Menores de 18 años, No consumidores de yogurt o consumo muy esporádico (<1 vez/mes), Alergias o intolerancias declaradas a leche, lácteos o ingredientes del producto, Condiciones médicas que contraindiquen el consumo de productos lácteos.

Por lo antes mencionado, hago constar que he leído y entendido en su totalidad este documento, por lo que en constancia firmo y acepto su contenido.

Firma del panelista

Anexo 9

Ficha de consentimiento informado llenado por un panelista

Link de acceso a Consentimientos informados:

https://drive.google.com/drive/folders/18csX7_VOyc--AUg9KPRXYiHsIf3M4IPb?usp=sharing



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS

Consentimiento informado de aplicación de análisis sensorial de yogurt.

Producto: Impacto del extracto natural y microencapsulado de coronta de maíz morado INIA 601 en las propiedades sensoriales dinámicas y antioxidantes del yogurt.

Fecha: 06/03/25

Yo, ANTONY SEFERSON VELIZ FLORES identificado/a con documento de identidad N° 74.302.169, edad....., ciclo....., he sido informado plenamente sobre los objetivos del proyecto y por voluntad propia doy mi consentimiento para la aplicación de análisis sensorial de yogurt que está llevando a cabo a cargo de las Bach. Campos Cardozo Deyly y Bach. Montenegro López Karyn Estefany del proyecto “*Impacto del extracto natural y microencapsulado de coronta de maíz morado INIA 601 en las propiedades sensoriales dinámicas y antioxidantes del yogurt*”, llevado a cabo en la Universidad Nacional de Jaén.

La evaluación sensorial del yogurt será realizada utilizando la técnica de Dominancia Temporal de Sensaciones (TDS). Serán reclutados 130 panelistas que tengan disponibilidad e interés en participar de la evaluación sensorial; teniendo en cuenta los siguientes criterios de exclusión para los panelistas, Menores de 18 años, No consumidores de yogurt o consumo muy esporádico (<1 vez/mes), Alergias o intolerancias declaradas a leche, lácteos o ingredientes del producto, Condiciones médicas que contraindiquen el consumo de productos lácteos.

Por lo antes mencionado, hago constar que he leído y entendido en su totalidad este documento, por lo que en constancia firmo y acepto su contenido.


Firma del panelista